

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM ADMINISTRAÇÃO**

Radaés Fronchetti Picoli

**AVALIAÇÃO DA CARTEIRA DE PROJETOS:
Teoria Moderna de Portfólio, Teoria da Utilidade Esperada e Método de Monte Carlo
aplicados na proposição de uma sistemática**

**Porto Alegre
2016**

Radaés Fronchetti Picoli

**AVALIAÇÃO DA CARTEIRA DE PROJETOS:
Teoria Moderna de Portfólio, Teoria da Utilidade Esperada e Método de Monte Carlo
aplicados na proposição de uma sistemática**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Becker

**Porto Alegre
2016**

Radaés Fronchetti Picoli

**AVALIAÇÃO DA CARTEIRA DE PROJETOS:
Teoria Moderna de Portfólio, Teoria da Utilidade Esperada e Método de Monte Carlo
aplicados na proposição de uma sistemática**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Administração.

Aprovada em 27 de outubro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Denis Borenstein
PPGA/UFRGS

Prof. Dr. Tiago Pascoal Filomena
PPGA/UFRGS

Prof. Dr. Francisco José Kliemann Neto
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. João Luiz Becker
PPGA/UFRGS
(Orientador)

CIP - Catalogação na Publicação

Picoli, Radaés Fronchetti

Avaliação da Carteira de Projetos: Teoria Moderna de Portfólio, Teoria da Utilidade Esperada e Método de Monte Carlo aplicados na Proposição de uma Sistemática / Radaés Fronchetti Picoli. -- 2016.
97 f.

Orientador: João Luiz Becker.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Avaliação de Portfólio de Projetos. 2. Risco. 3. Teoria Moderna de Portfólio. 4. Teoria da Utilidade Esperada. 5. Método de Monte Carlo. I. Becker, João Luiz, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Construir esta dissertação só foi possível graças ao apoio de muitas pessoas. De várias formas pude perceber que não trilhava o caminho sozinho, o que torna este trabalho o resultado final de um grande esforço coletivo. Por isso registro meu mais profundo agradecimento:

- ao meu orientador, Prof. Dr. João Luiz Becker, por compartilhar sua sabedoria irrestritamente;
- à Petrobras, pelo suporte financeiro e informacional. Em especial à Rodrigo Costa de Lima e Silva, cuja atuação no processo de obtenção da licença para estudo foi decisiva;
- aos professores do Programa de Pós-Graduação em Administração da UFRGS, ênfase em Pesquisa Operacional, por apresentar esta área de conhecimento que tanto me fascina;
- aos meus pais, por priorizar atemporalmente o vetor da educação;
- à Gisele Milman Cervo, minha companheira, e sua família, pelo amor e compreensão contínuos;
- aos colegas do PPGA, por tornar o curso uma experiência multidimensional ainda mais rica.

*“If the doors of perception
were cleansed everything would
appear to man as it is, infinite.”*

(William Blake, poeta inglês, 1757 - 1827)

RESUMO

A seleção de projetos de investimento é uma das atividades essenciais no dia-a-dia das organizações, e, neste exercício de avaliação, é preciso lidar em geral com uma carga considerável de incerteza. Analisar apenas as características individuais dos projetos é insuficiente diante do impacto que seus aspectos relacionais pode causar nos resultados. Além disso, um fator adicional nesse processo de escolha é a carga informacional já disponível internamente, na forma de conhecimento e percepção de analistas e gestores. Mais ainda, o próprio conceito de valor neste caso depende da perspectiva de quem avalia. Motivado por estas questões, buscou-se neste trabalho elaborar uma proposta de avaliação da carteira de projetos de investimento logicamente estruturada e modular, adaptável a diversas realidades organizacionais possíveis. A montagem do procedimento otimizador reuniu conceitos de métricas de risco e retorno de projetos, Teoria Moderna de Portfólio, Teoria da Utilidade, simulação de Monte Carlo e decomposição de Cholesky. Por fim, a utilidade da proposta foi testada via sua aplicação em amostra de projetos no segmento de óleo e gás.

Palavras-chave: Seleção de Projetos de Investimento. Teoria Moderna de Portfólio. Teoria da Utilidade. Simulação de Monte Carlo. Risco. Indústria de Óleo e Gás.

ABSTRACT

The investment projects selection is one of the essential activities in day-to-day operation of companies, and in this evaluation exercise it is generally required to handle a considerable amount of uncertainty. Analysing only the individual characteristics of projects is insufficient considering the possible impact of their relational aspects in results. Furthermore an additional item in this selection process is the informational load already available internally in the form of knowledge and perception of analysts and managers. Moreover even the concept of value in this case depends on the perspective of who evaluates. Motivated by this issues, this study aimed to formulate a proposal for investment projects portfolio evaluation logically structured and modular, adaptable to various possible organizational realities. The conception of optimization procedure brought together concepts of risk and return project metrics, Modern Portfolio Theory, Utility Theory, Monte Carlo simulation and Cholesky decomposition. Finally the proposal utility was tested by its application in a sample of oil and gas projects.

Keywords: Investment Projects Selection. Portfolio Modern Theory. Utility Theory. Monte Carlo Simulation. Risk. Oil and Gas Industry.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Oscilação do Preço do Petróleo	14
Figura 2 – Distribuição de Probabilidade do Retorno de Projetos	26
Figura 3 – Medidas de Risco	28
Figura 4 – Representação Cartesiana dos Portfólios Possíveis	31
Figura 5 – Carteira Eficiente	33
Figura 6 – Carteira Não Eficiente	33
Figura 7 – Diagrama de Probabilidades de Projeto Exploratório	41
Figura 8 – Desconto pelo Ajuste a Risco na Avaliação do Projeto	42
Figura 9 – Exemplos de Prospectos	43
Figura 10 – Valor Ajustado a Risco de Prospectos Exploratórios Distintos	44
Figura 11 – Histogramas de 3 Projetos Hipotéticos	46
Figura 12 – Utilidade dos Projetos x Coeficiente de Aversão a Risco	47
Figura 13 – Curva de Distribuição dos Resultados de um Projeto Exploratório	50
Figura 14 – Exemplo de Modelagem de Preços de Petróleo	51
Figura 15 – Quadro Resumo da Proposta	61
Figura 16 – Sequência e Dependência entre Etapas	62
Figura 17 – Características dos 10 Projetos	66
Figura 18 – VaR dos 10 Projetos	67
Figura 19 – Histogramas do Retorno dos Projetos	68
Figura 20 – Matriz de Correlação - Corridas Pseudoaleatórias	70
Figura 21 – Matriz de Correlação Final - Apontada pelos Especialistas	70
Figura 22 – Matriz de Correlação Parcial 1	72
Figura 23 – Matriz de Correlação Parcial 2	72
Figura 24 – Matriz de Correlação Parcial 3	73
Figura 25 – Matriz de Correlação Parcial 4	73
Figura 26 – Coeficientes de Aversão a Risco por Empresa	75
Figura 27 – Distorções - Decomposição de Cholesky	76
Figura 28 – Resultados por empresa e por faixa de investimentos 1	79
Figura 29 – Resultados por empresa e por faixa de investimentos 2	80
Figura 30 – Fronteira Eficiente da Amostra	81
Figura 31 – Eliminação de Carteiras Ineficientes	82
Figura 32 – Enumeração das Carteiras da Amostra	82
Figura 33 – 10 Melhores Carteiras por Empresa	83
Figura 34 – Ordenação de Portfólios Eficientes de Acordo com a Correlação	84
Figura 35 – Decomposição de Cholesky no Portfólio Escolhido	85
Figura 36 – Distribuição do Portfólio Escolhido	85

Figura 37 – Distorções nas Distribuições Individuais dos Projetos	86
Figura 38 – Distribuição do Portfólio Escolhido com e sem Correlação	87

Sumário

	1 INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
	2 REFERENCIAIS TEÓRICOS	19
2.1	Projetos de Investimento	19
2.1.1	Métricas de Retorno	20
2.1.1.1	Valor Presente Líquido - VPL	21
2.1.1.2	Taxa Interna de Retorno - TIR	22
2.1.1.3	Índice de Lucratividade - IR	24
2.1.2	Métricas de Risco	24
2.1.2.1	Desvio Padrão	26
2.1.2.2	Medidas de Risco Alternativas	27
2.2	Teoria Moderna de Portfólio	28
2.2.1	Conceito	29
2.2.2	Natureza das Variáveis	32
2.2.3	Matriz de Correlação	34
2.3	Teoria da Utilidade	37
2.3.1	Origem e Conceito	37
2.3.2	Equivalente Certeza e Funções Utilidade	38
2.3.3	Valor Ajustado ao Risco	41
2.3.4	Coefficiente de Aversão/Tolerância a Risco	44
2.3.5	Dominância de Portfólios	46
	3 MODELAGEM	48
3.1	Modelo Proposto	48
3.1.1	Modelos Determinísticos	48

3.1.2	Modelos Probabilísticos	49
3.1.3	Parâmetro de Retorno	51
3.1.4	Função Utilidade e Coeficiente de Aversão a Risco	52
3.1.5	Modelo	53
3.2	Matriz de Correlação	56
3.2.1	Construção da Matriz de Percepção	57
3.2.2	Decomposição de Cholesky	59
	4 APLICAÇÃO	61
4.1	Roteiro de Aplicação da Proposta	61
4.2	Amostra	62
4.2.1	Organização	62
4.2.2	Projetos	64
4.2.3	Matriz de Correlação	69
4.2.4	Coeficiente de Aversão a Risco	73
4.2.5	Distorções da Transformação	75
4.3	Resultados	76
4.3.1	Seleção de Portfólio	76
4.3.2	Distribuição do Portfólio	84
4.3.3	Apreciação do Decisor	86
	5 CONCLUSÃO	89
5.1	Limitações da Pesquisa	90
5.2	Sugestões para Pesquisas Futuras	90
	REFERÊNCIAS	92
	A ROTEIRO DA REUNIÃO COM ESPECIALISTAS	96

1 INTRODUÇÃO

Gerenciar organizações de forma consistente e lucrativa torna-se um desafio cada vez maior à medida que aumenta a disponibilidade de informações nesse contexto. Considerando o objetivo de lidar com essa complexidade, é de vital importância que o processo decisório adotado internamente reflita a proposta de posicionamento da firma ao mesmo tempo que seja capaz de sustentá-la continuamente. Sob essa perspectiva, um processo de avaliação estruturado e coerente do negócio deve permear as diversas iniciativas empresariais, traduzindo-se em decisões sobre os investimentos relevantes e viabilizando a perpetuidade das atividades.

Um dos aspectos mais importantes a considerar nesta tarefa é a questão do risco, já que todas as decisões envolvem incertezas a respeito de suas consequências, em maior ou menor grau. Pode-se conviver com elas, irracionalmente, ignorando-as ou, racionalmente, analisando-as quantitativamente na busca das melhores alternativas (BECKER, 1988). Dessa forma, a solução do problema da estimativa de risco das oportunidades de investimento é uma das principais contribuições para que uma empresa se torne competitiva (GALENO et al., 2009).

A escolha da carteira de projetos a implantar insere-se nessa lógica, configurando-se como uma ação essencial, independente do segmento e do porte da organização. Por isso, a busca pela implantação de um processo eficaz de escolha revela como condição necessária a tradução dessas iniciativas em uma base única, a qual permita compará-las e, por fim, escolher o conjunto de ações mais apropriado. A maneira mais usual de realizar essa mensuração se dá por meio do uso de conceitos financeiros clássicos, traduzindo essas ações em métricas como dinheiro ou taxa de retorno.

Em síntese, todas as ações planejadas pela empresa podem ser convertidas em um fluxo de gastos ou receitas ao longo do tempo, com alguma previsibilidade associada de montante e data. O valor desse fluxo, atualizado ao momento da tomada de decisão, é o parâmetro básico de avaliação das iniciativas. A ideia é bastante simples e intuitiva, descontar a valor presente é uma das primeiras técnicas ensinadas em economia financeira (ROLL, 1994). Seu poder está em possibilitar a estruturação de uma massa de dados de forma a permitir a comparação e aglutinação, viabilizando sua análise e tornando-a útil.

Um ponto de atenção a ser levantado é que, em casos caracterizados por muita incerteza, pode-se argumentar que a tentativa de previsão demonstra pouca valia. Entretanto, mesmo nesses cenários, a mínima capacidade preditiva sempre supera a completa desinformação. Inclusive esta

diferença na amplitude dos resultados possíveis das ações é parâmetro de diferenciação quanto ao risco percebido pelo decisor, item essencial nos modelos de avaliação. O processo tende a se mostrar benéfico, uma vez que se sabe que há uma relação direta entre a sofisticação na análise de decisão das empresas e a melhoria de performance no ambiente de negócios, podendo classificar aquela como uma fonte de vantagem competitiva (SIMPSON et al., 2000).

Especificamente no segmento de petróleo, a avaliação econômica dos projetos de investimento para uma empresa integrada apresenta desafios ainda mais relevantes, pois o conjunto de variáveis que impacta o resultado de suas atividades é imenso, e a triagem dos mais significativos, por si só, não é uma tarefa trivial. Além disso, podem ser apontadas outras dificuldades da indústria de exploração e produção de petróleo como a alta volatilidade do conjunto de preços (visualizada na Figura 1), o aumento na pressão por redução de custos, a diminuição das oportunidades de investimento, o encolhimento da mão-de-obra experiente e um mercado de capitais cauteloso (WALLS, 2004).

Diante do exposto pode-se concluir que as decisões gerenciais acerca da elaboração de um portfólio adequado em termos de risco e retorno para as companhias deste segmento impactam diretamente seus resultados, o que acaba determinando quais sobreviverão e quais perecerão ao longo dos anos.

Quando levadas em conta questões estratégicas soberanas envolvendo o suprimento de energia, o tema apresenta ainda mais relevância, indicando quão importante é o processo decisório responsável por manter essas companhias viáveis economicamente ao longo dos anos. Para se ter uma ideia, cerca de 80% da energia consumida no mundo ainda é proveniente de combustíveis fósseis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2015).

Outro ponto fundamental é o reconhecimento de que a combinação entre altas somas de investimentos necessários e longos prazos de maturação dos projetos atribuem às atividades do setor características de risco que demandam uma análise criteriosa e abrangente, em linha com os direcionadores estratégicos de cada empresa. Assumir riscos desnecessários pode levar a perdas significativas, assim como uma postura demasiadamente conservadora pode acarretar a perda de oportunidades únicas. Em essência, o risco é inerente ao setor, dadas incertezas dos

Figura 1 – Oscilação do Preço do Petróleo



Fonte: Elaborado pelo autor.

mais diversos tipos (tecnológica, geológica, econômica e política), e implementar um modelo de avaliação que considere esta característica adequadamente torna-se uma tarefa essencial.

A forma mais comum de avaliação observada nos processos corporativos trata os projetos de maneira isolada, explicitando em geral um ranqueamento simples de acordo com indicadores eleitos por diretores e atendendo as demandas individuais de investimento até o limite de um orçamento total aprovado (BALL; SAVAGE, 1999b). Esta proposta prescinde de uma compreensão mais ampla sobre o posicionamento em termos de carteira, e é justamente neste ponto que as teorias de portfólio e da utilidade podem contribuir.

A prática atual mostra que o uso destas teorias entre companhias petrolíferas é muito baixo (AL-HARTHY, 2007). Em uma pesquisa conduzida com companhias britânicas de óleo e gás a conclusão foi que apenas 35% utilizavam Teoria de Portfólio e 10% usavam a Teoria da Utilidade (SIMPSON et al., 2000). Entre os procedimentos mais comuns estão o fluxo de caixa descontado, simulações de Monte Carlo e árvores de decisão. Alguns estudos já evidenciam um argumento semelhante como razão para a fraca performance de muitas empresas nessa indústria: a falta de compreensão na relação entre incerteza e retorno, a precariedade no entendimento da teoria de portfólio e seus impactos no processo, e a indefinição do nível de tolerância a risco com aplicação consistente a cada vez que um novo projeto é avaliado (PORUBAN, 2000).

Um elemento importante de melhoria na prática do gerenciamento do risco e tomada de decisão em firmas de Exploração e Produção é a garantia da integração adequada entre as técnicas de análise existentes e novas propostas, a fim de potencializar suas capacidades em geral (WALLS, 2004). As gerências de planejamento dessas empresas normalmente já praticam alguma forma de avaliação, sendo fundamental um trabalho de sensibilização prévio a qualquer mudança de metodologia.

A proposta deste trabalho é integrar conceitos de avaliação usuais às teorias da Utilidade e do Portfólio Moderno, e descrever um modelo que capture valor sob uma perspectiva ampliada. Além disso, busca-se aplicar o referido modelo em projetos da carteira da Petrobras, uma companhia inserida num contexto organizacional complexo e com possibilidades de investimentos volumosos em cerca de mil projetos de diversos segmentos do ramo de energia.

A Teoria Moderna de Portfólio (MARKOWITZ, 1952), originalmente concebida para descrever o comportamento de carteiras compostas por ativos financeiros, encontra aplicação profícua no auxílio ao gerenciamento de portfólio de projetos reais. A principal contribuição de Markowitz foi demonstrar que, embora o retorno de uma carteira possa ser calculado pela proporção simples entre os ativos que a compõem, o cálculo de seu risco deve levar em conta adicionalmente questões interativas entre seus componentes. Trata-se de uma ferramenta de obrigatório conhecimento para os diretores financeiros de qualquer companhia (ROLL, 1994).

Em outras palavras, a teoria matematizou o argumento da diversificação de posições a fim de reduzir a variabilidade do valor esperado, evidenciando que quando dois ativos possuem

correlação positiva, isto é, parte de sua tendência de movimento futuro segue a mesma direção, a inclusão dos dois em uma mesma carteira aumenta o risco total. Neste caso, o mais provável é que ambos percam valor ou ganhem valor simultaneamente, expondo o investidor a picos de ganho e vales de prejuízo. O contrário ocorrendo no caso de dois ativos negativamente correlacionados, pois há uma compensação entre os movimentos, ou seja, quando um desvaloriza, outro tende a valorizar.

A análise de portfólio amplia a visão míope e restritiva de selecionar projetos baseando-se apenas em critérios individuais e permite ao gestor determinar como potenciais investimentos afetarão os objetivos e resultados do portfólio como um todo (HIGHTOWER; DAVID, 1991). A consciência desta característica no comportamento dos ativos leva à construção dos melhores portfólios possíveis, pois é possível testar diversas composições e perceber quais resultam em maiores retornos dado um nível de risco máximo, ou menores riscos dado um retorno esperado mínimo.

Realizadas as devidas adaptações, a teoria pode ser utilizada no processo de otimização de carteira de empresas de quaisquer segmentos, oferecendo o ferramental necessário para os gestores identificarem a combinação de projetos que, sob restrições pré-determinadas, maximizam o retorno total esperado dado um nível de risco aceitável. Para a aplicação específica na indústria de petróleo, o modelo necessita de modificações para que se enquadre nos objetivos de investimento e na limitação de informações no segmento (HIGHTOWER; DAVID, 1991). Esse endereçamento pode ser realizado através de ajustes na avaliação, inclusão de restrições específicas e simulações de Monte Carlo.

Outra questão relevante é perceber que a avaliação de projetos sob a perspectiva determinística impõe limites à elaboração de um portfólio adequado segundo o processo proposto. A modelagem das decisões nesse sentido, em formato de projetos suscetíveis à variação de valor, é um dos pré-requisitos básicos para aplicação da Teoria Moderna de Portfólio.

Para a adaptação fora do contexto financeiro, os ativos em um portfólio devem ser definidos em termos de projetos que permitam sua avaliação em uma base consistente independentemente de seu nível de maturidade; assim, haverá uma base de dados de projetos, incorporando riscos e incertezas, que poderão ser comparados por métodos analíticos (ROSS, 2004). As variáveis relevantes (preços, custos, tempo) são modeladas conforme uma tendência esperada, e seus impactos na métrica de valor possibilitam que se observe uma distribuição do *output* possível.

Destaca-se que a comunidade acadêmica já trabalhou algumas formas de aplicação dessa abordagem para avaliação de projetos reais de investimento em ativos de Exploração e Produção (BALL; SAVAGE, 1999a; BALL; SAVAGE, 1999b; WALLS, 2004; HAYASHI; LIGERO; SCHIOZER, 2010), contudo essas iniciativas são ainda muito tímidas no dia-a-dia das companhias e apresentam oportunidades para melhoria.

Ainda assim, embora esclareça muitos pontos até então ignorados das avaliações usuais, determinar uma fronteira eficiente com as possibilidades de investimento não resolve por completo o problema de identificação da carteira mais adequada para a empresa. Dessa forma, a próxima barreira é investigar qual o perfil de risco apropriado para uma companhia (MUTAVD-ZIC; MAYBEE, 2015), uma vez que, sem essa informação, não é possível estabelecer diferenças entre vários portfólios eficientes sob a perspectiva de risco e retorno.

A literatura do tema confirma a existência de políticas de aversão a risco entre decisores de diferentes indústrias (SPETZLER, 1968) e, especificamente, há trabalhos que reforçam essa tendência no segmento de óleo e gás (WALLS; DYER, 1996).

Nesse sentido a Teoria de Utilidade, cujo conceito original foi concebido há longa data (BERNOULLI, 1738), configura-se como um modelo reconhecido para guiar decisões sob condições de risco, uma vez que estas dependem em grande parte de preferências, e a teoria mencionada as estrutura oferecendo uma representação numérica consistente (BECKER, 1988). A Teoria de Utilidade incorpora a atitude de risco a respeito dos ganhos e perdas monetárias em um valor único, denominado utilidade esperada, e lida com a atitude de risco por meio de funções de utilidade, as quais convertem o valor real dos projetos em um valor percebido pelo decisor.

Muitas funções podem descrever a visão de utilidade dos gestores, mas geralmente é usada uma função exponencial, devido à simplicidade e facilidade de aplicação em diversas indústrias (AL-HARTHY, 2007), sendo o parâmetro básico desse tipo de função utilidade o coeficiente de aversão a risco (a).

Destaca-se que é possível fazer uso das duas teorias citadas de maneira isolada. Aplicando a Teoria Moderna de Portfólio obtém-se uma curva eficiente indicando carteiras ótimas, numa visão holística, porém sem qualquer indicativo de percepção de valor para os decisores. Por outro lado, pode-se aplicar a Teoria de Utilidade aos valores individuais da métrica de retorno escolhida para os projetos, e classificá-los em ordem decrescente. Assim percebe-se o valor para a companhia de cada possibilidade de investimento, contudo não se tem ideia das consequências advindas de uma inclusão simultânea de itens que possam porventura demonstrar dependência estatística. Já a sinergia obtida na aplicação de ambos conceitos é capaz de endereçar o desafio de selecionar um portfólio de projetos reais tendo em vista tanto as interações entre os componentes quanto a percepção de valor do decisor, por isso um modelo que contemple esses aspectos simultaneamente apresenta grande valor.

Dada a relevância e aplicabilidade do tema, é necessário caracterizar ativos e portfólios de uma maneira clara e consistente com o objetivo de facilitar sua avaliação e comparações e, finalmente, a tomada de decisão (ROSS, 2004). Ainda mais em casos como o da Petrobras, no qual há toda uma comunidade de planejamento empenhada diariamente em transformar dados em informação. Trata-se, portanto, de uma tarefa complexa tanto do ponto de vista da quantidade de informações quanto de sua inserção no contexto organizacional, e que, embora tenha evoluído

bastante nos últimos anos, ainda revela um considerável espaço para aprimoramento.

1.1 OBJETIVO

Os objetivos dessa dissertação estão descritos abaixo.

1.1.1 Objetivo Geral

- Propor uma sistemática de avaliação de carteira de projetos reais capaz de mensurar adequadamente o valor percebido em termos de risco e retorno, e sua consequente utilidade, possibilitando a escolha do melhor portfólio dado um conjunto pré-determinado de restrições organizacionais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Possibilitar a estruturação de modelos de avaliação de portfólio, elaborando uma proposta ajustável a organizações dos mais variados tipos;
- Descrever a aplicação do modelo proposto numa empresa do ramo de óleo e gás;
- Aprimorar a utilização do conteúdo informacional disponível na organização;
- Fomentar o debate acerca das prioridades no contexto organizacional, tendo em conta seu impacto em termos financeiros.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Os conceitos a seguir destacados servem de subsídio para o desenvolvimento da proposta de avaliação de carteiras de projetos de investimento. Inicialmente são revistas métricas de retorno e risco para projetos reais. Em seguida aborda-se a Teoria Moderna de Portfólio, a qual deu um passo importante no entendimento acerca do risco dos portfólios. Por fim, a Teoria da Utilidade fornece uma estrutura lógica para tratar a questão de propensão a riscos nos processos de escolha.

2.1 PROJETOS DE INVESTIMENTO

A governança de boa parte das empresas se dá através da conceitualização de projeto como unidade básica para decisão, em especial a partir de determinado porte. Para a linha de raciocínio estabelecida neste trabalho, pode-se descrevê-lo como a expressão numérica de um conjunto de escolhas agrupadas coerentemente. Essa maneira de organizar fica evidenciada em algumas estruturas corporativas que possuem o chamado escritório de projetos, cuja responsabilidade é definir as normas para a proposição de novos projetos e para o acompanhamento dos já existentes.

Após definido o conceito fundamental, o próximo passo é encontrar uma maneira de mensurá-lo adequadamente. Há diversos indicadores que possibilitam a comparação individual entre projetos, cada qual com suas vantagens e desvantagens, destacando-se o VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno) e o Índice de Lucratividade (VPL/IA¹ ou VPL/DA²).

Há estudos indicando que, das 1000 maiores companhias mundiais (*Fortune 1000*), 85% utilizam o VPL como critério para investimento entre 75% a 100% das vezes que precisam tomar uma decisão, enquanto a TIR é utilizada por 76% desse grupo (RYAN; RYAN, 2002). Muitos trabalhos demonstram a predominância dessas duas métricas, apontando ainda uma preferência para a TIR, por ser mais intuitivo; os executivos aparentam se sentir mais confortáveis lidando com percentuais (GITMAN; FORRESTER, 1977; BURNS; WALKER, 1997)

Essas métricas podem ser aplicadas em qualquer setor, pois a unidade monetária é a base do cálculo de todas. Contudo pode ser de interesse do analista a utilização de alguma métrica específica para sua companhia. Por exemplo, um varejista pode entender que o adequado

¹ IA - Investimento Atualizado: trata-se do valor presente dos investimentos em bens de capital.

² DA - Dispendio Atualizado: trata-se do valor presente de todos os gastos do projeto.

diagnóstico de seu empreendimento é melhor medido quando calculado o giro do estoque ou a margem de contribuição média dos produtos. Ou, outro caso, uma rede de hotelaria pode utilizar a média do percentual de ocupação de suas unidades.

Para o segmento de óleo e gás é bastante comum falar-se em quantidade de óleo produzido (boe³), ou em índice de reposição de reservas (reservas/produção), ou, ainda, em índice de sucesso exploratório (número de poços com sucesso comercial sobre o total de poços perfurados).

A vantagem de utilizar métricas financeiras é sua aplicabilidade sem distinção de segmento, permitindo comparar a eficiência intersetorial. Para companhias posicionadas em mais de um segmento, por exemplo, não faz sentido o uso de uma unidade que se aplique na mensuração de apenas uma parte de seu portfólio. Tal fato imporá limites aos processos internos.

Entretanto, para que seja viável o uso de métricas financeiras, é imprescindível que, na planificação do projeto, a percepção de valor seja traduzida ao máximo em termos financeiros, capturando tudo que seja considerado relevante. Negligenciar algum fator pode levar a combinações de ativos distantes das opções ótimas.

Markowitz aponta um caminho para a seleção de portfólio considerando que se sabe exatamente quais os parâmetros a inserir no modelo. Estimar esses dados, portanto, é o grande problema a resolver. Essa sensibilidade a alterações nos parâmetros pode levar a ambiguidades no processo otimizador (MICHAUD; MICHAUD, 2008), por isso uma abordagem precisa dos fluxos é essencial.

Para companhias de Exploração e Produção, o conceito definido de projeto provê uma conexão entre a acumulação geológica de petróleo e o processo decisório, incluindo a alocação de capital (ROSS, 2004). Uma empresa integrada de energia possui refinarias, parques petroquímicos, hidrelétricas, termelétricas, rede de postos de combustíveis, distribuidoras de gás, entre outros ativos. Em todos esses casos, a proposição de projetos continua servindo de ponte entre a possível operação e a decisão dos diretores de seguir adiante, dadas determinadas restrições de orçamento. Fazer uso de alguma métrica específica certamente limitaria a análise em termos de portfólio integrado, forçando segmentações de carteira pouco úteis ao decisor.

A seguir são analisadas as métricas financeiras mencionadas, as quais foram consideradas mais apropriadas para uso no modelo, em detrimento das métricas específicas.

2.1.1 Métricas de Retorno

Conforme já mencionado, a elaboração conceitual de um projeto demanda e produz uma grande quantidade de informações. Reduzi-los a uma única métrica necessariamente implica a perda, no mínimo parcial, dessa massa de informações, sendo dever dos analistas envolvidos proceder aos estudos com vistas à minimização dessa perda.

³ boe - barril de óleo equivalente: trata-se do volume total produzido de óleo e gás, convertidos em barril padrão.

Além disso, ao sistematizar processos de elaboração de portfólio, é fundamental que os decisores compreendam o significado do índice escolhido e suas limitações, caso contrário a aplicação do modelo se enfraqueceria por si só, perdendo utilidade para a organização. Técnicas de avaliação podem ser consideradas muitas vezes complexas, não devendo ser simplesmente impostas para os decisores, para os quais é fundamental desenvolver um senso prático sobre a teoria proposta (ASRILHANT; MEADOWS; DYSON, 2006).

Segundo pesquisas sobre gerenciamento de projetos no ramo de óleo e gás no Reino Unido, os gerentes estão familiarizados e utilizam sabiamente várias medidas financeiras como lucro líquido, ROI (*return on investment*), TIR e VPL (ASRILHANT; MEADOWS; DYSON, 2006). Desse grupo de medidas, sabe-se que as contábeis podem divergir bastante dos fluxos de caixa (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2006), pois levam em conta orientações legais, as quais em geral não são as mais indicadas na mensuração de retorno efetivo para a organização, sendo, portanto, menos utilizadas como *input* para formação de carteiras.

2.1.1.1 Valor Presente Líquido - VPL

A literatura de finanças geralmente sugere que a escolha de investimentos em projetos deve ser feita utilizando o conceito de VPL (GITMAN, 2003; BREALEY; MYERS; ALLEN, 2006). Uma das razões mais fortes é a percepção de valor da escolha na mesma unidade em que se mede o patrimônio da organização.

O VPL mede o retorno em termos de unidade monetária, ou seja, quanto é esperado de dinheiro ao final da execução do projeto. Todos os fluxos ao longo do tempo são trazidos (reduzidos) a um período mais próximo da decisão, fazendo uso de uma taxa que reflete o custo de capital da empresa (WACC). Esta taxa nominal reflete três fatores: o risco do investimento, o desejo do investidor em segurar o dinheiro para investimentos futuros e a expectativa de inflação (KIERULFF, 2008). A taxa real⁴ apenas ignora o último componente, exigindo que os fluxos também sejam traduzidos ao valor real de hoje. Um detalhe do cálculo, porém de grande relevância para o entendimento dos processos. Ademais ressalta-se a importância da determinação da WACC da empresa no processo de avaliação de carteira, uma vez que o VPL é bastante sensível a essa taxa. A capacidade financeira da firma, seu grau de alavancagem e as condições do mercado são exemplos de itens que afetam diretamente o custo de captar recursos para financiar projetos, fato que deve estar refletido no custo médio ponderado de capital.

Se a soma dos fluxos futuros descontados exceder o valor dos gastos iniciais, o VPL é positivo e o projeto é financeiramente atrativo, isto é, adicionará valor à firma. Caso o VPL seja negativo, o projeto deve ser abandonado, pois apenas consumiria recursos da empresa.

⁴ Alguns autores utilizam também o termo taxa efetiva como sinônimo para taxa real, porém, como a literatura de matemática financeira define aquela como a taxa nominal expressa ao período em que se capitalizam os juros, optou-se pela nomenclatura utilizada.

A expressão matemática do VPL pode ser visualizada a seguir, onde os fluxos dos períodos são denominados C , os indicadores numéricos subscritos referem-se aos períodos e a taxa de desconto r :

$$VPL = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots \quad (2.1)$$

Trata-se de um operador linear no conjunto de projetos, ou seja, pode-se generalizar a seguinte propriedade:

$$VPL(kA + B) = kVPL(A) + VPL(B) \quad (2.2)$$

Portanto uma característica dos VPLs dos projetos, relevante para a modelagem, é a possibilidade de somá-los. O valor do dinheiro no tempo é premissa básica para o entendimento do VPL. Uma unidade monetária hoje é mais valiosa que uma unidade monetária amanhã, pois esse valor pode ser investido e render juros imediatamente (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2006).

Uma característica do cálculo do VPL é que ele pressupõe o reinvestimento dos fluxos recebidos à taxa de desconto utilizada. Nem sempre isso encontra amparo na realidade: aplicações financeiras podem ter taxa de retorno menor do que o custo de capital das empresas. Isso faz com que o índice seja exato apenas se o fluxo positivo for único e ao final do período analisado, e não distribuído ao longo do tempo, como em geral é.

Outro fator apontado é que esse número não evidencia o custo associado ao projeto, apenas o montante de suas receitas que ultrapassa as saídas totais. A proporção entre gastos e ganhos é, portanto, negligenciada.

2.1.1.2 Taxa Interna de Retorno - TIR

Trata-se da taxa de retorno associada ao projeto a qual, quando utilizada como taxa de desconto, faz com que a soma dos fluxos positivos se iguale à soma dos negativos. Sendo esta taxa superior à taxa de retorno exigida pelos investidores⁵, é vantajosa a continuidade do projeto; sendo menor, buscam-se outras alternativas.

Matematicamente a expressão é vista a seguir, na qual t indica o período de tempo em que o fluxo C ocorre:

$$VPL = C_0 + \frac{C_1}{1+TIR} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \frac{C_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{C_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2.3)$$

Muitas empresas preferem a TIR ao VPL, como critério de investimento. Embora, calculados de maneira apropriada e os critérios sejam considerados formalmente equivalentes, a TIR contém algumas armadilhas (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2006). Os problemas incluem a premissa de reinvestimento à TIR obtida, o ranqueamento de projetos mutuamente excludentes e a possibilidade de existência de múltiplas TIRs (KIERULFF, 2008).

⁵ Também chamada de TMA (Taxa Mínima de Atratividade).

Sobre a questão do reinvestimento, a dificuldade (também presente no cálculo do VPL) de obter opções para remunerar os fluxos intermediários ao custo de capital da empresa é agravada ainda mais. O cálculo da TIR pressupõe reaplicação dos fluxos intermediários à ela própria, que deve ser maior que seu custo de capital para justificar a existência da firma. A impossibilidade de reprodução dos projetos, por se tratarem de ativos reais, torna esse fator ainda mais crítico.

A exemplo do VPL, a TIR expressa seu valor de maneira exata quando o recebimento se dá na forma de um fluxo único ao final do período. Entretanto, diferente do VPL, não se pode apurar a TIR de uma carteira somando ou calculando a média das TIR's dos projetos. É necessário apurar os fluxos resultantes da combinação escolhida para então determinar o indicador.

Mesmo com todas essas dificuldades, nem todos advogam o abandono da métrica, apontando possíveis soluções (HAZEN, 2003). Uma das propostas é a utilização de Taxa Interna de Retorno Modificada⁶ (KIERULFF, 2008). Desenvolvido no século dezoito, o procedimento ataca desvantagens observadas tanto na TIR como no VPL, porém é pouco utilizada no ambiente corporativo (RYAN; RYAN, 2002). Outra alternativa é a TIR seletiva⁷, que apresenta um cálculo consistente com o VPL, sempre existe e é única (WEBER, 2014). Novamente encontra-se resistência nos processos gerenciais usuais, o que inviabiliza sua disseminação.

Outra questão prática contra a TIR, particular para projetos de investimento, é que alguns destes demonstram fluxo positivo desde o primeiro período. É o caso de iniciativas que já se encontram em curso e a decisão recai sobre sua continuidade. Há um VPL associado, porém não há uma TIR, pois em tese não haverá saída de capital. Como em geral as decisões de portfólio são analisadas sob a perspectiva *point forward*, isso não é tão raro.

Uma alternativa seria a exclusão destes projetos do processo de seleção de carteira. Contudo, mesmo sendo autosuficientes, estes devem ser considerados devido a outras restrições que possam recair sobre a empresa como volume de investimentos, ou de gastos operacionais ou de pessoas envolvidas nas atividades. Dado que devem competir nessas esferas, seus parâmetros de retorno devem ser incluídos.

O mesmo ocorre com projetos cuja função é apenas suportar outros, ou de caráter obrigatório, e que possuem apenas fluxos negativos associados. Há um VPL (negativo) mas não há uma TIR.

De qualquer maneira, a falta de parâmetro em um projeto impossibilita sua inclusão na modelagem e afasta o decisor de uma percepção abrangente do negócio, devendo ser evitada.

⁶ *MIRR: Modified Internal Rate of Return*

⁷ *Selective Internal Rate of Return*

2.1.1.3 Índice de Lucratividade - IR

O índice de lucratividade é relacional, indicando quantas unidades monetárias se obtêm de resultado a cada unidade gasta no projeto. Há duas maneiras de calculá-lo: na perspectiva mais ampla, aplica-se o dispêndio total do projeto no denominador; na mais restrita, apenas os investimentos em bens de capital. A fórmula, o quociente entre o VPL e o IA (Investimento Atualizado) ou o DA (Dispêndio Atualizado), indica que os fluxos devem ser trazidos a valor presente, tanto para compor o numerador como para apurar o denominador.

Para os propósitos deste trabalho, em termos de portfólio, faz mais sentido a adoção do primeiro, pois todo fluxo impacta o retorno, não cabendo rotulá-lo como investimento, custo operacional ou despesa.

Embora menos usual que os indicadores anteriormente referidos, possui significado bastante intuitivo, sendo de fácil compreensão pelos gestores das organizações. Alguns pesquisadores já o adotaram como métrica de retorno para avaliar projetos e portfólios (HELFAT, 1989; BRASHEAR; BECKER; GABRIEL, 1999), procedendo a otimizações subsequentes.

A métrica apresenta a noção relativa⁸ de retorno do projeto, produzindo bons resultados quando as proporções dos investimentos unitários são pequenas em relação ao orçamento total. Contudo, como o indicador não dá ideia da escala do projeto, surgem dificuldades associadas. Por exemplo, a taxa de retorno de um projeto pode ser elevada, mas consumir quase todo o orçamento, o que pode levar a uma decisão incorreta em termos de portfólio.

Também, a exemplo da TIR, o IL da carteira não pode ser obtido através da soma dos ILs dos projetos que a compõem. Entretanto pode ser obtido através de uma média ponderada pelo volume de investimentos em cada projeto.

2.1.2 Métricas de Risco

A habilidade de definir o que pode acontecer no futuro e escolher entre alternativas faz parte do cerne da vida contemporânea. O gerenciamento do risco guia as pessoas por uma vasta gama de decisões, da alocação de investimentos até questões de saúde pública, da declaração de guerra até o planejamento familiar, do pagamento de seguros até o uso do cinto de segurança, do cultivo de milho até a comercialização de cereais (BERNSTEIN, 1998).

Surpreende o fato de que, mesmo onipresente, não há unanimidade acerca de uma definição para o termo risco (DAMODARAN, 2009). Popularmente lhe é atribuído caráter pejorativo, sendo associado à situação de perigo, mas essa compreensão é bastante limitada. Alguns autores chegam ao refinamento conceitual de diferenciar risco de incerteza, considerando o primeiro um indicador simplificado e a última uma expressão abrangente dos possíveis valores, em formato de função distribuição de probabilidade completa (ROSS, 2004).

⁸ Trata-se de um indicador não dimensional.

No âmbito de finanças, risco é definido em termos da variabilidade dos retornos observados de um investimento em comparação com o retorno esperado desse investimento, mesmo quando esses retornos representam resultados positivos (DAMODARAN, 2009). Por isso o emprego dos conceitos estatísticos de Variância ou Desvio Padrão⁹ como sinônimos de risco são comuns.

No âmbito deste trabalho, risco e incerteza são utilizados como sinônimos, e expressam a imprecisão acerca de uma medida determinística. Projetos de investimento, como qualquer ação humana, também estão sujeitos a incertezas. Dependendo do segmento, este fator é ainda mais relevante. Assim, modelá-los deterministicamente, na melhor das hipóteses, empobrece bastante o processo decisório. Portanto, definida uma métrica de retorno para a avaliação dos projetos capaz de refletir eficientemente a percepção de valor organizacional, o próximo passo é incorporar o risco ao modelo.

Ao trabalhar com indicadores de retorno e risco para projetos, deve-se considerar que a variável retorno, seja qual for, é aleatória e, por isso, os seus valores reais não podem ser conhecidos com certeza, mas apenas estimados usando modelos probabilísticos (GALENO et al., 2009). O retorno de um projeto é condensado em um indicador único, que por sua vez é afetado por uma série de outras variáveis como preço, custo, tributos, custo de capital, demanda, atrasos na operação, entre outros. Portanto há uma relação direta de dependência entre esses parâmetros percebidos como relevantes e o resultado do projeto em termos do indicador de retorno escolhido. No processo de avaliação, faz-se uso de observações e experiências passadas para formar a crença no desempenho futuro dos projetos. A técnica de simulação de Monte Carlo utiliza essa crença nas probabilidades dos parâmetros de *input* para descrever sua incerteza.

Com base nesses parâmetros, descritos matematicamente por seus componentes estatísticos (curva de distribuição), o simulador, através de corridas de simulação, gera distribuições de probabilidade para índices específicos de retorno, permitindo visualizar tanto a magnitude como a probabilidade dos lucros/prejuízos. Em suma, o processo de simulação aplica a teoria moderna de decisão e probabilidade permitindo a obtenção de uma curva de distribuição para os possíveis retornos (HIGHTOWER; DAVID, 1991).

O retorno médio de cada projeto i pode ser estimado a partir de um processo simulatório cujo resultado é uma distribuição de probabilidade gerada por suas Z corridas de simulação:

$$E[R_i] \sim \bar{R}_i = \frac{\sum_{z=1}^S R_i^z}{Z} \quad (2.4)$$

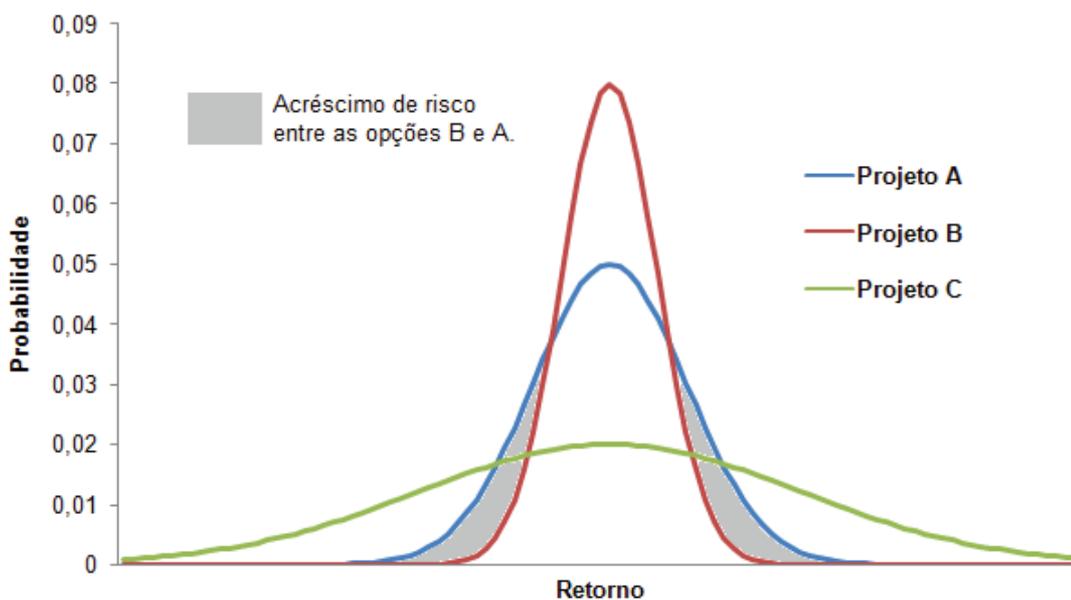
onde R_i^z indica a medida de retorno do projeto i na corrida de simulação z .

Em termos práticos, a importância da noção de risco pode ser percebida quando se comparam projetos cujo retorno é o mesmo. Imagine-se três possibilidade de investimento

⁹ Embora ambos conceitos expressem variabilidade em torno de uma medida central, o desvio padrão é medido na mesma unidade da medida em análise, por isso a preferência pelo seu uso.

(projetos A, B e C) com o mesmo custo para a empresa e retornos médios idênticos. Após estimar os riscos nos parâmetros incertos, o analista se depara com situação visualizada na Figura 2, em termos de distribuição de probabilidade dos retornos: as três opções demonstram possuir o mesmo retorno esperado, fato evidenciado pelos maiores volumes das curvas situarem-se sobre o mesmo valor no eixo Retorno. Contudo as chances do projeto B atingi-lo são consideravelmente maiores que nos projetos A e C.

Figura 2 – Distribuição de Probabilidade do Retorno de Projetos



Fonte: Elaborado pelo autor.

O aumento do risco não necessariamente é ruim, pois, nesse caso de distribuição normal, as chances de o retorno real divergir do retorno esperado são simétricas, significando que projetos mais arriscados possuem maiores chances de apresentar retornos tanto maiores quanto menores que a média, equitativamente. O preço pela possibilidade de ganho é o aumento das chances, na mesma proporção, de o retorno real ser menor que o esperado. A área cinza destacada na Figura 2 expõe o acréscimo de risco ao optar pelo projeto A em detrimento do projeto B. Pode-se perceber que a área à direita do retorno esperado, simbolizando aumento no risco de ganho, é igual à área da esquerda, que significa maior chance de perda.

2.1.2.1 Desvio Padrão

A medida de risco amplamente adotada no mercado financeiro é o desvio padrão, desde os trabalhos acadêmicos mais clássicos (MARKOWITZ, 1952). Trata-se também da medida de risco mais utilizada para auxílio no processo decisório em empresas do segmento de óleo e gás (MCVEAN, 2000). Sua conceitualização faz parte dos ensinamentos de estatística básica, sendo amplamente difundido entre equipes de planejamento e diretores de empresas.

A estimativa do desvio padrão do projeto i , dadas S corridas de simulação, pode ser vista a seguir:

$$\sigma_i \sim \sqrt{\frac{\sum_{z=1}^Z (R_i^z - \bar{R}_i)^2}{Z}} \quad (2.5)$$

2.1.2.2 Medidas de Risco Alternativas

Alguns autores argumentam contra o uso do desvio padrão como medida adequada de risco, pois este considera igualmente indesejadas tanto as variabilidades abaixo como acima da média esperada (WALLS, 2004). Propõe-se, por exemplo, que o risco seja definido como a incerteza de atingir um retorno abaixo de uma meta proposta (b), e não a incerteza total do retorno (ARISTEGUIETA, 2008). Algumas empresas utilizam o valor de referência zero, preocupando-se em apurar as chances de perder dinheiro ao realizar o projeto. Contudo há questões que podem complicar a determinação de qual o ponto apropriado a considerar como perda numa distribuição de retornos (WALLS, 2004). Nesses casos, a estimativa de risco necessitaria do seguinte ajuste:

$$Risco_i \sim \sqrt{\frac{\sum_{z=1}^Z (\min[0, R_i^z - b])^2}{Z}} \quad (2.6)$$

Outras possibilidades ainda incluem o semi-desvio padrão ($b = \bar{R}_i \sim E[R_i]$) e percentis pré-estabelecidos (FISHBURN, 1977; MARKOWITZ, 1959).

Todos esses indicadores são chamados de risco de queda¹⁰, pois focam no risco de não atingir um determinado resultado, ao invés de tratar da variabilidade total do retorno. Para certos segmentos, como em Óleo e Gás, a não adoção do desvio padrão pode ser relevante, dada a natureza assimétrica da distribuição dos retornos e os objetivos dos gestores (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015).

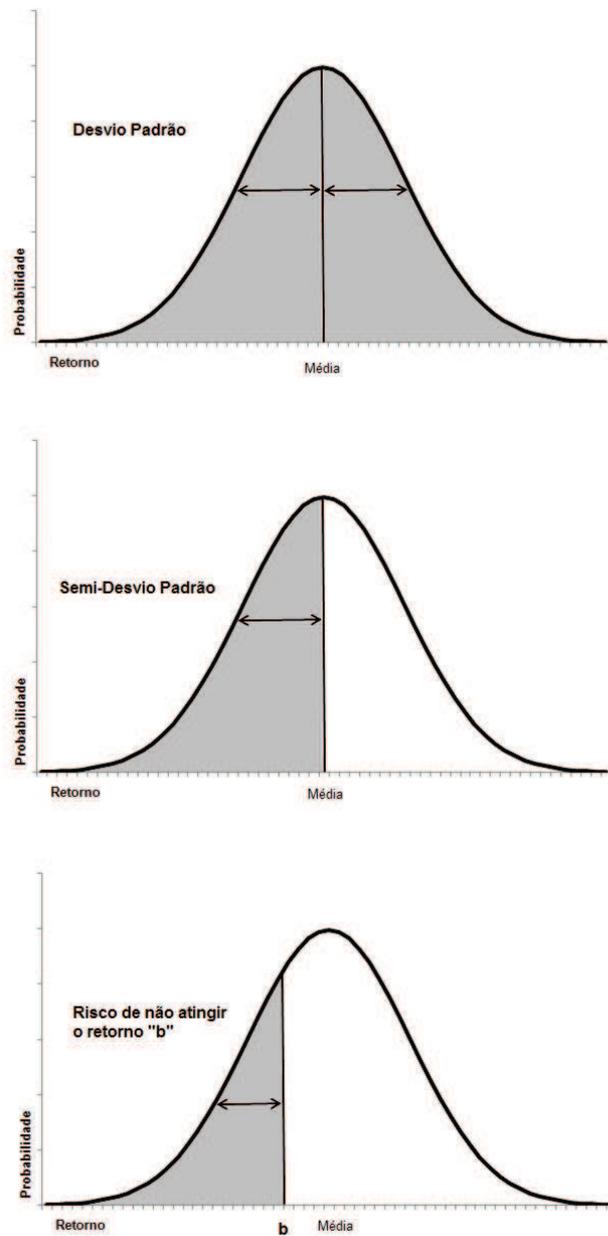
As alternativas citadas podem ser consideradas boas substitutas do desvio padrão, embora nenhuma tenha apresentado desempenho superior. Pode ser preferível o uso de múltiplas medidas de risco, uma vez que isso possibilita ao gestor uma perspectiva mais abrangente do potencial de um portfólio de investimentos (MCVEAN, 2000).

A Figura 3 explicita a diferença de concepção entre as alternativas.

Novamente o entendimento dos conceitos por parte dos decisores é fundamental ao longo do processo de escolha para o parâmetro de risco adotado, a exemplo do que ocorre na métrica de retorno.

¹⁰ *Downside Risk*

Figura 3 – Medidas de Risco



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 TEORIA MODERNA DE PORTFÓLIO

A seguir é descrita a Teoria Moderna de Portfólio, uma das teorias que serviu de base fundamental para o desenvolvimento das finanças modernas.

2.2.1 Conceito

Harry Markowitz apresentou a Teoria Moderna de Portfólio em 1952, revolucionando a teoria e a prática sobre investimentos. Embora inicialmente formulado visando a aplicação nas decisões sobre ativos financeiros, seu conceito geral e procedimentos podem ser modificados de maneira a auxiliar na alocação de investimento em projetos reais (CORD, 1964).

O processo de selecionar um portfólio pode ser dividido em duas etapas. A primeira começa com observação e experiência e acaba formulando a crença sobre o desempenho futuro dos ativos disponíveis. A segunda começa com essa expectativa de comportamento futuro dos ativos e termina com a escolha do portfólio (MARKOWITZ, 1952).

A Teoria de Portfólio nada menciona sobre a primeira etapa, preocupando-se essencialmente com a identificação dos portfólios ótimos em termos de risco e retorno após estimado o desempenho dos ativos nesses quesitos. O modelo faz uso de algumas premissas com relação ao comportamento do investidor (REILLY; BROWN, 2000):

- Alternativas de investimento podem ser representadas por uma distribuição de probabilidade dos retornos esperados em um período definido;
- Investidores maximizam sua utilidade em um período;
- O risco de um portfólio é determinado pela variabilidade em relação ao retorno esperado;
- Investidores fundamentam suas decisões apenas em retorno esperado e risco;
- Investidores são avessos ao risco, portanto, quando necessário escolher entre ativos com mesmo nível de risco, optam pelo de maior retorno.

A escolha do investidor está em como distribuir sua riqueza entre os ativos de maneira a otimizar sua posição, obtendo o maior retorno médio possível para determinado nível de risco, ou o menor risco possível para um retorno mínimo esperado. Por isso esse modelo também é chamado de Modelo Média-Variância.

De maneira intuitiva, chega-se à conclusão de que o retorno esperado de um portfólio, $E(R_p)$, pode ser expresso através da média ponderada dos retornos esperados dos n ativos que o compõem, $E(R_i)$ s:

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^n x_i E(R_i) \quad (2.7)$$

onde x_i é o percentual do total de recursos que foram investidos no ativo i . Não se trabalha com a hipótese de posição vendida em algum ativo, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (2.8)$$

e

$$x_i \geq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

Já para a apuração do risco o cálculo não é tão intuitivo como no retorno, pois o aspecto relacional entre os ativos afeta a variabilidade conjunta do portfólio. O modelo de Markowitz reconhece a importância da interação entre projetos na otimização do portfólio da firma para além do parâmetro isolado do projeto (AL-HARTHY, 2007).

O desvio padrão¹¹ do portfólio, σ_p , é dado por:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}} \quad (2.10)$$

onde

$$\sigma_{ij} = \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}, \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.11)$$

e ρ_{ij} é o coeficiente de correlação entre os ativos i e j , σ_i é o desvio padrão do projeto i , e σ_j é o desvio padrão do projeto j .

Sendo x_i um percentual, um número real qualquer entre zero e um, percebe-se que há infinitas possibilidades de combinações entre os ativos. Entretanto não interessa ao investidor analisar todas as possibilidades, e sim apenas aquelas cuja relação custo-benefício seja vantajosa, ou seja, cuja relação risco-retorno a caracterize como uma posição superior às demais. Uma forma de perceber essa relação é plotar num plano cartesiano os resultados de retorno e risco do portfólio para todas as combinações possíveis de x_i . O resultado é a delimitação de uma área onde se visualiza quais os limites em ambos os parâmetros.

O maior retorno possível para o portfólio é esperado quando se concentra toda a riqueza disponível no ativo de maior retorno esperado, o que igualaria o risco do portfólio ao risco desse ativo isolado.

Já o portfólio de menor risco possível é obtido ao se buscar uma composição de ativos que minimiza¹² o resultado da Equação 2.10. Analisando os componentes dessa equação pode-se concluir que ativos correlacionados negativamente¹³ contribuem para a redução do risco do portfólio, uma vez que a parte da fórmula correspondente a essa relação, $\sigma_{ij} = \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}$, desconta valor de σ_p .

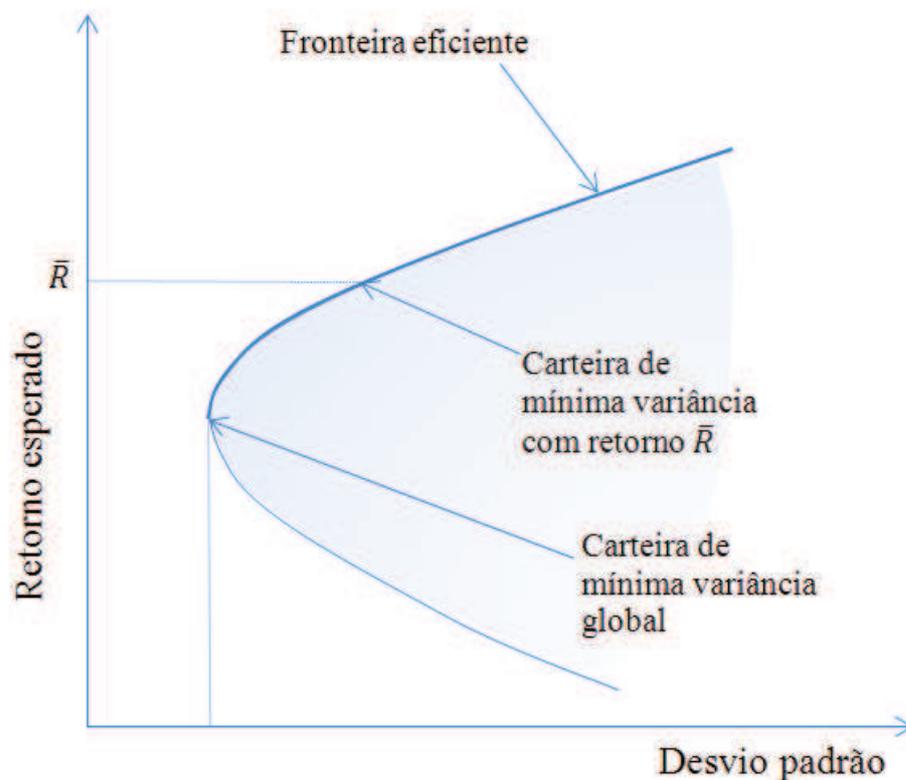
Essa dinâmica de composição de carteiras é vista na Figura 4 a seguir, na qual fica claro o conceito de Fronteira Eficiente. Nela estão localizadas combinações que otimizam a participação nos ativos quanto ao risco e ao retorno do portfólio. Caso houvesse a possibilidade de venda a

¹¹ medida de risco original do modelo de Markowitz

¹² Trata-se de uma minimização de forma quadrática positiva semi-definida. Observe-se que sempre haverá solução para o sistema indicado, uma vez que toda combinação de ativos resulta em algum risco.

¹³ O que significa $\rho_{ij} < 0$.

Figura 4 – Representação Cartesiana dos Portfólios Possíveis



Fonte: Elaborado pelo autor.

descoberto, isto é, fosse possível financiar-se para continuar aplicando mais recursos nos ativos, o ganho seria ilimitado. Tal acréscimo no retorno esperado traria, em contrapartida, um aumento de risco da carteira. Uma vez que as Equações 2.8 e 2.9 se caracterizam como restrições ao investidor, é possível perceber que há três possibilidades de identificação de uma carteira eficiente ao longo da fronteira: um portfólio de maior retorno num extremo, independentemente do risco; um de menor risco¹⁴, independentemente do retorno; e os demais, intermediários, respeitando as condições de não existir nenhuma carteira com retorno superior, num dado nível de risco, ou, alternativamente, nenhum risco inferior, para um retorno estipulado. Esses limites ficam evidentes uma vez que as restrições forçam, no problema de maximização da Equação 2.10, o domínio da função objetivo é fechado e a solução é finita.

Observa-se que o benefício marginal sobre o retorno é decrescente à medida que se avança na fronteira eficiente (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015), e que determinar qual ponto da curva é o mais atrativo depende da ponderação de quantas unidades de risco são aceitas pelo observador para cada unidade de retorno esperado, ou seja, seu apetite ao risco.

Uma avaliação de projetos ou ativos cujos critérios estejam ancorados em risco e retorno pode economizar bastante esforço ao considerar em seus cálculos o conceito de dominância

¹⁴ Também denominada de Carteira de Mínima Variância Global.

entre carteiras. É necessário, contudo, um cuidado maior ao se tratar esta seleção fazendo uso do conceito de utilidade, pois tal dominância de retorno médio e risco pode não ser estendida, a depender das distribuições dos resultados e do tipo de função utilidade do decisor.

2.2.2 Natureza das Variáveis

Dado o objetivo deste trabalho, é relevante salientar a particularidade binária do processo decisório. Há diferenças significativas entre a alocação de orçamento em projetos reais para uma firma e o investimento em ativos financeiros, base original dos problemas de portfólio. A principal diferença é que no problema de orçamento as variáveis podem ter apenas o valor zero ou um, isto é, fundos são investidos em um projeto particular ou não (CORD, 1964). Embora, em teoria, seja possível negociar a participação em projetos reais, a inviabilidade prática de tratar assim o problema justifica percebê-lo como uma otimização combinatória. Cabe apontar que muitas vezes as firmas não podem variar sua participação sobre um determinado ativo devido a obrigações contratuais ou outras restrições práticas (WALLS, 2004). Dessa forma, negociar a venda da participação passa a ser uma escolha entre zerar o impacto do projeto ou seguir, o que significa 100% de sua atual posição.

Conforme as técnicas de análise de portfólio e otimização se disseminam na indústria de óleo e gás, deve-se reconhecer essa diferença de liquidez dos ativos, quando comparados com ativos financeiros (ROSS, 2004). Assim a decisão fundamental passa a ser incluir ou não os projetos disponíveis.

Analisando o agora finito conjunto C de todas as combinações possíveis, cada subconjunto representa um portfólio viável ou, de outra forma definido, o conjunto das partes de C representa o conjunto de todos os portfólios possíveis. Pode-se verificar facilmente que a quantidade de possibilidades cresce exponencialmente conforme a inclusão de projetos na análise, pois $|\mathcal{P}(C)| = 2^{|C|}$.

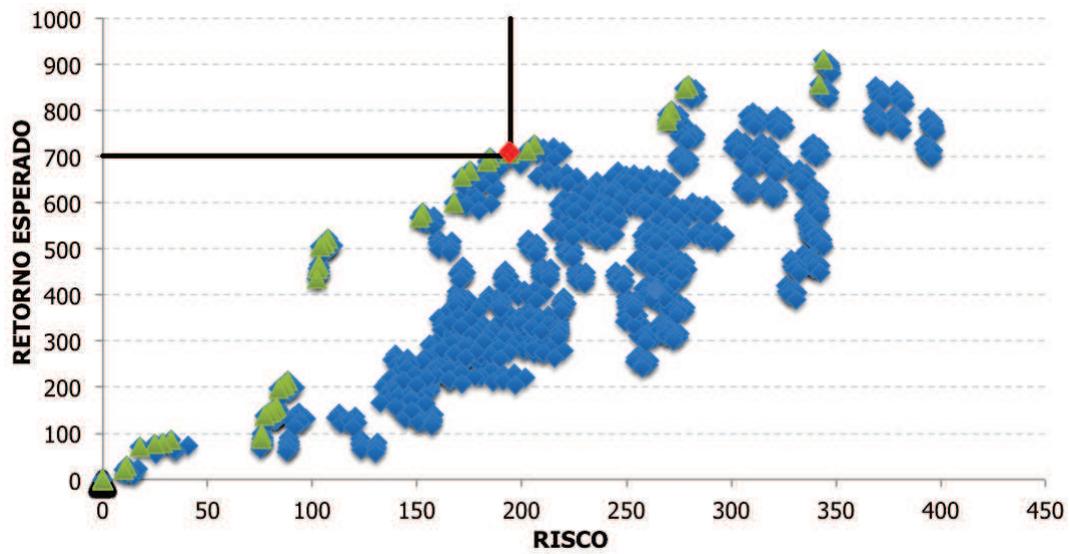
Definindo Retorno Esperado como a média de algum índice escolhido, e Risco como o desvio padrão para este mesmo índice, e comparando os gráficos de Risco x Retorno sob essa concepção de variável binária (Figuras 5 e 6) com o gráfico original (Figura 4), algumas diferenças podem ser percebidas. A primeira é que a região de resultados possíveis, antes completamente preenchida, agora é vazada, pois há uma quantidade finita de possibilidades.

Outra, decorrente da primeira, é que não há mais uma linha demarcando a fronteira eficiente, e sim pontos posicionados descontinuamente, os quais caracterizam combinações ótimas de carteira.

Na Figura 5 os pontos azuis sinalizam todas as possíveis combinações de uma carteira hipotética, sendo que os pontos verdes caracterizam as eficientes. O ponto vermelho delimita as coordenadas de uma região vazia a noroeste¹⁵, isto é, não há combinações de projetos (carteiras)

¹⁵ Constatação gráfica em linha com a formalização lógica demonstrada anteriormente.

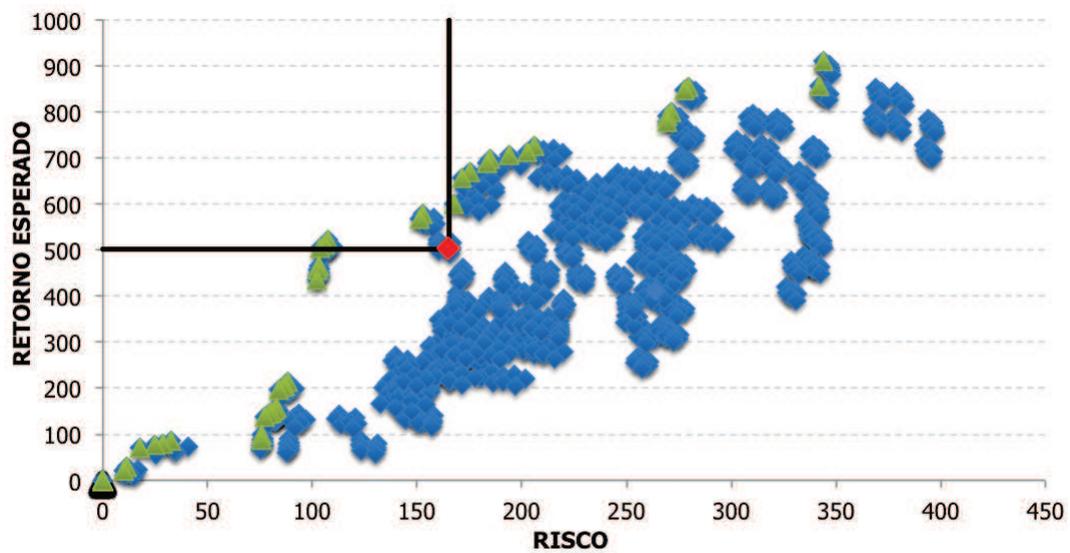
Figura 5 – Carteira Eficiente



Fonte: Elaborado pelo autor.

cujo retorno seja maior para esse nível de risco (ou, alternativamente, com menor risco para este dado retorno), por isso o portfólio compõe a fronteira eficiente descontínua (verde).

Figura 6 – Carteira Não Eficiente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na Figura 6, a região delimitada não vazia indica existência de carteiras cuja relação risco-retorno é melhor, portanto, mais eficaz. Tal fato descredencia o ponto vermelho desta Figura da presença na fronteira eficiente.

2.2.3 Matriz de Correlação

O cerne da Teoria Moderna de Portfólio é a redução do risco via diversificação. Isso é possível através da percepção de que os retornos dos ativos ou projetos não se movimentam perfeitamente pareados (WALLS, 2004). O modelo proposto considera os aspectos relacionais entre os projetos, ou seja, necessita de parâmetros que meçam como estes compartilham parte de seu movimento de valor.

Utiliza-se a covariância como medida absoluta do quão integrado é o movimento de duas variáveis. Considerando Z pontos de observação, o retorno esperado μ e x^z o retorno na iteração z , a covariância entre os ativos/projetos i e j é estimada por:

$$\sigma_{i,j} \sim \frac{\sum_{z=1}^Z (x_i^z - \mu_i)(x_j^z - \mu_j)}{Z} \quad (2.12)$$

A covariância positiva entre dois ativos sugere que quando um deles produz retornos acima da média, o outro tende a fazer o mesmo sobre sua respectiva média. A covariância negativa, por outro lado, indica que quando um ativo retorna acima de sua média, o outro tende a retornar abaixo, e vice versa. Zero de covariância sugere que não há uma relação linear consistente entre os movimentos de retorno dos dois ativos.

O efeito da diversificação é potencializado à medida que for possível encontrar ativos cuja correlação seja negativa para compor a carteira, em detrimento dos positivamente associados.

O cálculo da covariância é impactado pelo módulo das variáveis, sendo sua versão normalizada, a matriz de correlação, mais intuitiva. Esta pode ser expressa por:

$$\rho_{i,j} = \frac{\sigma_{i,j}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (2.13)$$

Portanto, identificar uma matriz de correlação que impute no sistema essa concomitância de expectativas passa a ser relevante, caso contrário riscos podem estar sub ou sobreavaliados na montagem de uma carteira.

Para projetos reais, esse conceito de inter-relação entre os retornos esperados é comumente chamado de dependência estatística, e é causado por diversos motivos: operacionais, econômicos, político-regulatórios, entre outros (BALL; SAVAGE, 1999a). Ressalta-se a diferença entre os termos dependência estatística e dependência operacional. Esta ocorre quando um projeto só pode ser executado após a realização de outro previamente. O vínculo operacional sinaliza a dependência estatística, entretanto não é a única fonte possível, devendo-se investigar todas as associações relevantes entre os n projetos passíveis de compor o portfólio.

Cabe aqui atentar para uma questão fundamental: a covariância entre ativos é uma definição abstrata, no campo das variáveis aleatórias. Sua aplicação em um modelo exige um procedimento de estimativa via algum processo informacional. Assim, se pode perceber uma

sutil distinção conceitual, enquanto a equação 2.12 trata de uma estimativa, a equação 2.13 trata de uma relação teórica aplicada ao desenho do modelo.

Voltando às finanças, a matriz de correlação para ativos normalmente é obtida através da observação histórica das cotações em diversos intervalos temporais. A crença de que esse comportamento siga um padrão repetitivo fundamenta a inserção dos parâmetros calculados como sendo as melhores estimativas possíveis do movimento relacional futuro para estes ativos. No mercado de capitais, por exemplo, o método para estimar o coeficiente de correlação entre ativos é bem direto. A estimativa tipicamente é realizada através do cálculo do coeficiente de correlação de *Pearson* entre os retornos de duas ações levando em conta o histórico em período semelhante ao horizonte de investimento (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015).

No caso de projetos reais, muito raramente históricos de outros projetos semelhantes estão disponíveis para apoiar a decisão de reproduzi-los ou não, sendo essa uma fonte inviável na prática. A própria reprodutibilidade poderia ser questionada. Por isso, o procedimento corporativo mais comum é assumir erroneamente a independência entre os projetos, vinculando tanto retornos como riscos à proporcionalidade dos valores investidos. Tal pressuposição acarreta um prejuízo significativo ao modelo que busca uma carteira ótima de projetos e, por isso, deve necessariamente ser revista.

Agora imagine-se o caso de dois projetos de exploração de petróleo desenvolvidos proximamente, compartilhando dificuldades tecnológicas semelhantes, regime fiscal idêntico e talvez até a mesma rocha reservatório¹⁶. Ou, no caso de outro setor econômico, duas unidades de uma rede de academia no mesmo bairro, acessando o mesmo público e disponibilizando recursos semelhantes. É de se esperar que parte do valor de cada projeto siga uma trajetória semelhante ao seu par.

Assim, a premissa de independência estatística pode ser considerada muito forte justamente pelo fato de negligenciar qualquer forma de amarração na variabilidade dos valores esperados para os projetos. Por mais que não se tenha uma noção exata de qual seja essa relação, alguma aproximação desses vínculos acrescenta poder à análise.

Para projetos de óleo e gás, identificar a *proxy* apropriada do coeficiente de correlação é um desafio. A falta de histórico de dados é novamente um problema. Porém, mesmo com esses dados disponíveis, a diferença entre os estágios de desenvolvimento dos projetos torna seu histórico de desempenho (e portanto as correlações dos projetos) pouco confiável como preditor *ex ante* (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015).

Este trabalho propõe a construção de uma matriz de variâncias e covariâncias entre os projetos (S) como uma estimativa advinda de suas já conhecidas variâncias (obtidas via simulação) e de um processo específico para as covariâncias.

A matriz S pode ser assim expressa:

¹⁶ Estrutura sedimentar porosa na qual o óleo fica retido.

$$S = \begin{pmatrix} \sigma_{1,1} & \sigma_{1,2} & \cdots & \sigma_{1,n} \\ \sigma_{2,1} & \sigma_{2,2} & \cdots & \sigma_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n,1} & \sigma_{n,2} & \cdots & \sigma_{n,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_1\sigma_1\rho_{1,1} & \sigma_1\sigma_2\rho_{1,2} & \cdots & \sigma_1\sigma_n\rho_{1,n} \\ \sigma_2\sigma_1\rho_{2,1} & \sigma_2\sigma_2\rho_{2,2} & \cdots & \sigma_2\sigma_n\rho_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_n\sigma_1\rho_{n,1} & \sigma_n\sigma_2\rho_{n,2} & \cdots & \sigma_n\sigma_n\rho_{n,n} \end{pmatrix}$$

Tendo em mãos as estimativas de variâncias isoladas dos projetos, resta como *input* necessário a matriz quadrada de correlações ($n \times n$, sendo n a quantidade de projetos), que gera a estimativa da matriz de variância e covariância descrita acima.

Como a correlação entre um projeto e ele mesmo será sempre um, a diagonal principal é dada. Além disso, há simetria informacional nos dados, isto é, a correlação entre o projeto i e o projeto j é a mesma que entre j e i , restando a necessidade de preenchimento de uma parte menor da matriz, um total de $\frac{n(n-1)}{2}$ elementos¹⁷. Abaixo destacam-se em cor vermelha os parâmetros necessários:

$$\rho_{n,n} = \begin{pmatrix} \rho_{1,1} & \rho_{1,2} & \cdots & \rho_{1,n} \\ \rho_{2,1} & \rho_{2,2} & \cdots & \rho_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n,1} & \rho_{i,2} & \cdots & \rho_{n,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{2,1} & \cdots & \rho_{n,1} \\ \rho_{2,1} & 1 & \cdots & \rho_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n,1} & \rho_{n,2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Alguns trabalhos acadêmicos endereçam este tema simplificadaamente, imputando um mesmo valor de correlação entre todos os projetos, dois a dois. Contudo os parâmetros variam muito, de 0,01 (AL-HARTHY, 2007) a 0,70 (GALENO et al., 2009), e muito pouco se explica sobre a escolha destes. Entendendo a importância desses *inputs* no cálculo, busca-se uma abordagem mais cautelosa, na qual seja possível montar uma matriz de correlações que caracterize melhor a realidade. A partir desta aferição, é possível analisar qual o impacto em termos de escolhas no portfólio, e se vale a pena empreender o esforço na busca de informações adicionais.

Um fato relevante é perceber que a matriz de correlações deve ser necessariamente positiva semidefinida, ou seja, todos os seus autovalores devem ser maiores ou iguais a zero. Matematicamente:

$$\mathbf{x}'\mathbf{S}\mathbf{x} \geq 0, \quad \forall \mathbf{x} \neq \mathbf{0} \quad (2.14)$$

Caso presente inconsistências com essa característica obrigatória, procedimentos devem ser implementados com o objetivo de ajustá-la para a posterior inserção no modelo.

Além disso, cabe mencionar que podem existir diferenças quanto à percepção de acurácia

¹⁷ A depender da quantidade de projetos disponíveis, a quantidade de informações para este preenchimento pode ser uma dificuldade considerável, entretanto há maneiras de simplificá-lo.

entre os diversos coeficientes de correlação a serem estimados. Dessa forma há parâmetros sobre os quais se tem mais convicção e, portanto, espera-se que não sofram alteração ao longo do processo de ajuste. Outros mais incertos apresentam maior ou menor liberdade em sua mudança. A consciência dessa diferenciação na solidez dos coeficientes é essencial no modelo proposto.

2.3 TEORIA DA UTILIDADE

A seguir é descrita a Teoria da Utilidade, a qual é amplamente difundida e serviu de base para o desenvolvimento de uma série de teorias econômicas, como a Teoria do Consumidor.

2.3.1 Origem e Conceito

A teoria da utilidade esperada, ou teoria da preferência de risco, é amplamente reconhecida como um modelo razoável para guiar decisões sob condições de risco. Uma vez que decisões dependem em grande parte de preferências, a teoria, ao estruturar preferências e oferecer uma representação numérica para esta estrutura, consegue enquadrar o problema decisório em bases objetivas (BECKER, 1988).

A ideia original do conceito de utilidade não é recente (BERNOULLI, 1738), consistindo na fundamentação da diferença entre valor real de um dado objeto (matemático, comum a todos os indivíduos) e percepção do valor (específico a cada indivíduo) desse mesmo objeto. A forma de caracterizar essa noção matematicamente é por meio de uma função utilidade, $U(R)$, crescente¹⁸, pois cada valor adicional de riqueza aumenta a utilidade geral percebida pelo agente.

Daniel Bernoulli elaborou uma solução ao problema conhecido como Paradoxo de São Petersburgo, proposto por seu tio Nicholas Bernoulli, e acabou apontando a distinção entre valor (preço) e utilidade. O desafio era precificar a entrada no seguinte jogo: lançada uma moeda o apostador recebe um dólar se o resultado for coroa; se for cara, o jogo termina. Caso ganhe, pode-se lançar novamente a moeda e dobrar sua aposta ou perder tudo caso obtenha cara, seguindo assim para sempre. Embora o valor esperado (matemático) dessa aposta seja infinito, a maioria pagaria apenas alguns dólares para entrar (DAMODARAN, 2009).

D. Bernoulli deu grandes contribuições à teoria percebendo que a utilidade varia de pessoa para pessoa, na medida em que algumas estão mais dispostas a arriscar que outras. Ele propôs que ao invés de escolher o prospecto com maior valor esperado (monetário), dever-se-ia escolher o prospecto com maior esperança moral de ganhos. Chegou mesmo a propor uma função¹⁹ de conversão (BECKER, 1988). A função proposta dava conta inclusive de caracterizar a utilidade como função marginal decrescente, ou seja, o delta de satisfação obtido a cada delta adicional fixo de riqueza é menor à medida que se acumula patrimônio.

¹⁸ A linha de raciocínio estabelecida diz respeito a um objeto com utilidade positiva, algo que traga benefícios ao detentor. No caso de algo indesejado, os efeitos devem ser considerados o oposto do descrito.

¹⁹ A função proposta por D. Bernoulli apresentava a forma logarítmica.

Assim foram dados os primeiros passos no sentido de perceber a influência da aversão ao risco na percepção de utilidade para cada indivíduo. Sob esta ótica, o que se busca maximizar não é o valor esperado do portfólio em si, mas o valor esperado da utilidade percebida desse portfólio.

Embora haja casos em que se possa questionar a capacidade plena dos indivíduos quando sujeitos a um processo de escolha²⁰, o paradigma aqui definido é o da teoria axiomática da utilidade, na qual se deriva o modelo a partir de um conjunto relativamente simples de axiomas. O argumento destes trabalhos é que os indivíduos maximizam sua utilidade esperada diante de um jogo observando tanto os resultados quanto as probabilidades desses resultados (RAMSEY, 1931; VON NEUMANN; MORGENSTERN, 1944).

Propostas posteriores comprovam a teoria fazendo uso de apenas três axiomas. O primeiro estabelece um padrão de coerência na relação de preferência dos agentes econômicos, ou seja, todos os prospectos são comparáveis transitivamente. O segundo estabelece que a ordem de preferência é contínua com respeito à distribuição de probabilidades. E o terceiro retrata o princípio da substituição, no qual se o agente é indiferente entre as opções a e b , ele também o será a respeito de combinações dos mesmos com uma opção c (BECKER, 1988).

Utilizando a análise das preferências, tomadores de decisão podem incorporar a propensão a risco financeiro de suas empresas nas suas escolhas entre alternativas de projetos. Dessa maneira é possível visualizar, sob um mesmo espectro, portfólios com características de risco e retorno bastante distintas (WALLS, 2004).

Uma forma alternativa de avaliar projetos considerando seu risco, utilizada por algumas companhias, é imputar essa percepção na taxa de desconto dos fluxos, técnica conhecida como Taxa de Desconto Ajustada ao Risco²¹. A ideia é endereçar o problema de diminuir o valor de projetos arriscados penalizando-os com uma taxa de desconto maior. Todavia esse caminho apresenta uma série de problemas, sendo o mais evidente a mistura de dois conceitos distintos: o valor do dinheiro no tempo e a ponderação do risco no valor (COZZOLINO, 1980). A teoria da utilidade fornece uma saída mais adequada à questão.

2.3.2 Equivalente Certeza e Funções Utilidade

Lidando com incertezas nos prospectos e a noção de utilidade, chega-se ao conceito de medida chamado equivalente de certeza. Trata-se do valor garantido que uma pessoa está disposta a aceitar em troca de um prospecto em que há incerteza.

Analiticamente, num prospecto cuja chance de obter A seja p , e de obter B seja seu complementar $1 - p$, o valor esperado da aposta é $E(V) = pA + (1 - p)B$. Esse é o valor correspondente à média dos valores obtidos caso fossem realizadas apostas infinitas no referido

²⁰ Justificativa da emergência de temas como *behavioral economics*, *behavioral finance*, entre outros.

²¹ Ou, do inglês, *RAD (Risk Adjusted Discount) rate*.

prospecto, segundo a lei dos grandes números. Como se está trabalhando num nível acima de abstração, além do valor, deve-se pensar em termos de utilidade, logo, para o indivíduo neutro a risco:

$$U[E(V)] = E[U(V)] = pU(A) + (1 - p)U(B) \quad (2.15)$$

Entretanto este não parece ser o caso: estudos empíricos oferecem suporte ao argumento de que os gestores são avessos ao risco (WALLS; DYER, 1996). Além disso, há trabalhos indicando que esta postura em relação ao risco é observada com frequência quando se assessam as curvas de utilidade dos gestores (GREEN, 1963; SWALM, 1966) e que esse comportamento é observado tanto em termos de ganhos como de perdas, tanto em indivíduos quanto em grupos de gestão (SPETZLER, 1968). Teorias recentes em finanças são consistentes com estas observações também (GREENWALD; STIGLITZ, 1990).

Adicionalmente, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em termos de propensão ao risco ao analisar diferentes segmentos como indústrias de recursos (energia e mineração), instituições financeiras e empresas de alta tecnologia (MACCRIMMON; WEHRUNG, 1986). Ou seja, há suporte teórico consistente para pressupor a aversão ao risco por parte das pessoas em geral.

Levando isso em conta, a aversão ao risco se traduz em uma diminuição do valor da aposta quando comparado ao seu valor correspondente certo:

$$U[E(V)] > E[U(V)] = pU(A) + (1 - p)U(B) \quad (2.16)$$

Ou seja, há uma utilidade $E[U(V)]$ (equivalente certeza), menor que $U[E(V)]$, que permite calcular o prêmio de risco ($U[E(V)] - E[U(V)]$) associado ao indivíduo. Mais do que uma maneira de introspectar o conceito de risco, o equivalente certeza possibilita extrair a informação mensurável para este comportamento.

A neutralidade ao risco é graficamente explicitada pela linearidade da curva de utilidade. Nessa hipótese particular, não observada empiricamente, como se está lidando com retornos esperados, é condição necessária e suficiente para que a esperança das utilidades dos retornos se iguale à utilidade da esperança dos retornos, isto é, $E(U(x)) = U(E(x))$. Adotando a aversão como *default*, o caminho correto é apurar as utilidades de cada retorno possível e posteriormente definir seu valor esperado, $E(U(x))$.

Uma proposta de medida para a aversão a risco é fornecida por Arrow-Pratt (PRATT, 1964). Dado um nível de riqueza W , o coeficiente de aversão absoluta ao risco, $a_{absoluta}$, de Arrow-Pratt é dado por:

$$a_{absoluta} = \frac{-U''(W)}{U'(W)} \quad (2.17)$$

Já o coeficiente de aversão relativa ao risco, $a_{relativa}$, é dado por:

$$a_{relativa} = \frac{-WU''(W)}{U'(W)} \quad (2.18)$$

A derivada de primeira ordem da função utilidade mede a variação da utilidade com a alteração da riqueza, porém é específica a um indivíduo, não podendo ser comparada com outras. A derivada de segunda ordem é sutilmente diferente, medindo como se comporta a variação na utilidade em si conforme o nível de riqueza muda. De posse de duas medidas calculadas no indivíduo, sua razão fornece um índice isento, possibilitando a comparação entre diferentes funções.

Entre todas as funções utilidades possíveis, a exponencial se apresenta como uma das mais utilizadas, aparecendo em diversos trabalhos acadêmicos. Uma de suas formas é expressa a seguir (WALLS, 2004; AL-HARTHY, 2007; GALENO et al., 2009):

$$U(x) = b - ce^{-\frac{x}{R}} \quad (2.19)$$

Uma simplificação frequente considera $b = 0$ e $c = 1$, sendo que x , o montante do valor que se busca identificar a utilidade, e R , o coeficiente de tolerância ao risco, devem ser expressos na mesma unidade. Outra forma comum de visualizar o parâmetro de risco desta função é em termos do coeficiente de aversão a risco, a , expresso por $a = \frac{1}{R}$:

$$U(x) = -e^{-ax} \quad (2.20)$$

Analisando esta função sob os conceitos de Arrow-Pratt, percebe-se que este tipo de curva é a única que gera aversão absoluta constante ao risco, isto é, investe-se a mesma quantia de dinheiro em ativos com risco à medida que se enriquece. Outra constatação é que ela gera aversão relativa crescente ao risco, pois uma porcentagem cada vez menor de riqueza é investida em ativos com risco à medida que se enriquece.

Além disso, já foi demonstrado que a função exponencial pode servir como substituta para outros tipos de funções utilidade em determinadas condições (HAMOND III, 1974). Uma condição essencial para isso é utilizar uma função exponencial cujo nível de aversão a risco seja próximo ao da função utilidade real.

Vários autores já utilizaram esse tipo de função utilidade na tomada de decisões na indústria do petróleo, por entender que ela descreve o comportamento desses agentes de maneira apropriada (COZZOLINO, 1980; WALLS, 1995; NEPOMUCENO; SUSLICK, 2000).

2.3.3 Valor Ajustado ao Risco

O Valor Ajustado a Risco²² trata do mesmo conceito de valor denominado equivalente de certeza, ou seja, um desconto do valor de referência do ativo associado às chances de perda financeira. Em outros termos, é igual ao valor esperado menos um desconto pelo risco, sendo esse desconto proporcional tanto ao nível de aversão a risco do decisor como às características de risco do projeto.

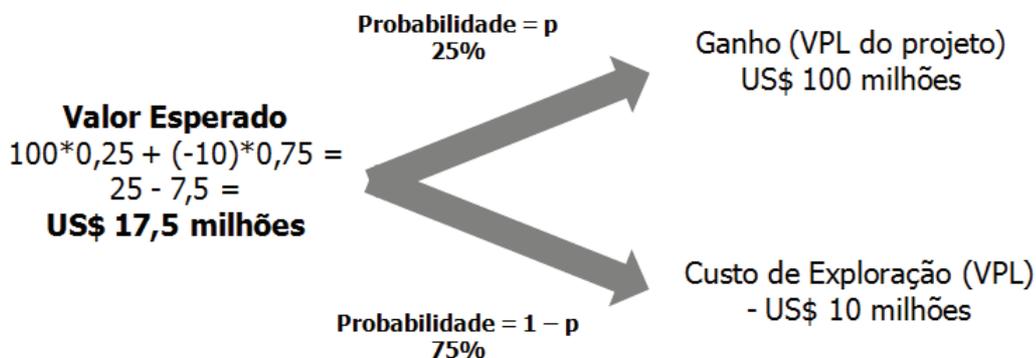
Para calculá-lo, parte-se da distribuição de probabilidades ou, mais simplificada, de um diagrama de probabilidades.

Pense-se, por exemplo, no caso de um projeto exploratório de óleo e gás, onde todos os possíveis resultados podem ser bem sumarizados em dois caminhos notadamente distintos, a depender do sucesso ou fracasso da iniciativa. No caso de insucesso geológico, seja por poço seco ou por não se encontrar uma rocha reservatório que ofereça condições de produção contínua, a empresa incorre apenas nos custos do empreendimento, isto é, um resultado negativo. No caso de sucesso, o resultado é o retorno esperado dos fluxos financeiros atualizados provenientes da comercialização do óleo ou gás encontrado. Nesses fluxos estão implícitos tanto as receitas quanto os custos incorridos em cada etapa do desenvolvimento do projeto.

Geólogos e geofísicos, via leitura de dados sísmicos, são capazes de determinar com certa segurança *a priori* quais as chances de que determinado prospecto venha a se tornar um campo produtor, e esse *input* é essencial nesse tipo de avaliação.

A Figura 7 evidencia um cenário hipotético, no qual há 25% de chance de que o projeto seja exitoso, e a companhia aufera os US\$ 100 milhões de resultado financeiro proveniente da monetização da reserva encontrada. Nos 75% restantes das chances, há apenas custos no montante de US\$ 10 milhões:

Figura 7 – Diagrama de Probabilidades de Projeto Exploratório



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conclui-se que o valor monetário esperado deste empreendimento é US\$ 17,5 milhões,

²² RAV - Risk Adjusted Value

contudo, considerando os conceitos já expostos de risco e utilidade, há mais uma etapa de cálculo para que se apure o valor do projeto de fato para a empresa.

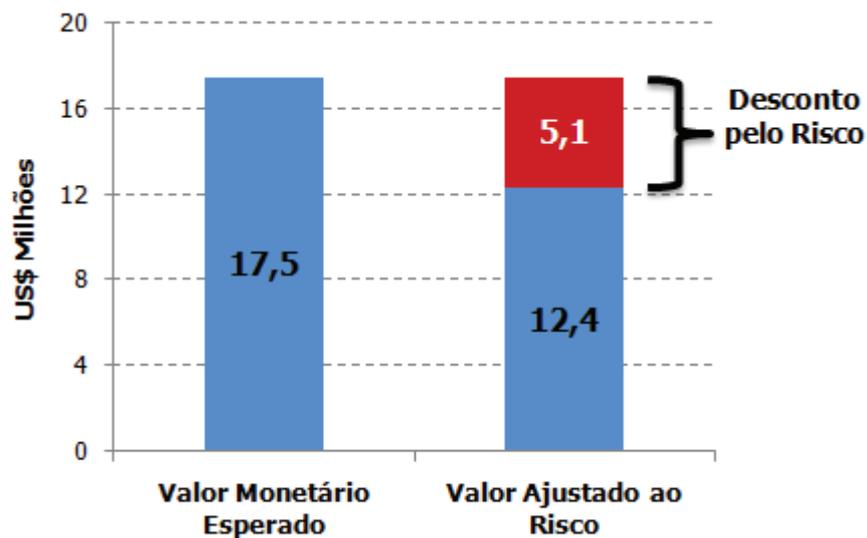
No caso do diagrama apresentado, a fórmula do valor ajustado a risco, considerando a forma exponencial da função utilidade²³ é a seguinte (COZZOLINO, 1980):

$$RAV = -\frac{1}{a} \ln [pe^{-a(R-E)} + (1-p)e^{aE}] \quad (2.21)$$

Sendo $(R - E)$ a parcela do valor esperado do projeto em caso de êxito, p a probabilidade de sucesso, E os gastos que se incorre no caso de fracasso e a o coeficiente de aversão a risco do decisor. Considerando $a = 0,08$, o valor final resulta em:

$$RAV = -\frac{1}{0,08} \ln [0,25 \cdot e^{-0,08 \cdot (25)} + (0,75) \cdot e^{0,08 \cdot (-10)}] = 12,4 \quad (2.22)$$

Figura 8 – Desconto pelo Ajuste a Risco na Avaliação do Projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 8 ilustra o ajuste realizado no valor econômico do projeto quando se utiliza o método de Valor Ajustado a Risco.

É interessante observar o que ocorre com a percepção de valor de um projeto arriscado à medida que o decisor aumenta sua aversão a risco. Pela fórmula apresentada, sem aversão alguma a risco, ou seja, $a = 0$, o valor percebido seria igual ao Valor Monetário Esperado (US\$

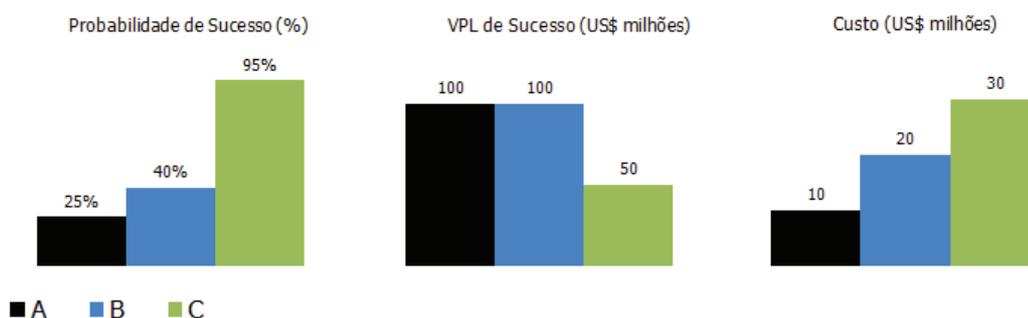
²³ A função exponencial aqui utilizada difere um pouco da expressão anteriormente mencionada, entretanto isso não afeta a lógica do processo:

$$U(x) \begin{cases} \frac{1}{a}(1 - e^{-ax}), & \text{se } x \neq 0 \\ x, & \text{c.c.} \end{cases}$$

17,5 milhões). À medida que essa aversão cresce, o valor do desconto aumenta até o limite de, no infinito, o valor percebido se aproximar do valor no cenário de fracasso, como pode ser visto na linha A da Figura 10.

Outra questão que deve ser analisada no processo de avaliação é a diferença nas curvas de perfil de risco entre os prospectos disponíveis. A Figura 9 apresenta três projetos exploratórios com características bem distintas:

Figura 9 – Exemplos de Prospectos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A definição de qual projeto contribui mais em termos de valor para a empresa depende do nível de aversão a risco do decisor. Níveis mais altos punem mais os prospectos com grandes chances de perda e com valores de perda maiores. Assim, de acordo com esse coeficiente, a percepção de valor dos projetos pode convergir. No caso ilustrado na Figura 9, A e B possuem o mesmo valor ajustado a risco para o nível de aversão 0,02; A e C, para o nível 0,135; e B e C, em 0,248.

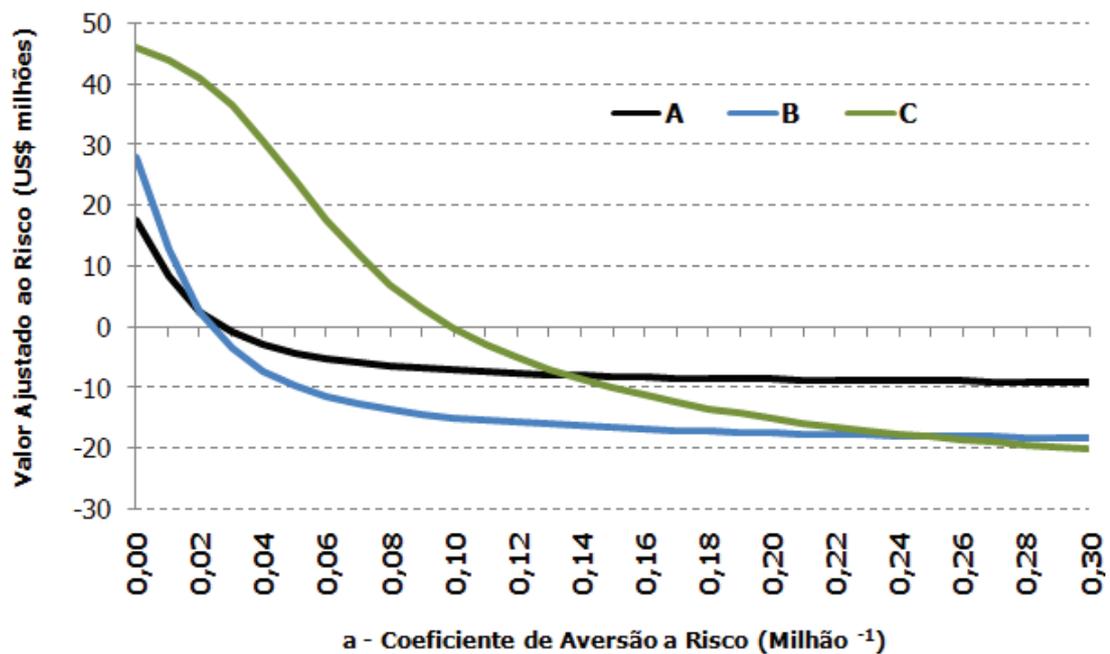
Para fins de consistência nas decisões envolvendo risco, todas as iniciativas disponíveis devem ser avaliadas sob o mesmo nível de aversão a risco.

Os exemplos citados ilustram a aplicação do conceito de Valor Ajustado a Risco em casos descritos simplificadaamente, através de diagramas que agregam todas as probabilidades em apenas dois caminhos possíveis. Contudo, há casos em que os resultados previstos dos projetos se distribuem de maneira mais complexa, não cabendo agrupá-los em dois ou poucos ramos. Nestes casos mais genéricos, considerando v_1 o VPL do projeto no cenário 1, cuja probabilidade de ocorrência é p_1 , o RAV é dado por:

$$RAV = -\frac{1}{a} \ln [p_1 e^{-av_1} + p_2 e^{-av_2} + \dots + p_n e^{-av_n}] \tag{2.23}$$

O nível de aversão a risco é um conceito chave para o desenvolvimento de uma medida de risco financeiro. O valor do risco é um conceito fundamentalmente subjetivo. Ele parece depender de itens como o nível de riqueza da firma que toma a decisão, o que acaba determinando

Figura 10 – Valor Ajustado a Risco de Prospectos Exploratórios Distintos



Fonte: Elaborado pelo autor.

sua segurança contra a falência, e o nível de orçamento, que representa os ativos líquidos que podem ser arriscados (COZZOLINO, 1980).

Diante do exposto, portanto, o próximo passo no modelo é apurar o coeficiente de aversão a risco (a), ou seu inverso, o coeficiente de tolerância ao risco ($a = \frac{1}{R}$). Assim é possível traduzir, sob a perspectiva do decisor, qual o valor de cada alternativa.

2.3.4 Coeficiente de Aversão/Tolerância a Risco

A literatura sugere diversas maneiras de apurar o coeficiente de aversão a risco dos decisores, sendo a mais conhecida questionar o decisor sobre qual valor o tornaria indiferente entre os cenários de dobrar o capital ou perder metade do dinheiro investido inicialmente, numa tentativa de investigação do comportamento utilitário individual.

Essa maneira de mensurar a relação de utilidade via questionamentos também é chamada *direct assessment*. Deve-se situar os extremos, considerando 1 o nível máximo de utilidade e 0 o mínimo, posicionando as demais alternativas nesse meio. Num contexto em que a quantidade de resultados possíveis é relativamente pequena (menos de 50), mesmo enfadonho, é viável realizar isso unitariamente com checagens de consistência. Todavia o normal é lidar com um contingente bem maior de possibilidades e, para isso, além de situar algumas das alternativas estrategicamente posicionadas, faz-se o uso de técnicas de ajuste das curvas, interpolação, extrapolação e assemelhados para encontrar um desenho completo e obter a utilidade dos demais

consequências (KEENEY; RAIFFA, 1993).

Além disso, destacam-se algumas outras formas como (NEPOMUCENO; SUSLICK, 2000):

- Questionar sobre o preço de venda que os diretores da empresa aceitariam para se desfazer de alguns projetos. A comparação entre o valor esperado e os preços de venda pressupõem um prêmio de risco que permite inferir o coeficiente de aversão pelo cálculo do equivalente certeza;
- Buscar pesquisas que indiquem qual a relação entre o coeficiente e o orçamento disponível para investimentos em determinado segmento. Para o caso de óleo e gás, uma pesquisa com 18 empresas integradas durante os anos de 1981 e 1990 revelou que a tolerância a risco é de 25% do orçamento proposto (WALLS; DYER, 1996);
- Questionar os decisores sobre qual o nível de participação desejado em projetos com diferentes níveis de risco. Este percentual expressa indiretamente o nível em que o valor percebido está alinhado com o valor real e possibilita inferir o coeficiente também;
- Calcular quais os coeficientes de tolerância a risco para cada projeto de maneira que a participação ótima seja 100% do projeto, e depois questionar os decisores sobre quais projetos serão tocados adiante, o que permite chegar ao coeficiente de aversão e às participações em cada projeto da carteira.

Há trabalhos que sugerem vincular os números dos demonstrativos contábeis de uma companhia ao seu modo de decidir em termos de utilidade (HOWARD, 1988). O autor utilizou a função exponencial e procurou o coeficiente de tolerância (R) entrevistando os diretores de empresas dos segmentos de petróleo e químico segundo o método *direct assessment*. Após, buscou estabelecer relações padronizadas entre os números obtidos e o montante de vendas, o lucro líquido e o patrimônio líquido das firmas. Percebeu que o índice é aproximadamente uma a uma vez e meia o lucro líquido, 6% das vendas e um sexto do patrimônio líquido. Posteriormente aplicou esses mesmos percentuais num trabalho de consultoria realizado para uma quarta empresa. Dada a escassez de tempo na época do estudo, entrevistou o CEO apenas posteriormente e obteve a confirmação de que seu cálculo via demonstrativos apresentava uma medida bem próxima da que seria obtida pelo método direto.

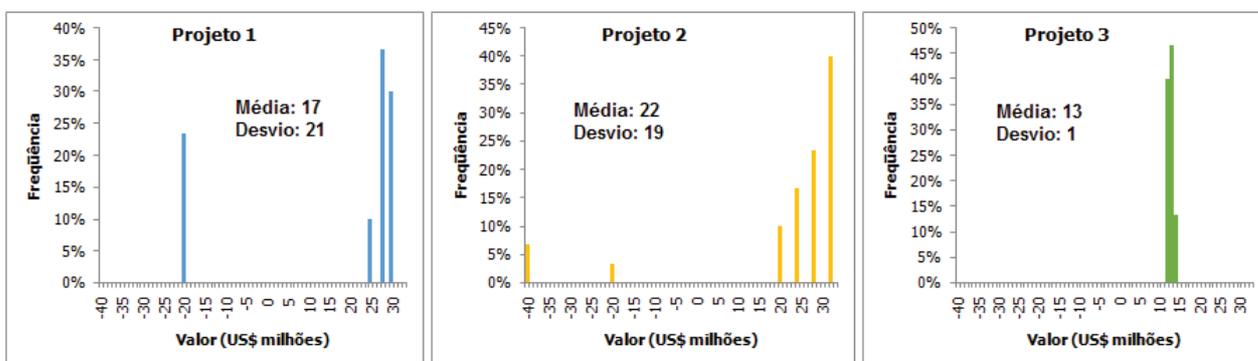
A importância deste ponto é evitar que o custo associado à apuração dos parâmetros necessários ao modelo inviabilizem sua aplicação. A praticidade da última alternativa exibida a torna atraente para aplicações futuras.

2.3.5 Dominância de Portfólios

Conforme mencionado anteriormente, ao se buscar a seleção de uma carteira de projetos/ativos utilizando como parâmetro a utilidade esperada não se pode pressupor a dominância de risco e retorno entre as opções disponíveis. Isso é verdade caso os gestores evidenciem em suas matrizes decisórias funções de utilidade lineares ou, ainda, quando a distribuição dos resultados do projeto for normal. As informações levantadas até este ponto no trabalho fornecem subsídio para refutar ambas as hipóteses.

A título ilustrativo, considere-se o cenário em que se busca determinar qual dos três projetos apresentados a seguir, Figura 11, apresenta maior utilidade:

Figura 11 – Histogramas de 3 Projetos Hipotéticos

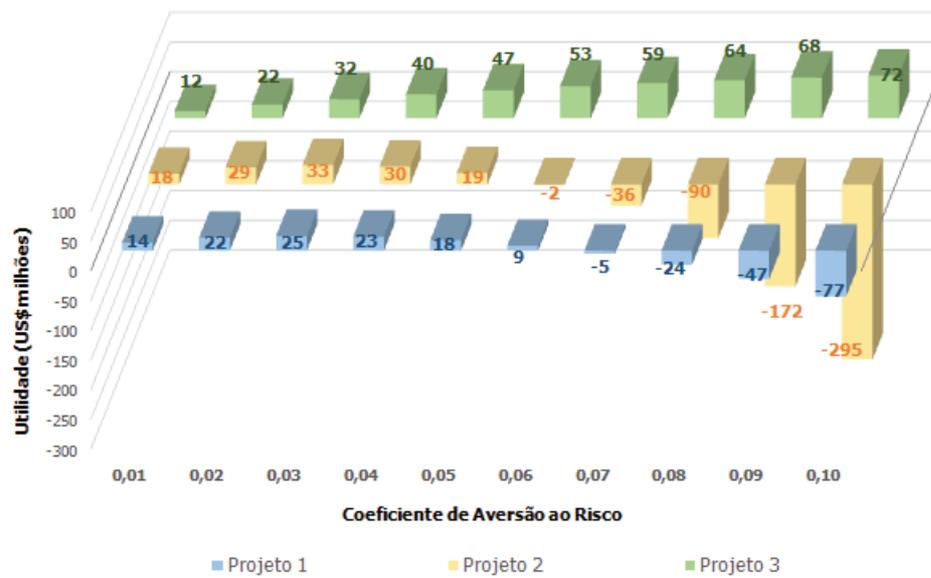


Fonte: Elaborado pelo autor.

Atentando exclusivamente ao risco e ao retorno das opções, o Projeto 1 seria descartado, uma vez que este apresenta retorno médio inferior e risco superior ao Projeto 2, configurando a dominância de um sobre o outro. Contudo as distribuições dos resultados visivelmente não são normais, como aliás ocorre em boa parte das modelagens de projetos reais. Partindo da premissa que a curva de utilidade do decisor é exponencial, a Figura 12 mostra como se comporta o valor percebido (utilidade) das opções apresentadas de acordo com o coeficiente de aversão a risco.

Assim fica evidenciado que apontar o melhor projeto depende intrinsecamente da percepção do decisor sobre risco. Em termos práticos para a modelagem, isso determina que não se pode fazer uso direto do artifício de eliminação de portfólios, o qual desoneraria fortemente a operação em termos computacionais.

Figura 12 – Utilidade dos Projetos x Coeficiente de Aversão a Risco



Fonte: Elaborado pelo autor.

3 MODELAGEM

3.1 MODELO PROPOSTO

A modelagem proposta neste trabalho busca integrar a avaliação de risco dos projetos reais à Teoria Moderna de Portfólio, à Teoria da Utilidade e ao método de simulação de Monte Carlo, oferecendo às organizações uma forma estruturada e consistente de tomar decisões sobre seu portfólio. Conforme visto anteriormente, há diversas maneiras de aplicar estas teorias conjuntamente, sendo o primeiro passo definir como alguns itens devem ser abordados de acordo com a realidade da empresa. Elenca-se a seguir as principais questões a endereçar antes de aplicar o modelo.

3.1.1 Modelos Determinísticos

O primeiro passo trata da elaboração da modelagem determinística dos projetos de forma a garantir que todos os itens relevantes de valor estejam previstos no seus fluxos financeiros. Esta etapa pode ser bastante direta e simples, levando em conta tão somente questões como preço de um produto, quantidade vendida e um sistema simples de tributação; ou consideravelmente complexa ao prever vários itens vendidos e comprados, regimes fiscais complexos, planos de investimento incrementais, etc. Tudo deve ser traduzido em forma de receita ou custo. Por exemplo, se há previsão de regulação ambiental sobre as atividades, deve-se modelar os custos relacionados ao trâmite de autorização para funcionamento, às adequações das operações e às remediações mais prováveis. Se há dificuldade em contratar pessoas para tocar adiante outro projeto, os custos de maiores salários devem estar planilhados também.

Quanto melhor esses dados de entrada puderem descrever a realidade dos projetos, melhor será o resultado para a modelagem, e mais subsídio será fornecido ao processo de escolha do portfólio.

No caso do segmento de óleo e gás, vários fatores potencializam a complexidade das planilhas de modelagem. A engenharia por trás dos investimentos propostos é caracterizada por especificação técnica profunda, sendo alto o volume de recursos demandados. Os regimes fiscais, detalhados em inúmeros documentos oficiais, são traduzidos em cálculos a fim de que se obtenha noção clara de qual a parte dos ganhos do projeto fica com a empresa e qual fica com o governo¹.

¹ A porção destinada ao Estado é denominada *Government Take*.

Além disso, os avanços tecnológicos recentes ampliaram a quantidade e os volumes dos reservatórios considerados viáveis economicamente. Outro fator é a dinâmica oscilatória dos preços de petróleo, que faz com que a ideia de estabelecer um preço base seja um desafio.

A questão acerca da imprevisibilidade dos preços futuros do petróleo torna ainda mais relevante a elaboração de uma carteira que contemple os diversos tipos de projetos disponíveis. Acreditar numa única curva de preços pode levar à seleção de uma posição deveras arriscada. Este ponto alerta para a necessidade de modelar probabilisticamente alguns dos fatores do modelo.

3.1.2 Modelos Probabilísticos

A modelagem determinística dá uma ideia dos valores totais de carteira: retorno, volume de gastos, receitas, prazos. Contudo, são ínfimas as chances de que o planejamento acerte precisamente o que vai ocorrer, tratando-se apenas de uma referência. Os riscos de divergir desse plano base são grandes e podem ser visualizados quando elaborada uma modelagem probabilística dos projetos.

Por isso, passada a fase em que todos os projetos estejam planilhados deterministicamente, busca-se a definição do comportamento previsto para os *inputs* a serem modelados probabilisticamente. Preços, custos, atrasos, tributação, entre outros aspectos, podem ter sua compreensão ampliada para curvas de distribuição, nas quais não se assumem valores fixos e sim *ranges* de valores associados a probabilidades de ocorrência.

Dada a sensibilidade dos ganhos de um projeto a essas variáveis, seus resultados após essas considerações não são mais um valor único de retorno como no modelo base, mas valores de retorno possíveis associados a probabilidades de que estes aconteçam. Esse tipo de compreensão dos fenômenos é mais próximo da realidade do que a forma determinística, evidenciando melhor o cenário aos decisores, uma vez que ninguém sabe ao certo o que vai acontecer no futuro.

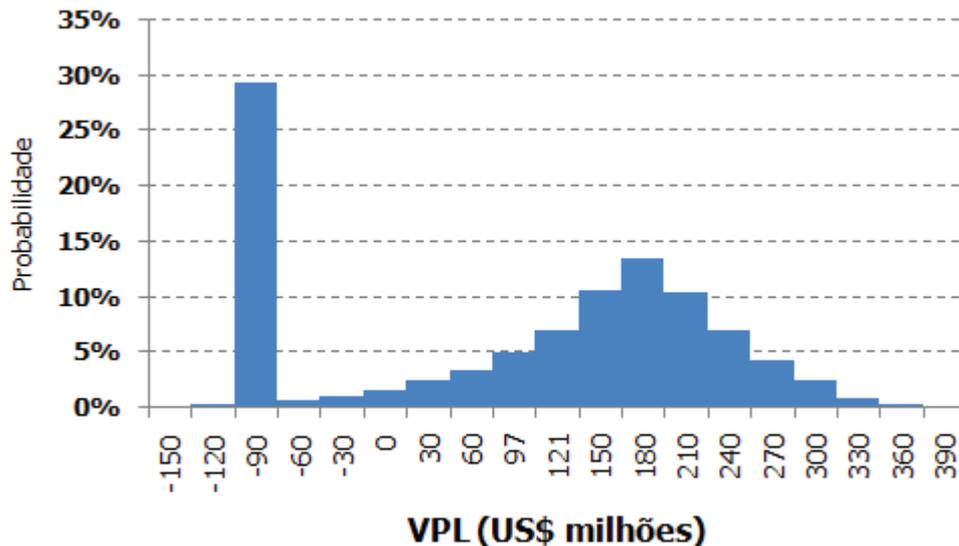
Há algumas aplicações bastante usuais de curvas probabilísticas em dados de entrada para projetos. Utiliza-se, por exemplo, a distribuição uniforme quando se tem ideia de máximo e mínimo para um parâmetro, mas entre esses valores nenhum se destaca como o mais provável. No jargão da teoria da informação, trata-se da entropia informacional máxima (BECKER, 2015), com suporte no intervalo $[max, min]$. Ou ainda, pode-se fazer uso de uma curva triangular quando se imagina um valor mais provável, com o vértice superior sobre esse valor.

Um caminho para obter essa informação é observar o passado. Pode-se, por exemplo, acessar a curva de distribuição para atrasos/antecipações nos projetos com base no histórico de execução da empresa e imputá-la no planejamento. Há ainda *softwares* estatísticos que permitem identificar qual distribuição melhor se encaixa na descrição dos dados passados.

No ramo de óleo e gás, especificamente para exploração, há chance de que o projeto em si não resulte numa descoberta, portanto sendo pertinente para esse fator o uso de uma distribuição

binomial com $n = 1$, também conhecida como distribuição de *Bernoulli*. No caso de fracasso, o projeto exibirá apenas saídas de caixa, resultando em prejuízo por ter apenas custo exploratório. No caso de sucesso, o resultado será mais distribuído ao longo de uma curva de possibilidades, pois os demais fatores modelados atuam de maneira a piorar ou melhorar o *output* conforme se descortina o futuro. A visualização deste fato fica evidente no Figura 13 a seguir:

Figura 13 – Curva de Distribuição dos Resultados de um Projeto Exploratório



Fonte: Elaborado pelo autor.

O VPL médio deste projeto ilustrativo é US\$ 90 milhões, porém essa informação isolada é bem mais pobre do que a análise da curva de distribuição do projeto. É possível perceber, por exemplo, que as chances de obter resultados em torno desse valor médio são bem menores que as chances de obter uma perda de US\$ 90 milhões (fracasso exploratório) ou um ganho em torno de US\$ 180 milhões (valor mais provável em caso de sucesso).

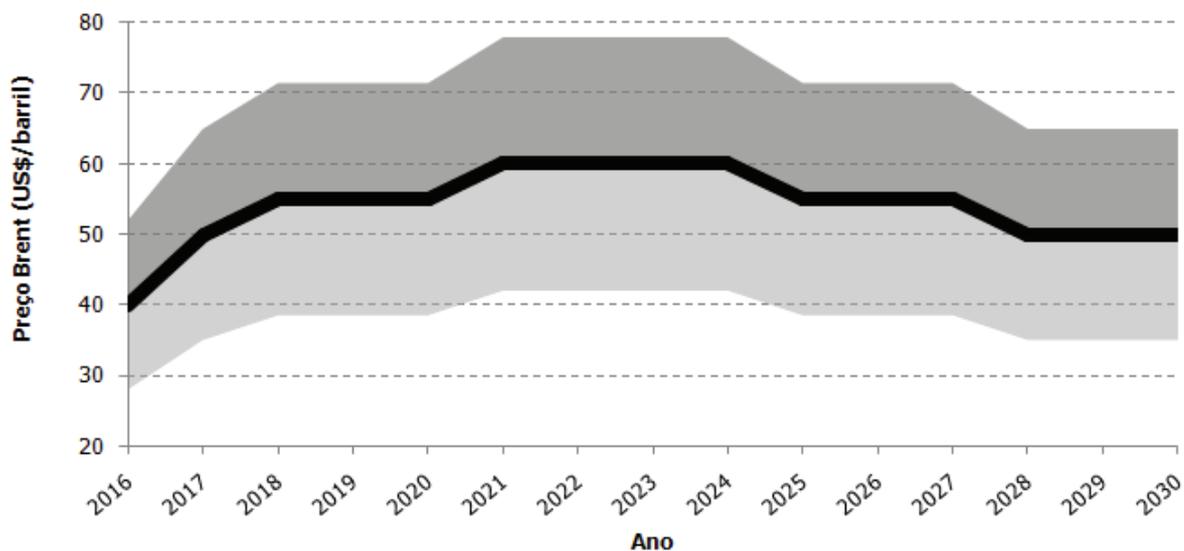
Outra consideração importante é a previsão dos preços de óleo e gás. O mais comum são as corporações estabelecerem linhas de preços possíveis ao longo dos anos, as quais são utilizadas em avaliações probabilísticas. Estas linhas de preços geralmente se concentram em faixas que a empresa julga serem os preços mais prováveis.

Como esse dado de entrada demonstra forte impacto no valor dos projetos, é importante estar ciente dos métodos de elaboração envolvidos. A princípio, levando em conta que as organizações expressem as mesmas crenças em seus processos de avaliação determinístico e probabilístico, a curva base de preços dos modelos determinísticos deve ser a matriz que gera as linhas a serem utilizadas no processo simulatório, portanto sendo muito próxima da média em cada ano.

Na Figura 14 a seguir é evidenciado um exemplo de possíveis preços de *Brent* gerados para um modelo. São definidos intervalos de confiança (cinza) em relação a uma medida de

referência (linha preta):

Figura 14 – Exemplo de Modelagem de Preços de Petróleo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto mais ampla for a faixa de preços possível, maior a amplitude no valor dos projetos. No Figura 14 a premissa é a simetria entre preços acima e abaixo da referência e a uniformidade de chances entre qualquer dos preços da faixa determinada. Em geral, cada organização possui uma premissa de preço e uma forma de modelá-la em seus sistemas. Dada a relevância da variável preço nos resultados, é muito importante que haja um alinhamento entre as crenças da corporação e o que se insere na modelagem dos projetos.

3.1.3 Parâmetro de Retorno

Planilhados os projetos, parte-se para a definição do parâmetro de retorno a ser utilizado: VPL, TIR, IL ou algum outro parâmetro alternativo? Conforme já visto, parâmetros alternativos, não financeiros, podem trazer o problema de especificar demais e acabar inviabilizando a comparação entre projetos. Como a proposta é elaborar uma sistemática abrangente, a escolha deve privilegiar um indicador que possa ser obtido via fluxo de caixa.

A TIR, embora encontre certa receptividade no ambiente corporativo, possui uma série de limitações já apontadas que a descredenciam como uma alternativa interessante. Já o IL, embora não demonstre tantos problemas teóricos, é pouco utilizado na literatura, além de ser limitado o número de empresas que o aplicam nos processos de avaliação.

Assim, o VPL aparece como o indicador mais adequado para mensurar o retorno de um projeto pelos seguintes motivos:

- Conceito amplamente difundido e relativamente simples;

- Grande frequência de aplicação na literatura de finanças e engenharia econômica;
- Receptividade nos meios corporativos;
- Premissa de reinvestimento dos fluxos mais conservadora que a TIR;
- Dimensionalidade que permite comparar com dados econômicos e contábeis da empresa.

Um item importante a salientar quando se analisa o VPL de projetos exploratórios (ou qualquer um que evidencie contexto semelhante) é a implicação do fator de sucesso utilizado no valor final. O VPL ponderado por este fator de risco normalmente é denominado Valor Monetário Esperado (VME), numa aplicação do conceito de Árvore de Decisão. Percebe-se que, mesmo considerando um fator de risco, se trata de uma visão determinística, pois o valor é determinístico.

O valor é um só, mas agrega informação dos dois possíveis ramos de resultado, conforme já ilustrado na Figura 7.

3.1.4 Função Utilidade e Coeficiente de Aversão a Risco

O próximo passo é definir qual função utilidade aplicar e qual método de aferir o coeficiente de aversão a risco dos decisores ou da empresa: *direct assessment* ou demonstrativos financeiros?

O amplo reconhecimento da literatura para o uso da função exponencial como função utilidade fornece elemento suficiente para esse tópico. Entre as vantagens desse tipo de função há sua aproximação de todas as demais curvas quando apurado corretamente o nível de aversão a risco da firma. Além disso, o entendimento de que a aversão absoluta constante e aversão relativa crescente fazem sentido reforçam o argumento de utilizá-la.

No que tange ao coeficiente de aversão, os resultados obtidos via demonstrativos financeiros e limites de orçamento soam razoáveis como base. Ainda mais após as evidências apontadas na literatura. Um argumento favorável a isso é o reconhecimento de que esse índice é dinâmico, expressando o comportamento de risco dos decisores em cada período. Para o segmento de óleo e gás, um ano de resultados exploratórios ruins, por exemplo, resulta em menos propensão a riscos nas decisões do ano seguinte. Tanto o balanço como o menor orçamento do ano seguinte captam essa alteração. Além disso, a alternativa de mensurar o comportamento em relação a risco por meio da aplicação de questionários a diretores ou comitês diretivos das empresas tende a ser pouco eficiente, uma vez que alterações no quadro de pessoal desses cargos e órgãos exige nova apuração, e a disponibilidade desses agentes em geral é bem escassa.

De qualquer forma, checagens de consistência são interessantes para que sejam identificadas eventuais necessidades de ajustes na apuração do índice.

3.1.5 Modelo

O objetivo do modelo é selecionar uma carteira cujo retorno apresente a maior utilidade possível para o decisor. Tendo em vista a caracterização desse retorno como uma variável aleatória v , em termos genéricos, o que se busca é:

$$\max E[U(v)] = \max \int U(v) dF(v) \quad (3.1)$$

Sendo $F(v)$ a função densidade acumulada de probabilidade dos retornos (v).

É importante perceber que, neste caso, v é o retorno em termos de unidade monetária, ou o Valor Presente Líquido, advindo de uma carteira de projetos escolhida, c , entre todas as possibilidades.

A seguir são apontados os conjuntos de dados necessários à modelagem:

Conjuntos

- P Conjunto de projetos (i);
- Z Conjunto de corridas de simulação independentes (*simulation runs*) (z);
- T Conjunto de períodos de tempo (t);
- K Conjunto de tipos de projeto (k).

Destacando-se as características de tipologia dos projetos:

- P_k Conjunto de projetos do tipo $k \in K \mid \bigcup_{k \in K} P_k = P$ e $P_{k_1} \cap P_{k_2} = \emptyset$
sendo $k_1, k_2 \in K$ e $k_1 \neq k_2$.

E a relação entre os projetos existentes e as carteiras possíveis de serem formadas:

- C $\mathcal{P}(P)$, conjunto das partes (ou de subconjuntos) de P ,
ou conjunto de carteiras possíveis de projetos em P .

Assim, o problema pode ser descrito² por encontrar o portfólio, $c \in C$, de forma a maximizar a utilidade esperada, $E[U(c)]$, satisfazendo restrições específicas de cada contexto organizacional. Dado que uma carteira (c) é definida pela presença/ausência de projetos (i) a partir de um conjunto total disponível (P), a variável do modelo deve espelhar essa concepção:

² Optou-se por utilizar neste trabalho a notação matricial, destacando-se que foi considerado, na comparação vetorial, $\vec{x} \geq \vec{y}$ se $\forall i x_i \geq y_i$.

Variáveis

\mathbf{x} $[x_i]_{|P|}$ Vetor da carteira de projetos: a variável do modelo, com $|P|$ elementos. A presença do projeto i na carteira c é indicada pelos componentes binários do vetor:

$$x_i \begin{cases} 1, & \text{se } i \in c \\ 0, & \text{se } i \notin c, \quad \forall c \in C. \end{cases}$$

Estabelecidos os conjuntos e as variáveis do modelo, o próximo passo é definir os parâmetros necessários à otimização:

Parâmetros

a		Coefficiente de aversão a risco do decisor;
\mathbf{b}_T	$[b_t]_{ T }$	Vetor limite de investimento nos períodos, com $ T $ elementos;
\mathbf{b}_K	$[b_k]_{ K }$	Vetor limite de investimento nos tipos de projeto, considerando o período total, com $ K $ elementos;
\mathbf{C}	$[C_{it}]_{ P \times T }$	Matriz do investimento exigido pelo projeto i no período t ;
\mathbf{V}	$[V_{iz}]_{ P \times Z }$	Matriz de VPL do projeto i na corrida de simulação z ;
\mathbf{S}	$[S_{ii}]_{ P \times P }$	Matriz de variâncias e covariâncias;
\mathbf{D}	$[D_{ii}]_{ P \times P }$	Matriz diagonal das variâncias dos projetos;
\mathbf{O}	$[O_{ii}]_{ P \times P }$	Matriz de correlação (percepção);
\mathbf{K}	$[K_{ik}]_{ P \times K }$	Matriz binária de classificação do projeto i no tipo k :

$$K_{ik} \begin{cases} 1, & \text{se o projeto } i \text{ for do tipo } k \\ 0, & \text{se o projeto } i \text{ não for do tipo } k. \end{cases}$$

Função Objetivo

Dado que \mathbf{x} indica uma carteira $c \in C$, maximizar sua utilidade esperada significa:

$$\max E[U(\mathbf{x})] = \max E[U(c)] = \max \frac{\mathbf{1}'_{|Z|} [U(\mathbf{V}'\mathbf{x})]}{|Z|} \quad (3.2)$$

Neste trabalho foi considerada a função de utilidade na forma exponencial:

$$U(v) = \frac{1}{a} (1 - e^{-av}) \quad (3.3)$$

por razões já mencionadas, entretanto a modelagem conforme exposta permite flexibilidade quanto ao tipo de função. É importante atentar ao fato de que a matriz \mathbf{V} aqui utilizada já carrega consigo as informações de correlação entre projetos apontadas pelos especialistas. Mais adiante é abordado o método de transformação das corridas de simulação (z) dos projetos, geradas originalmente sem qualquer vínculo.

Em termos de restrição, a primeira limitação, que naturalmente ocorre, é o volume de investimentos disponível para determinado ano (t):

$$\mathbf{C}'\mathbf{x} \leq \mathbf{b}_T \quad (3.4)$$

A seguir, impõe-se uma restrição quanto ao tipo de investimento da empresa. Essa equação ataca o problema de concentrar recursos em determinado segmento, a ser evitada por opção estratégica. No exemplo de óleo e gás, o objetivo deste item é manter o crescimento das operações de maneira integrada e distribuída entre exploração, desenvolvimento, refino, distribuição, petroquímica, uma vez que ao não considerá-lo o sistema concentraria recursos nos projetos mais rentáveis sem qualquer trava. Assim, o cálculo precisa se enquadrar no seguinte:

$$\mathbf{K}'\mathbf{A}(\mathbf{C} \mathbf{1}_{|T|}) \leq \mathbf{b}_K \quad (3.5)$$

Considerando a matriz \mathbf{A} como a matriz diagonal formada pelos elementos da variável \mathbf{x} :

$$\mathbf{A} = [A_{ii}]_{|P| \times |P|} = \text{diag}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{|P|}) \quad (3.6)$$

A mecânica da otimização consiste em gerar corridas de simulação - conjunto Z - em quantidade significativa (milhares) e testar as diversas combinações de carteiras de forma a se enquadrar nos limites de investimento e de tipologia dos projetos. A variável \mathbf{x} é um vetor binário de ordem $|P|$ que expressa uma combinação específica de projetos, sendo as únicas opções realizá-los ou não.

O sistema é solucionado quando o portfólio que maximiza a utilidade é encontrado entre todas as carteiras possíveis - conjunto C .

A consideração do risco e seu impacto no valor, e conseqüentemente na utilidade, está inserida nas corridas de simulação. Esses valores expressam não somente a avaliação probabilística dos projetos em si, mas também as correlações implícitas entre os projetos - matriz \mathbf{S} - através do alinhamento entre os dados. Mais adiante é abordado tópico específico sobre a matriz de correlações.

Cabe ainda estabelecer a conexão entre a carteira escolhida (\mathbf{x}) e seu risco e retorno:

$$R_c = \mathbf{x}'_c \boldsymbol{\mu} \quad (3.7)$$

$$s_c^2 = \mathbf{x}'_c \mathbf{S} \mathbf{x}_c \quad (3.8)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{DOD} \quad (3.9)$$

Sendo:

$$R_c = \mathbf{x}'_c \boldsymbol{\mu} \quad \forall c \in C \quad \text{Retorno esperado da carteira } c \in C;$$

$$s_c^2 = \mathbf{x}'_c \mathbf{S} \mathbf{x}_c \quad \forall c \in C \quad \text{Variância (ou Risco) da carteira } c \in C;$$

tal que há uma função bijetora $f : \mathbf{x} \mapsto c$. Ainda, expressando a relação entre carteiras (c) e projetos (i):

$$\boldsymbol{\mu} = \mu_i \quad i \in P \quad \text{retorno esperado do projeto } i;$$

$$\mathbf{S} = [s_{ij}] \quad i, j \in P \quad \text{matriz de variância e covariância entre os retornos dos projetos } i \text{ e } j, \text{ sendo } s_{ii} = s_i^2 = \text{variância do projeto } i \in P.$$

O modelo considera pesquisar a melhor carteira (Equação 4.1) levando em conta o apetite a risco do decisor no conjunto C de possibilidades. Uma vez que não há como determinar dominância entre os portfólios apenas com parâmetros de risco e retorno, não se pode restringir a busca apenas ao conjunto de opções eficientes. Esse artifício seria possível se a pressuposição de normalidade da distribuição do retorno dos projetos fosse aceitável, o que se percebe facilmente ser inviável.

3.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

A matriz de correlação entre os resultados esperados dos projetos contém informações essenciais ao processo de otimização. Como as corridas de simulação são geradas originalmente de maneira isolada, ou seja, sem correlação alguma, ao identificar movimentos conjuntos (positivos ou negativos) entre projetos, há impactos na determinação do risco em executá-los concomitantemente.

A proposta desse trabalho necessita da identificação de uma matriz de covariâncias, \mathbf{S} , para que esses movimentos conjuntos possam ser considerados na otimização.

Como já mencionado, essa matriz \mathbf{S} deve carregar consigo informações relevantes sobre o risco dos projetos não apenas sob a perspectiva individual, mas também interativa. A geração das corridas de simulação para cada projeto de maneira independente dá ideia da oscilação esperada em seu resultado, entretanto a simples concatenação dessas corridas não evidencia correlação alguma entre os projetos, necessitando-se, para isso, a aplicação de um procedimento

que mantenha as características individuais mas que impute intencionalmente as correlações estimadas.

Encontrar a carteira com maior utilidade ao decisor exige inserir nas corridas de simulação a informação das correlações identificadas. Uma das alternativas possíveis é a utilização da Decomposição de Cholesky, detalhada mais adiante no trabalho.

Trabalhos anteriores (AL-HARTHY, 2007; GALENO et al., 2009) que propõem metodologias semelhantes tendem a ignorar essa etapa, atribuindo arbitrariamente uma mesma correlação entre os diversos pares de projetos, ou estabelecendo vínculos no próprio processo de simulação, delegando a essas amarras a caracterização de todo o movimento compartilhado. Essas alternativas simplificadas podem afetar seriamente o resultado do processo de seleção da carteira em termos de utilidade, em especial no que diz respeito ao risco assumido pela organização.

A primeira questão, portanto, reside em onde buscar dados acerca dos vínculos existentes entre os resultados dos projetos (covariâncias), uma vez que a informação sem interação (variância) já pode ser estimada por simulação independente. Dado que essas covariâncias dependem das variâncias isoladas dos projetos e das correlações entre esses, e que as primeiras necessariamente já são geradas automaticamente, o foco reside em estimar as correlações dos pares de projetos.

Para construir uma matriz de covariâncias (S) basta identificar uma matriz de correlação entre os projetos e as variâncias individuais dos mesmos. Dada a análise de n projetos, constrói-se uma matriz D , $n \times n$ composta apenas pelos valores dos desvios-padrão dos projetos na diagonal principal. Em seguida multiplica-se essa matriz D por uma matriz de correlações entre os projetos, a qual, em sua diagonal principal apresenta apenas o número 1 e, nos demais itens, os indicadores de correlação entre cada par de projetos. A seguir, multiplica-se este resultado novamente pela matriz D . O resultado é a matriz S .

O objetivo de construir uma matriz de correlação utilizando recursos disponíveis internamente (percepções dos componentes da organização) e inseri-la no processo otimizador adequadamente é atingido com o conceito de *Matriz de Percepção*, denominação de uma matriz quadrada de mesma ordem da matriz de correlação e estimada por indivíduos na organização. A finalidade é buscar acesso a informações presentes na percepção de um colegiado interno cujas habilidades e conhecimentos são reconhecidos e relevantes na avaliação dos projetos da empresa.

3.2.1 Construção da Matriz de Percepção

O primeiro passo da construção dessa matriz é eleger os especialistas cujo conhecimento técnico é pertinente ao processo.

Dado que a matriz final é o consenso entre os envolvidos, recomenda-se que este grupo não seja demasiadamente numeroso, pois corre-se o risco de não se obter um resultado final por

falta de acordo. Por outro lado, é importante que a composição do grupo espelhe a diversidade organizacional de visões, e que todas sejam de alguma forma contempladas nos números ou convencidas, ao menos em parte, a alterar sua opinião. Este processo interativo entre as pessoas da organização ao negociar e entender a dinâmica do procedimento é justamente o mecanismo que capta o substrato informacional de suas construções mentais, seja consciente ou inconsciente, gerando *input* para o modelo.

Em geral, quanto mais anos de exercício tiver um profissional, maior seu potencial de contribuição no processo. Da mesma forma, a carga de estudos sobre o tema também tende a ajudar. Ambos fatores sinalizam a construção de conteúdo pertinente à avaliação de ativos, aumentando a capacidade preditiva sobre estes.

É importante destacar que, por se tratar de uma dinâmica social com objetivo de consenso, algumas características pessoais dos analistas envolvidos facilitam o andamento das atividades. Notadamente a capacidade de ouvir e entender o contraditório, a habilidade de transformar sua percepção em argumentos e a objetividade compõem esse rol.

A formação deste grupo depende muito da natureza da organização, contudo recomenda-se que pelo menos as questões mais importantes estejam presentes no debate. No caso do segmento de óleo e gás, sugere-se que o grupo contenha ao menos um participante especializado nas seguintes questões:

- Engenharia e técnicas operacionais;
- Avaliação Econômica;
- Estratégia;
- Impacto Ambiental e Social.

Formado o grupo em questão, a etapa seguinte consiste em reunir os profissionais e explicar quais os objetivos do procedimento, destacando a relevância das informações a serem geradas. Em suma, eles têm por meta analisar todos os pares de projetos possíveis da carteira e estabelecer um indicador, de zero a um, que simbolize o grau de vinculação entre os resultados esperados.

Ao moderador do grupo cabem ações no sentido de facilitar a compreensão dos participantes. Com essa finalidade podem ser analisadas as planilhas dos projetos, identificando a sensibilidade dos resultados aos diversos *inputs* como gasto exploratório, custo com pessoal, preços, tamanho de reservatório, taxa de desconto, entre outros. Essa dinâmica tende a revelar ao grupo indícios das sensibilidades pareadas entre os projetos que podem resultar em correlações.

Outra medida facilitadora é pré-estabelecer faixas padrão de correlação (forte, média e fraca), evitando assim o debate contraproducente sobre a precisão desse dado.

Perceba-se que, mesmo sendo simétrica e com os números da diagonal sempre um, a quantidade de correlações a investigar³ tem relação quadrática com a quantidade de projetos da carteira, o que tende a tornar a tarefa dos analistas bastante penosa ou até inviável, dependendo do caso.

Neste ponto cabe um julgamento de custo-benefício sobre o procedimento. A identificação das conexões mais fortes na carteira de projetos já adiciona valor considerável ao modelo, não sendo necessária a investigação de todos os pares. Além disso, grandes blocos da matriz podem ser tratados expressamente, e, de fato, serem consideradas com uma mesma correlação (nula ou baixa), pois dizem respeito a itens sem quaisquer (ou com pouquíssimos) fatores vinculantes.

Recorda-se que a matriz possui a restrição de ser positiva semi-definida para uso no modelo, e que identificar uma correlação forte num par, seja positiva ou negativa, prende o julgamento dos demais pares. Essa análise pode ser feita concomitante à geração dos números, sendo mais uma tarefa do facilitador questionar o grupo quando identificada uma inconsistência lógica.

Por exemplo, imagine-se quatro projetos A, B, C e D, entre os quais são identificadas correlações fortes positivas entre A e B, e entre C e D. Não faz sentido que a averiguação do par A e C seja uma relação forte e negativa, e B e D forte positiva, em algum ponto desse conjunto há erro de julgamento. As vinculações médias e fracas permitem maior flexibilidade, contudo em grandes conjuntos isso também pode resultar facilmente em inconsistência. Com a finalidade de tratar esse problema, recomenda-se de início dividir os projetos em dois blocos entre os quais há correlação forte negativa, colocando num mesmo grupo todos com correlação forte positiva. Esse artifício simples possibilita ao grupo evitar alguns erros na lógica da montagem matricial.

Além disso, durante a elaboração da matriz, pode-se aplicar um filtro a cada inserção de parâmetro, verificando se a matriz continua positiva semi-definida. Caso tenha perdido esta característica, procede-se a uma revisão/descarte do parâmetro recentemente inserido ou de um dos anteriores.

3.2.2 Decomposição de Cholesky

Conforme visto, a obtenção de corridas de simulação correlacionadas é condição necessária para determinar qual carteira de projetos maximiza a utilidade do gestor. Neste intuito, busca-se converter as corridas de simulação independentes (ou pseudo-independentes) em corridas cuja correlação seja idêntica (ou bem próxima) à apontada pelos especialistas.

Há algumas técnicas que possibilitam proceder à transformação, sendo uma delas a Decomposição de Cholesky, a qual foi utilizada neste caso.

A técnica permite, sob determinadas condições, decompor uma matriz quadrada positiva

³ Quantidade de Correlações = $\frac{n(n+1)}{2}$

definida de ordem n (\mathbf{P}) em um produto de outra matriz por sua transposta ($\mathbf{P} = \mathbf{T}\mathbf{T}'$). A decomposição só faz sentido se P for simétrica, pois a multiplicação $\mathbf{T}\mathbf{T}'$ é simétrica, e é justamente esta característica que credencia a matriz de correlações entre projetos à decomposição por essa via.

Inicialmente, para facilitar a compreensão, parte-se de dois vetores não correlacionados, que representam as simulações originais de dois projetos, \mathbf{a} e \mathbf{b} , para os quais se deseja obter corridas com determinada correlação.

O primeiro passo é normalizá-los, isto é, transformá-los em vetores com média 0 e desvio-padrão 1, cuja notação é \mathbf{a}^n e \mathbf{b}^n .

$$\mathbf{a}^n = [a_1^n, a_2^n, \dots, a_p^n]' \quad (3.10)$$

$$\mathbf{b}^n = [b_1^n, b_2^n, \dots, b_p^n]' \quad (3.11)$$

Dado que tais vetores são independentes (ou pseudo independentes), a matriz de correlação corresponde à matriz identidade (ou algo muito próximo dela):

$$E[\mathbf{a}^n \mathbf{b}^n] = \mathbf{I} \quad (3.12)$$

Como se pretende obter dois vetores normalizados e com matriz de correlação \mathbf{P} inserida (\mathbf{a}_c^n e \mathbf{b}_c^n), o primeiro passo é decompor esta na forma $\mathbf{P} = \mathbf{T}\mathbf{T}'$ (decomposição de Cholesky). Tem-se então que:

$$E[\mathbf{a}_c^n \mathbf{b}_c^n] = E[\mathbf{T}\mathbf{a}^n (\mathbf{T}\mathbf{b}^n)'] = E[\mathbf{T}\mathbf{a}^n \mathbf{b}^n \mathbf{T}'] = \mathbf{T}E[\mathbf{a}^n \mathbf{b}^n]\mathbf{T}' = \mathbf{T}\mathbf{I}\mathbf{T}' = \mathbf{T}\mathbf{T}' = \mathbf{P}. \quad (3.13)$$

Assim, as matrizes \mathbf{T} e \mathbf{T}' podem ser utilizadas como pontes entre os dados sem correlação e os dados com correlação, uma vez que $(\mathbf{a}_c^n)' = \mathbf{T}(\mathbf{a}^n)'$ e $\mathbf{a}_c^n = \mathbf{a}^n \mathbf{T}'$.

Como, no caso deste trabalho, se lida com conjuntos de vetores, ou seja, matrizes de dados, a transformação descrita acima, adaptada, é $\mathbf{Y}' = \mathbf{T}\mathbf{X}'$, onde \mathbf{Y} e \mathbf{X} são matrizes de dados⁴, respectivamente correlacionados e não correlacionados. A transformação é equivalente a $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{T}'$, a qual foi utilizada nos cálculos e produziu o resultado descrito a seguir.

⁴ Matrizes de ordem $n \times p$, isto é, matrizes que representam corridas de simulação *versus* quantidade de projetos.

4 APLICAÇÃO

Conjugar a estrutura lógica desenvolvida na proposta de avaliação com dados disponíveis de projetos possibilita entender melhor a utilidade da técnica.

4.1 ROTEIRO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA

A fim de facilitar a aplicação da proposta de avaliação deste trabalho, foi elaborado um quadro resumo (Figura 15) apontando as etapas da metodologia e descrevendo-as em termos de entradas e ferramentas necessárias, produtos possíveis e conceitos que fundamentam sua lógica.

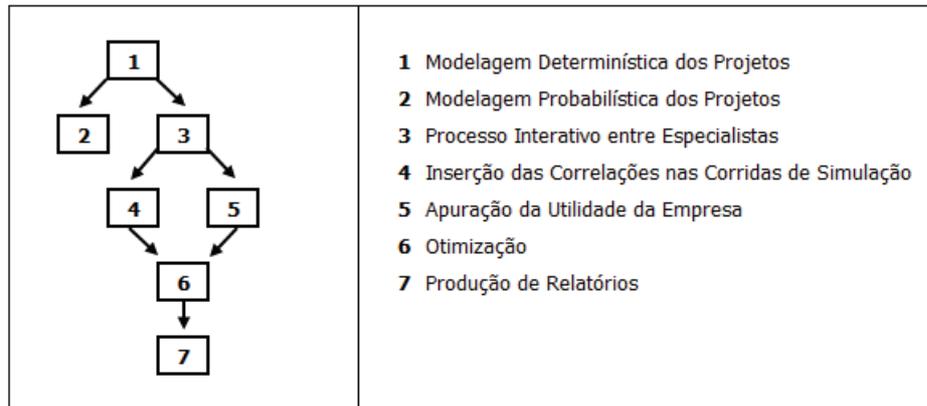
Figura 15 – Quadro Resumo da Proposta

Etapa	Descrição	Ferramentas/Dados Necessários	Produtos	Conceito Aplicado
1	Modelagem Determinística dos Projetos	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo de avaliação econômica dos projetos; - WACC; - Estimativa de custos; - Projeções de preços, produção e vendas; - Regime tributário. 	<ul style="list-style-type: none"> - VPL do projeto; - TIR do projeto; - IL do projeto; - Fluxo de caixa do projeto; - Relatório de Sensibilidade do projeto. 	Indicadores de Projetos de Investimento
2	Modelagem Probabilística dos Projetos	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1; - Identificação das variáveis estocásticas; - Definição das curvas de probabilidade dos <i>inputs</i>; - Gerador de números aleatórios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Curvas de distribuição dos projetos; - VaR dos projetos; - Valor máximo dos projetos; - Valor mínimo dos projetos. 	Simulação de Monte Carlo
3	Processo Interativo entre Especialistas	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1; - Relação de especialistas em temas que impactam valor; - Roteiro da reunião; - Modelo de avaliação econômica dos projetos; - Instrumento de controle de consistência da Matriz de Correlação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz de Percepção (Correlação entre projetos); - Matrizes alternativas para teste de sensibilidade. 	Álgebra Linear
4	Inserção das Correlações nas Corridas de Simulação	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 2; - Etapa 3. 	<ul style="list-style-type: none"> - Curvas de distribuição das carteiras; - VaR das carteiras; - Valor máximo das carteiras; - Valor mínimo das carteiras. 	Decomposição de Cholesky
5	Apuração da Utilidade da Empresa	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstrativos Financeiros; - Questionários (<i>direct assessment</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> - Função de utilidade da empresa; - Coeficiente de aversão a risco. 	Teoria da Utilidade
6	Otimização	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 4; - Etapa 5; - Mapeamento das restrições; - Ferramenta de otimização. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ranking</i> das carteiras em termos de utilidade; - Impacto das restrições; - Enumeração das possibilidades (quando possível). 	Teoria Moderna do Portfólio e Modelagem em Pesquisa Operacional
7	Produção de Relatórios	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 6; - <i>Feedback</i> dos decisores. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Rankings</i>; - Curvas de probabilidades; - Análise de sensibilidade; - Análise descritiva de valor; - Notas explicativas específicas. 	Conceitos relacionados à natureza do Relatório

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de permitir a visualização da técnica como um todo, o quadro possibilita perceber que há um encadeamento entre as etapas definindo certas relações de dependência entre algumas delas. A Figura 16 a seguir evidencia estas relações.

Figura 16 – Sequência e Dependência entre Etapas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que, a depender da concepção de modelagem avaliativa, a etapa 5 torna-se opcional. Além disso, o grau de complexidade de cada etapa pode variar consideravelmente com a natureza da companhia, a quantidade de projetos e a disponibilidade de informações. A ideia foi justamente conferir flexibilidade à técnica, viabilizando sua aplicação em diferentes contextos.

4.2 AMOSTRA

A amostra utilizada neste estudo é descrita a seguir.

4.2.1 Organização

O procedimento descrito ao longo deste trabalho, atendidas algumas premissas, é capaz de auxiliar gestores na elaboração de portfólios eficientes de projetos reais em organizações de diversos tipos. Embora seja mais comum observar iniciativas nesse sentido em indústrias, qualquer empresa que planeje suas ações na forma de projetos, e conte com uma base informacional mínima, pode implementar esse tipo de avaliação. Além disso, a utilidade da aplicação desses conceitos é tanto maior quanto for intrínseco o reconhecimento de que há componentes de risco relevantes na atividade em análise.

Aqui se aborda especificamente a indústria do petróleo, a qual, em essência, é caracterizada como uma atividade de risco, uma vez que os empreendimentos oscilam bastante de valor, não raro apresentando valor esperado negativo. Este fato pode ser percebido inclusive

nas maneiras encontradas pelas empresas do setor para se organizar ao longo dos anos frente a projetos cuja demanda por capital é muito alta e as chances de êxito pequenas: no intuito de reduzir a probabilidade de insolvência advinda do insucesso em um único projeto, a atuação consorciada tem sido uma constante, como estratégia mitigatória. Como, em geral, uma iniciativa bem sucedida é capaz de pagar vários prejuízos e ainda se mostrar compensadora, essa tem sido a tônica do segmento.

Assim, o objetivo das companhias é que os fluxos de caixa negativos advindos de fracassos (com poços secos ou reservatórios não comerciais, por exemplo) sejam ultrapassados pelos ingressos provenientes de projetos bem sucedidos (BALL; SAVAGE, 1999b). Em última análise, desajustes de curto prazo podem ser suportados pela reserva de caixa das empresas. Entretanto, dificilmente um desequilíbrio nesse sentido pode ser suportado por muito tempo. A importância da gestão do risco reside justamente em montar uma posição que, embora sujeita à oscilação de valor, tenda a ser adequadamente recompensada.

Cabe destacar que a indústria do petróleo engloba muitas atividades, entre elas a exploração, desenvolvimento, produção, refino, processamento, transporte (geralmente por navios petroleiros e dutos), importação e exportação de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos e seus derivados. O petróleo é também a matéria-prima para muitos produtos químicos, incluindo fármacos, solventes, fertilizantes, pesticidas e plásticos.

Os dados em que a avaliação foi aplicada advêm de versões de projetos reais, os quais fizeram parte de possibilidades de investimento da Petróleo Brasileiro S. A. (Petrobras) no âmbito de sua atuação internacional. De acordo com a política de confidencialidade da empresa, as informações foram utilizadas de maneira a impossibilitar sua identificação, objetivando unicamente o desenvolvimento da sistemática de avaliação.

A Petrobras chegou a ter previsto, em 2015, um PNG - Plano de Negócios e Gestão¹ - da ordem de US\$ 250 bilhões, sendo a maior fatia desses gastos destinada ao desenvolvimento de campos descobertos na fronteira de exploração do pré-sal, ao longo da costa do sudeste brasileiro. Esse imenso volume de recursos era distribuído em mais de mil projetos, os quais incluíam atividades exploratórias, campos em operação, refinarias, construção de dutos, ampliação/construção de postos de gasolina, termelétricas, plantas processadoras de biocombustíveis, entre outros.

A dificuldade financeira que passa atualmente a companhia obrigou os gestores a repensar as estratégias, readequando a velocidade dos gastos à capacidade de geração de caixa, o que tende a diminuir as cifras significativamente. Mesmo assim, o novo plano, recém divulgado, prevê um volume de recursos investidos em torno de 70 bilhões de dólares, justificando a utilidade do desenvolvimento de processos de avaliação de portfólio.

A maioria dos projetos está localizada em território nacional, o que é explicado pela descoberta de grandes reservas no Brasil e pelas decisões estratégicas do sócio controlador, a União,

¹ Denominação atribuída ao plano de investimentos quinquenal da empresa.

que aponta como missão para a Petrobras o abastecimento do mercado interno. Nessa rubrica estão, por exemplo, o desenvolvimento de Libra, e as construções do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) e da Refinaria Abreu e Lima (RNEST). Em termos de atividade internacional da Petrobras, percebe-se que esta é pouco representativa no PNG total, embora em valor absoluto isso signifique algo em torno de US\$ 5 bilhões², valor ainda expressivo.

Os projetos fora do país foram o foco da presente análise, tendo em vista a possibilidade de acesso aos dados e aos especialistas, fato decorrente do exercício da atividade profissional do autor.

4.2.2 Projetos

A amostra em questão contou com 10 (dez) projetos em 4 (quatro) países diferentes, sendo abordadas iniciativas de E&P (Exploração e Produção) de 2 (dois) tipos:

- Fase Exploratória: projeto, em geral ³, com maior risco, pois, embora já se tenha realizado um estudo geológico e geofísico da área, nenhum poço ainda foi perfurado;
- Fase de Desenvolvimento da Produção: projeto, em geral, mais previsível, tratando-se normalmente do desenho de uma campanha de poços em área que já apresentou ao menos um ou poucos poços produtores de gás ou óleo.

Para cada projeto elaborou-se uma planilha de avaliação econômica, em *Microsoft Excel*[®], com abertura anual, na qual foram previstos os investimentos necessários, os custos de produção, os preços futuros, os volumes recuperáveis dos reservatórios, os custos de abandono dos campos, entre outras variáveis relevantes, apontadas pelas equipes de avaliação das áreas em conjunto com o setor de estratégia da companhia.

A natureza fiscal depende das condições contratuais em cada prospecto, sendo que na modelagem foram refletidos os eventuais benefícios e imposições das alternativas estudadas. Em geral, quanto mais promissor um campo, mais pesados são os tributos relacionados à sua exploração, ocorrendo o inverso em prospectos cuja previsão não é tão otimista. Os governos buscam ajustar sua fatia no negócio de maneira a captar recursos e, simultaneamente, manter atrativa a exploração econômica dos empreendimentos. Desajustes nesse sentido podem levar, de um lado, à sub arrecadação e, de outro, ao abandono da atividade (desaceleração econômica e escassez de energia).

Dessa forma, obteve-se uma visão determinística das dez iniciativas, na qual o resultado final foi um fluxo de caixa líquido que, descapitalizado ao custo de capital da empresa, gerou

² Volume médio quinquenal destinado à antiga Diretoria Internacional, extinta no processo de reestruturação da organização em 2014.

³ Outras características do projeto, além de sua tipologia, podem fazer com que seus resultados sejam mais ou menos previsíveis. O que se destaca aqui é o impacto isolado que seu estágio de maturidade normalmente acarreta.

um VPL associado à realização do projeto. Conforme já descrito, se faz necessária a análise criteriosa da taxa utilizada, uma vez que o valor é bastante sensível a sua variação.

Ao longo dos últimos anos uma série de fatores têm elevado os indicadores de dívida da Petrobras, entre os mais relevantes estão a queda dos preços de petróleo no mercado internacional e a desvalorização do real perante o dólar. Por si só estes *drivers* tendem a aumentar o custo de captar recursos e, conseqüentemente, o custo médio ponderado de capital. Ocorre que boa parte desse efeito é mitigado pelas características da própria empresa, que tem segurado este aumento de custo com acesso a crédito em bancos de desenvolvimento e emissões de títulos de longo prazo no mercado de capitais. Assim, é preciso uma condição crítica de longo prazo até que este cenário force a recharacterização de todo o custo de dívida, e que isso venha a ser determinante no WACC. Mesmo com um custo de captação eventualmente alto por um período, a engenharia financeira apresenta alternativas. Exemplos disso são as recentes emissões de títulos da empresa, as quais foram bem sucedidas em volume e taxa, mesmo com o grave cenário de endividamento já sendo caracterizado. Há um consenso no segmento de óleo e gás em avaliar projetos a taxa real de 10% como WACC (DAMODARAN, 2016). Uma vez que os dados da companhia indicam uma taxa muito próxima a esta, optou-se por utilizá-lo como referência.

Reforça-se que um recálculo e eventual alteração da taxa não invalida a consistência do modelo proposto. O ordenamento dos projetos tende a se alterar, uma vez que um custo maior de capital retira mais valor das iniciativas cujo fluxo financeiro nos primeiros anos seja acentuadamente negativo, desenho típico de um projeto de Exploração e Produção. Entretanto os demais passos na avaliação levam em conta essa informação sem qualquer impeditivo conceitual.

A avaliação determinística já carrega em si uma informação importante, porém extremamente limitada, ainda mais por se saber de antemão que há muitos fatores incidindo sobre a avaliação.

O passo seguinte foi aplicar, sobre as variáveis do modelo em que há incerteza, curvas de probabilidade ao invés de visualizá-las como fatores fixos, obtendo-se então uma modelagem probabilística dos projetos. Nessa etapa, utilizaram-se formatos de curva já comuns na indústria do petróleo, como a distribuição triangular para investimentos e custos, a lognormal para tamanho de reserva, a uniforme (dentro de uma faixa pré-estabelecida) para os preços e loglogística para o atraso (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015). A extensão da incerteza é modelada de acordo com a maturidade do projeto, uma vez que ao longo de sua execução os parâmetros a serem utilizados vão ficando mais claros para a equipe que o acompanha.

Na definição desses parâmetros de incerteza é essencial que a organização aplique o conhecimento máximo disponível, com atenção especial aos fatores mais sensíveis como preços e reserva.

Na Petrobras, o procedimento corporativo usual é reunir periodicamente profissionais especializados no segmento e especialistas em estratégia para avaliar cada projeto novo e, se

for o caso, reavaliar os já existentes, numa etapa chamada PIQR (Processo de Identificação e Quantificação dos Riscos). Quanto mais semelhantes forem dois projetos (segmento, pessoal, localização, maturidade, etc...) mais parecidos estes *inputs* tendem a ser.

O produto dessas reuniões são parâmetros em que há consenso da maioria dos envolvidos. Além disso, as atualizações são alimentadas pelos dados observados no histórico. Quanto mais atividade em determinado segmento e local, mais segurança na apuração dos *inputs*.

Após o endereçamento dessas variáveis, rodaram-se 10.000 corridas de simulação independentes, registrando o VPL dos projetos em cada sorteio. Quanto mais corridas, mais segurança se tem na identificação do comportamento de valor do projeto isolado. Para isso foi utilizado o *software @Risk*[®], um *add-in* do *Microsoft Excel*[®].

A Figura 17 a seguir evidencia algumas características de cada um dos projetos como o VPL esperado (retorno), desvio padrão do retorno (risco), demanda de investimentos nos próximos cinco anos, natureza do projeto e agrupamento por país (sem identificá-lo).

Figura 17 – Características dos 10 Projetos

Projeto	País	Tipo	Em milhões de dólares				
			Investimentos (5 anos)	VPL Mínimo	VPL Máximo	VPL Médio	Desvio Padrão do VPL
A	W	Desenvolvimento da Produção	100	-1.540	375	-12	250
B	W	Desenvolvimento da Produção	150	-226	178	-6	55
C	X	Exploratório	250	-200	123	-21	45
D	X	Exploratório	350	-98	321	84	65
E	X	Exploratório	250	-743	771	-48	127
F	X	Exploratório	150	-2.068	1.005	-189	379
G	Y	Exploratório	200	-81	883	-25	97
H	Y	Exploratório	500	-1.600	3.049	418	614
I	Y	Exploratório	350	-57	5.580	157	667
J	Z	Desenvolvimento da Produção	700	-108	1.954	553	236
			3.000	-6.720	14.241	910	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se perceber numa análise simples que seis deles possuem valor esperado negativo, ou seja, na média tendem a gerar perda de valor para a companhia. Outro ponto é que os retornos médios guardam relação com o montante de investimentos demandados no plano ($r > 0,9$).

Em termos técnicos operacionais, é de se esperar que os projetos exploratórios apresentem maior oscilação (coeficiente de variação), contudo alguns contratos exploratórios podem prever *hedges*, cláusulas que tornam possível para as empresas converter despesas de insucessos em créditos tributários, o que reduz o risco desse tipo de iniciativa. No sentido oposto, seria razoável pensar em menor oscilação para projetos já em estágio de desenvolvimento, porém estes podem carregar ainda bastante incerteza em virtude da cenarização de preços.

Em suma, cada projeto carrega informações muito específicas que determinam o comportamento de seu valor esperado. A Figura 19 mais adiante apresenta os resultados das corridas de simulação em formato de histograma, o que possibilita perceber algumas características. Além

disso, também é possível calcularmos o VaR⁴ dos projetos para diferentes níveis de confiança, como na Figura 18.

Figura 18 – VaR dos 10 Projetos

Projeto	País	Tipo	Em milhões de dólares		
			VaR 99%	VaR 95%	VaR 90%
A	W	Desenvolvimento da Produção	742	431	341
B	W	Desenvolvimento da Produção	136	100	78
C	X	Exploratório	140	106	87
D	X	Exploratório	16	0	0
E	X	Exploratório	409	263	177
F	X	Exploratório	1472	995	721
G	Y	Exploratório	78	73	70
H	Y	Exploratório	973	464	269
I	Y	Exploratório	54	51	49
J	Z	Desenvolvimento da Produção	-92	-200	-259

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destacam-se os projetos I e J devido à impossibilidade, no caso do primeiro, e à baixíssima chance, no caso do segundo, de resultarem em valor negativo. Independentemente do cenário que se esteja prevendo, nenhum risco é suficiente para tornar o impacto desses projetos na carteira negativo.

O caso do projeto I é justamente o benefício contratual de praticamente zerar o valor em caso de perda, via conversão em créditos fiscais. A concentração de iterações na base (8.800) são hipóteses em que houve sorteio de uma reserva não comercial, ou de falhas operacionais, ou ainda de preços baixos que param perto de um valor quase nulo. Nos casos de sucesso, que gira em torno de 10% das corridas, os ganhos são elevados.

O projeto J evidencia uma curva mais distribuída, num típico comportamento de projeto em desenvolvimento. Os valores se concentram em torno do retorno médio, que é alto, não havendo travas de perda.

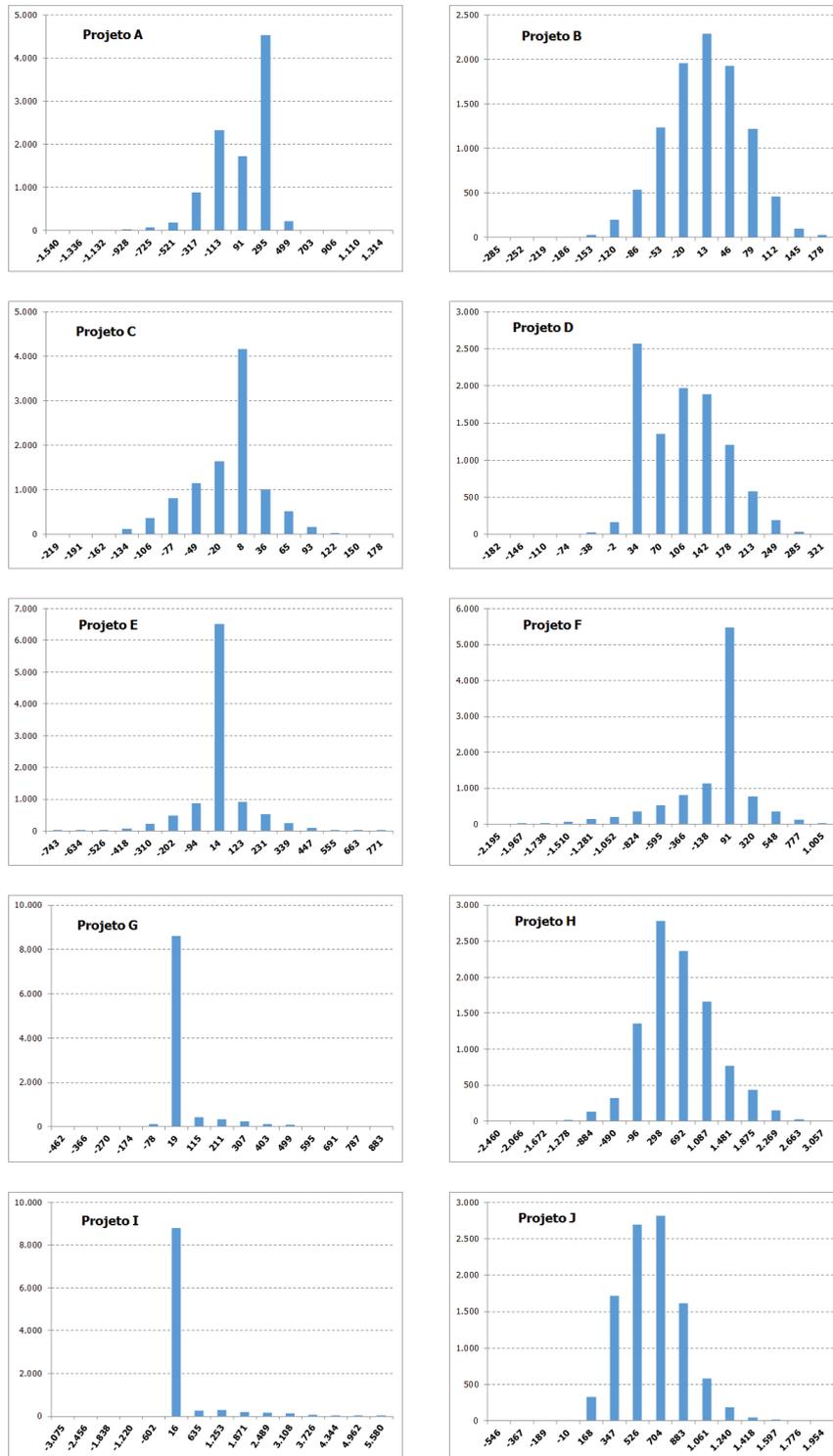
Apresentar ao tomador de decisão uma curva de distribuição do valor do projeto ao invés de uma única versão determinística configura um grande avanço na avaliação, pois, embora superficialmente, a noção do risco começa a influenciar nas escolhas.

Prospectos como os projeto B, D e J tendem a parecer bastante atrativos, uma vez que as chances de valor negativo são baixas. Os projetos I e F poderiam parecer de pouco risco, dada a concentração dos valores, contudo o montante das possibilidades de ganho ou perda é enorme (da ordem do bilhão), bem maiores que no projeto G, por exemplo.

Os projetos A, C e H se mostram um pouco mais em linha com as possibilidades do setor, isto é, chances consideráveis de ganho e de perda.

⁴ Value at Risk

Figura 19 – Histogramas do Retorno dos Projetos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A obtenção das corridas de simulação dos projetos é um passo fundamental no processo de avaliação, pois são percebidos os reflexos das variáveis simuladas no número final. Embora uma análise de sensibilidade possa mostrar como cada um desses fatores modelados interfere no valor, tê-los todos rodando simultaneamente descreve melhor a realidade dos projetos.

O motor desse processo é a geração de números aleatórios independentes para cada projeto. Assim, o que se tem como ponto de partida é a desvinculação completa entre os empreendimentos em avaliação. Cabe considerar ainda que entre as variáveis de um mesmo projeto podem existir correlações, conforme cada caso. Por exemplo, o preço de petróleo sorteado para 2020 pode guardar alguma relação com o preço sorteado para 2019, ou o *overbudget* de investimentos pode ser refletido também em parte nos custos operacionais, e assim por diante. A modelagem deve dar conta dessa amarração.

Outra observação importante é a correlação entre as produções de óleo e gás, pois ambos encontram-se misturados no mesmo reservatório. Portanto não faz sentido num mesmo sorteio obter uma curva de óleo otimista e de gás pessimista, ou vice versa. Isso tende a aumentar a altura nas caudas da distribuição, uma vez que não haverá cenário em que a baixa receita de venda de gás seja compensada pela alta receita das vendas de óleo, ou o contrário. Ou se obtêm altas receitas ou baixas receitas em ambos os produtos. Pode-se afirmar que esse fato aumenta a variabilidade do projeto, e que negligenciá-lo seria munir o decisor com informações distorcidas acerca do real risco incorrido. Estas possibilidades foram endereçadas, a fim de que a simulação guardasse coerência.

4.2.3 Matriz de Correlação

A rigor, o que se espera como resultado desse processo simulatório é que, entre as corridas de cada projeto, a correlação seja nula, isto é, se obtenha uma matriz identidade como matriz de correlação entre os projetos, uma vez que não há influência de um item no resultado de outro.

Embora o processo gerado pelo *software @Risk*⁵ não seja verdadeiramente aleatório⁵, é livre o suficiente para que seja considerado no modelo. A Figura 20 evidencia que as correlações são pequenas o suficiente para que possam ser tratadas como nulas.

Tratar de como amarrar essas corridas é justamente o ponto de maior importância no presente trabalho.

Como já mencionado, uma das formas tradicionais de decidir sobre investimentos em projetos é proceder à otimização considerando-os de maneira isolada, ou seja, com correlações nulas entre si (AL-HARTHY, 2007). Isso tende a subavaliar o risco, uma vez que em geral há uma série de variáveis comuns aos projetos e, portanto, espera-se uma correlação positiva.

⁵ A maioria dos geradores é pseudoaleatório, pois a sequência de números é aproximadamente independente uns dos outros, e não totalmente.

Figura 20 – Matriz de Correlação - Corridas Pseudoaleatórias

Projeto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1,000	-0,002	0,005	-0,016	0,010	-0,003	0,002	-0,004	0,002	0,014
B	-0,002	1,000	-0,008	0,011	0,009	-0,007	-0,003	-0,003	0,002	-0,025
C	0,005	-0,008	1,000	0,000	0,002	0,000	0,012	-0,006	0,016	0,007
D	-0,016	0,011	0,000	1,000	-0,001	-0,012	-0,013	0,012	0,002	0,008
E	0,010	0,009	0,002	-0,001	1,000	0,000	-0,013	-0,003	-0,017	-0,010
F	-0,003	-0,007	0,000	-0,012	0,000	1,000	0,013	0,014	-0,011	-0,003
G	0,002	-0,003	0,012	-0,013	-0,013	0,013	1,000	-0,007	-0,005	-0,005
H	-0,004	-0,003	-0,006	0,012	-0,003	0,014	-0,007	1,000	0,016	0,009
I	0,002	0,002	0,016	0,002	-0,017	-0,011	-0,005	0,016	1,000	0,002
J	0,014	-0,025	0,007	0,008	-0,010	-0,003	-0,005	0,009	0,002	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra maneira é atribuir a mesma correlação a todos os pares de projetos, embora isso não faça muito sentido. Não há acréscimo de informação relevante ao modelo, pois nesse caso a diferença para o parâmetro de risco total do portfólio em acrescentar o projeto A ou B reside tão somente em seu risco individual, ambos contribuindo da mesma forma com seu risco relacional.

Investigar quais as relações entre os projetos e montar uma matriz consistente para inserir no modelo tem potencial de acrescentar valor à análise.

A Figura 21 é o resultado final de um processo iterativo⁶ entre especialistas em avaliação de projetos, sob diversas perspectivas. A intensidade das cores representa a força da correlação. Foram atribuídos valores 0,8 para forte, 0,5 para média e 0,2 para fraca.

Figura 21 – Matriz de Correlação Final - Apontada pelos Especialistas

Projeto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,50
B	0,20	1,00	0,80	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
C	0,20	0,80	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
D	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20
E	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,80	0,50	0,20	0,20	0,20
F	0,20	0,20	0,20	0,50	0,80	1,00	0,80	0,20	0,20	0,20
G	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,80	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50
I	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,50
J	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além do autor do trabalho, que atuou como mediador, a reunião contou com a participação de 5 (cinco) pessoas de setores diferentes que tratam dos seguintes temas:

- Estratégia e Desempenho;
- Portfólio e Gestão do Risco;
- Serviços Técnicos de Engenharia e Geologia;
- Meio Ambiente, Saúde e Segurança;

⁶ Roteiro em Apêndice.

- Financeiro/Tributário.

Como a matriz é simétrica, para os dez projetos foram necessários consensuar 45 números representando os pares de projetos possíveis. Importante destacar que o mediador acompanhou a cada inclusão de fator se a matriz se mantinha positiva semi-definida.

Previamente à reunião foi preparado um roteiro explicando qual o objetivo do estudo, além de uma verificação com todos os presentes se estes compreendiam o significado dos conceitos, em especial, o de se atribuir correlações entre projetos. Esta etapa, com o esclarecimento de algumas dúvidas que surgiram, durou cerca de 40 minutos.

Além disso, foi sugerido ao grupo que se iniciassem os apontamentos pelos pares cuja percepção fosse de maior força, passando às médias e, por fim, às fracas. O intuito era preservar as informações fortes prioritariamente, uma vez que a carga de informação desses índices é mais relevante que a carga das médias e das fracas.

Também foi mencionada a possibilidade de a correlação ser nula, caso de fato não se preveja nenhuma interação entre duas iniciativas.

Após cerca de 30 minutos de debates, analisados os projetos em questão, um dos participantes sugeriu que se partisse atribuindo correlação fraca para todos os pares e, posteriormente fortes e médias no casos específicos. Todos do grupo concordaram, justificando que as variáveis de preços são bastante relevantes e comuns a todos os projetos e isso, por si só, era justificativa razoável para acatar a sugestão.

O mediador questionou se tal fato era válido para os projetos do país A, propositadamente incluídos, uma vez que o mesmo apresentava regime de controle de preços de óleo, respondendo pouco à variação do *Brent*. Foi unânime a explicação de que a situação seria temporária⁷, uma vez que no longo prazo seria impossível sustentar essa situação. Como os projetos de óleo e gás são de longo prazo, uma boa parte deles fica sujeita igualmente à oscilação dos preços de referência.

Partiu-se então de uma matriz preenchida pela diagonal principal unitária e as demais lacunas por 0,2, conforme Figura 22.

O passo seguinte foi focar a análise nos projetos D, E, F e G, por apresentarem semelhanças técnicas e operacionais. Outro fator que contribuiu para esse agrupamento foi o fato de D, E e F serem localizados no mesmo país, o que os aproxima em termos de tributação e custos. Todos os presentes concordaram que destes projetos era esperado um comportamento alinhado, porém a fixação de quais eram fortes e quais eram médios gerou trocas de informações e argumentos por cerca de 30 minutos. Obteve-se então a matriz da Figura 23.

⁷ De fato, após passados alguns meses, o país em questão tem rumado para a liberação gradual dos preços em virtude da situação caótica em que a indústria local se encontra. Durante alguns anos os preços internos têm sido forçados a ficar abaixo dos preços de referência internacionais, o que tem desestimulado enormemente novos investimentos no setor.

Figura 22 – Matriz de Correlação Parcial 1

Projeto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
B	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
C	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
D	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
E	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
F	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20
G	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20
I	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20
J	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Matriz de Correlação Parcial 2

Projeto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
B	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
C	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
D	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20
E	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,80	0,50	0,20	0,20	0,20
F	0,20	0,20	0,20	0,50	0,80	1,00	0,80	0,20	0,20	0,20
G	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,80	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20
I	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,20
J	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após decorridas essas cerca de duas horas da reunião desde seu início, fez-se então uma pausa de 15 minutos, embora as conversas nesse período ainda tenham seguido sobre o tema.

Ao levar à discussão parâmetros para avaliação de projetos em grupos deve-se verificar o surgimento de um possível conflito de interesse entre os envolvidos. Por exemplo, algum gerente de projeto pode, mesmo que inconscientemente, inflar os indicadores de seu projeto no intuito de torná-lo atrativo. Esse não é o caso do presente problema, pois o que se quer consensuar é o parâmetro de correlação entre projetos, o qual não possui caráter nem pejorativo nem apreciativo.

Na retomada da atividade, a verificação mirou os projetos A, H, I e J, pelo fato de os termos contratuais serem idênticos, embora de três países distintos. Outro apontamento foi a proximidade dos parâmetros operacionais de H, I e J, projetos *offshore* em águas profundas. Este item foi mais simples de chegar a um acordo e atribuir força média a todos os pares, conforme Figura 24, o que tomou cerca de 20 minutos.

O ponto mais controverso se deu no debate sobre os projetos B e C, que tomou cerca de uma hora. Os especialistas de engenharia, meio ambiente e de portfólio insistiram para que o fator atribuído fosse forte, tendo em vista o histórico das equipes responsáveis pelos projetos. O representante de estratégia resistiu, pois não concordou que houvesse correlação tão significativa entre dois projetos em países diferentes e de natureza distinta (Desenvolvimento da Produção e Exploratório), já o de finanças apontou semelhanças tributárias mas preferiu não se posicionar.

Após muita conversa e explicação técnica, o participante contrariado foi parcialmente

Figura 24 – Matriz de Correlação Parcial 3

Projeto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,50
B	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
C	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
D	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20
E	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,80	0,50	0,20	0,20	0,20
F	0,20	0,20	0,20	0,50	0,80	1,00	0,80	0,20	0,20	0,20
G	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,80	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50
I	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,50
J	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Matriz de Correlação Parcial 4

Projeto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,50
B	0,20	1,00	0,80	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
C	0,20	0,80	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
D	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20
E	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,80	0,50	0,20	0,20	0,20
F	0,20	0,20	0,20	0,50	0,80	1,00	0,80	0,20	0,20	0,20
G	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,80	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	0,50	0,50
I	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	1,00	0,50
J	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

convencido da tese dos demais envolvidos (Figura 25). O mediador explicou que mesmo a correlação média (0,5) significa uma relação consistente entre os projetos, porém o grupo decidiu atribuir fator forte (0,8).

Ao todo, o processo tomou um pouco mais de 3 horas dos profissionais, os quais solicitaram receber os resultados do que fosse analisado posteriormente no trabalho.

4.2.4 Coeficiente de Aversão a Risco

Um dos pilares da presente modelagem é que o valor de uma carteira ótima depende, além dos parâmetros dos projetos em si, do comportamento do decisor, isto é, seu apetite a risco. Essa característica é captada numericamente pelo coeficiente de aversão a risco.

A rigor, cada indivíduo possui uma tendência específica a aceitar certos riscos em troca da possibilidade de ganhos, conforme já abordado na revisão de literatura. Pode-se inferir algo semelhante em termos de empresas, utilizando os seus demonstrativos contábeis publicados, de acordo com a literatura do tema (HOWARD, 1988).

Partindo-se da Receita de Vendas, do Patrimônio Líquido e do Lucro Líquido, é possível aplicar fatores (0,064, 0,157 e 1,24, respectivamente) e obter uma *proxy* do Coeficiente de Tolerância a Risco. Seu inverso, o Coeficiente de Aversão a Risco, é o parâmetro utilizado no modelo.

Há uma interrelação entre o porte e desempenho da empresa e o seu comportamento no processo decisório sobre projetos. Quanto maiores forem as cifras dos dados financeiros, mais suporte a organização tem para resistir aos riscos levantados, e portanto, tende a demonstrar maior apetite a risco.

À medida que o tempo passa, o desempenho da empresa faz com que ela rume para alguma direção e suas escolhas refletem essa situação. Caso melhore, maiores receitas de vendas resultarão em maiores lucros, que por sua vez serão parcialmente incorporados ao patrimônio líquido. Em termos de indicador, isso significará maior propensão a assumir projetos desafiadores, com chances significativas de perda. Num cenário oposto, de prejuízos frequentes, com redução do valor da empresa a cada ano, o índice refletirá maior prudência, uma vez que a perda contínua em muitos projetos, nesse estágio, poderá significar a falência.

Tendo em vista que os dados contábeis da Petrobras, embora tenham piorado bastante nos últimos anos, ainda apresentam valor alto, sua curva de utilidade tende a ser quase uma reta. Isso significa que a empresa é praticamente indiferente ao risco na carteira analisada, uma vez que seus índices suportam as oscilações apresentadas pelos 10 projetos tranquilamente.

Por esse motivo, foi realizado um exercício de sensibilidade do valor percebido das carteiras tendo em vista coeficientes de aversão a risco maiores que o da Petrobras. Assim, foram escolhidas outras 15 companhias de capital aberto, e apurados seus coeficientes (Figura 26), de forma a tornar possível ter uma ideia de como se altera a utilidade percebida da carteira de acordo com a perspectiva de cada observador.

Destaca-se que os valores calculados não correspondem propriamente à avaliação atribuída aos portfólios possíveis por essas 15 empresas, uma vez que isso só seria possível caso todo o processo de avaliação, desde a concepção e modelagem determinística dos projetos até a elaboração de relatórios de resultado, ocorresse no âmbito da empresa investigada. Dessa forma os profissionais dessas empresas imprimiriam no processo a identidade das companhias. A ideia aqui é visualizar, *coeteris paribus*, o impacto do coeficiente de aversão a risco na avaliação dos portfólios.

Figura 26 – Coeficientes de Aversão a Risco por Empresa

Empresa	Coeficiente de Aversão a Risco
Petrobras	0,00003
Vale	0,00005
YPF	0,00011
Ambev	0,00012
Gerdau	0,00032
BR Foods	0,00037
Ultrapar	0,00038
Braskem	0,00041
Cemig	0,00046
Copel	0,00064
CPFL	0,00083
Tractebel	0,00090
Usiminas	0,00091
Cosan	0,00109
PAMPA	0,00121
CESP	0,00148

Fonte: Elaborado pelo autor.

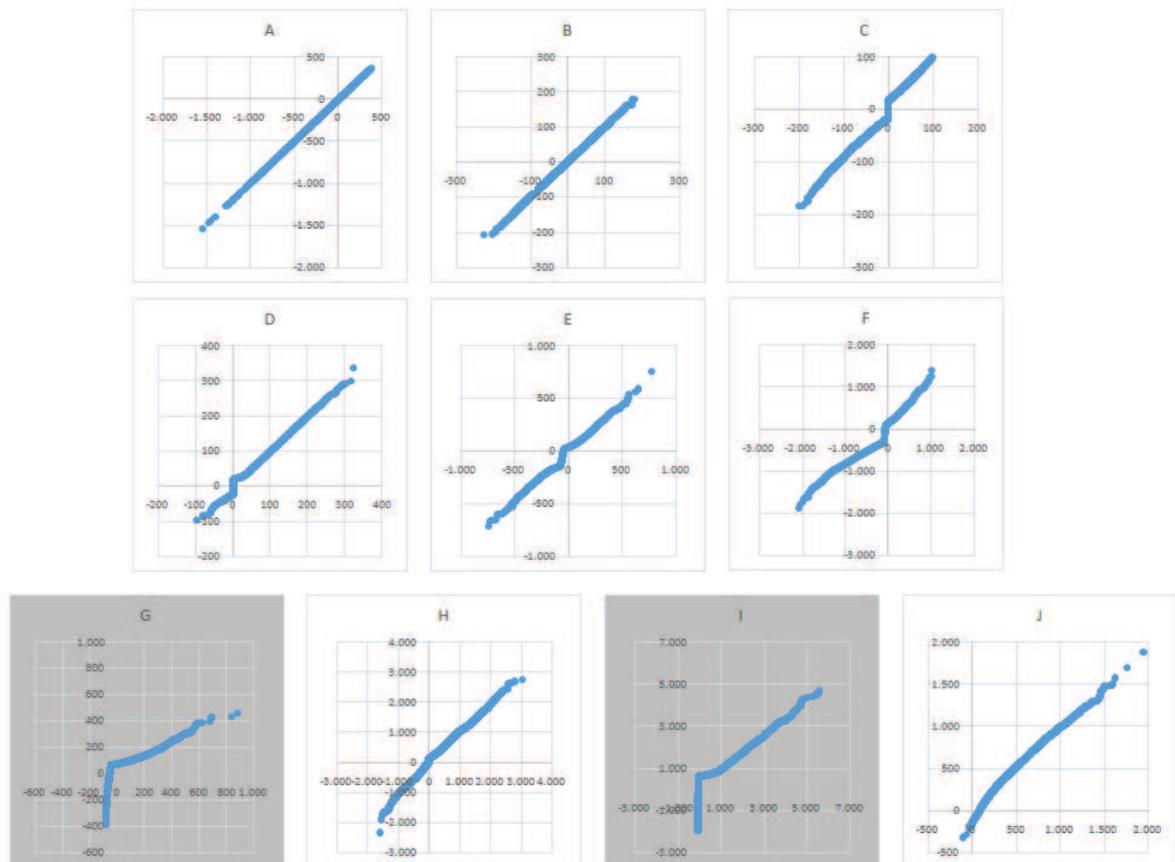
4.2.5 Distorções da Transformação

Um elemento importante do processo de avaliação é o monitoramento de distorções nas curvas de distribuição do valor dos projetos, as quais podem ocorrer em virtude da inserção das correlações identificadas pelos especialistas.

A aplicação da Decomposição de Cholesky mantém a média e o desvio dos projetos individualmente, porém alguns ajustes são feitos no valor das corridas a fim de que haja um realinhamento de acordo com as correlações que se pretende inserir.

A Figura 27 mostra o que ocorre quando se aplica a técnica às corridas dos 10 projetos em análise, sendo que o eixo das ordenadas contempla os valores de VPL antes da transformação e o eixo das abscissas, após esta. Ambos estão expressos em milhões de dólares, e possuem os eixos com amplitude e escala pareadas. Percebe-se que o nível de distorção é aceitável, embora os projetos G e I tenham sofrido ajustes maiores na parte inferior dos valores. Esses são projetos que originalmente apresentam curvas bastante peculiares, conforme pode ser visto na Figura 19, por isso a transformação os atinge mais. O monitoramento da distorção, bem como o alerta aos decisores desses desvios, é essencial à eficácia do processo.

Figura 27 – Distorções - Decomposição de Cholesky



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 RESULTADOS

A seguir analisam-se os resultados advindos da aplicação do modelo na amostra descrita.

4.3.1 Seleção de Portfólio

Ao final, o processo de otimização fez uso dos seguintes parâmetros:

- 10.000 corridas de simulação independentes para cada um dos 10 projetos;
- Demanda de investimentos quinquenal para cada um dos 10 projetos;
- Matriz de correlação entre os projetos, indicada pelos especialistas, a qual possibilitou a formação da matriz S , 10×10 , de covariâncias entre os projetos;
- 16 Coeficientes de Aversão a Risco das empresas (Petrobras e outras 15 Companhias de capital aberto).

As variáveis de decisão são tratadas como inteiras devido à realidade da aplicação, ou seja, a indivisibilidade conceitual dos projetos.

Após o levantamento dos *inputs*, foi rodada a otimização a seguir, considerando as carteiras $c \in C$:

$$\max E[U(\mathbf{x})] = \max E[U(c)] = \max \frac{\mathbf{1}'_{|Z|}[U(\mathbf{V}'\mathbf{x})]}{|Z|} \quad (4.1)$$

E adotando a função de utilidade na forma exponencial:

$$U(v) = \frac{1}{a}(1 - e^{-av}) \quad (4.2)$$

Sujeito à restrição de investimentos, a qual neste caso foi considerada como de período único. Assim a demanda de capital do conjunto de projetos escolhidos deve ser menor ou igual ao orçamento quinquenal aprovado:

$$\mathbf{c}'\mathbf{x} \leq \mathbf{b}_T \quad (4.3)$$

Considerando ainda as expressões de risco e retorno das carteiras formadas em função da variável de decisão (\mathbf{x}_c):

$$R_c = \mathbf{x}'_c \boldsymbol{\mu} \quad (4.4)$$

$$s_c^2 = \mathbf{x}'_c \mathbf{S} \mathbf{x}_c \quad (4.5)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{DOD} \quad (4.6)$$

Sendo:

Conjuntos

P Conjunto de projetos (i);

C Conjunto de todas as carteiras possíveis de serem formadas (c);

Z Conjunto de corridas de simulação independentes (*simulation runs*) (z).

Parâmetros

a		Coefficiente de aversão a risco do decisor;
\mathbf{b}_T		Limite de investimento no período (5 anos);
R_c		Retorno esperado da carteira $c \in C$;
s_c^2		Variância (ou Risco) da carteira $c \in C$;
\mathbf{x}_c	$[x_i]_{ P }$	Vetor binário que caracteriza a carteira c ;
$\boldsymbol{\mu}$	$[\mu_i]_{ P }$	Vetor de retornos esperados (VPL) dos projetos i ;
\mathbf{c}	$[c_i]_{ P }$	Vetor do investimento exigido pelo projeto i no período proposto;
\mathbf{V}	$[v_{iz}]_{ P \times Z }$	Matriz de VPL do projeto i na corrida de simulação z ;
\mathbf{S}	$[S_{ii}]_{ P \times P }$	Matriz de variâncias e covariâncias;
\mathbf{D}	$[D_{ii}]_{ P \times P }$	Matriz diagonal das variâncias dos projetos;
\mathbf{O}	$[O_{ii}]_{ P \times P }$	Matriz de correlação (percepção).

Considerando que as variáveis são binárias e a amostra contempla 10 projetos, existem 1.024 carteiras possíveis (2^{10}) de serem formadas, desde a carteira com nenhum projeto até a que realiza todos.

Nesse caso a quantidade de carteiras não é muito grande, e a identificação de cada uma delas, para posterior referência e estudo, não gerou esforço computacional elevado. Entretanto a busca do ótimo em si, que leva em conta as milhares de corridas de simulação e a quantidade total de carteiras possíveis, onerou significativamente o sistema. A extensão deste trabalho de análise para portfólios inteiros, nas suas proporções usuais, é perfeitamente viável, embora demande muito mais recursos computacionais. Para se ter uma ideia, no caso da Petrobras, há atualmente o planejamento de mais de 1.000 projetos, portanto, fariam parte do conjunto C um total de $2^{1.000}$ portfólios.

A otimização⁸ na amostra em questão foi realizada utilizando o *Microsoft Excel*[®]. A limitação de acesso aos dados da Petrobras, entretanto, não inviabilizou a análise da aplicação proposta, uma vez que se pôde testar os resultados considerando diversos limites de investimentos, diferentes propensões a risco e com ou sem as correlações entre os projetos.

Tais procedimentos foram testados a seguir. Inicialmente apuraram-se os resultados, considerando a matriz de percepção dos especialistas e utilizando 10 diferentes faixas como limite de investimento (de US\$ 250 milhões a US\$ 2.500 milhões⁹). As Figuras 28 e 29 mostram os *outputs* de valor da carteira, investimento demandado, desvio-padrão, vetor de projetos e

⁸ Reforça-se que o objetivo primordial deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de avaliação coerente e eficaz, sendo que sua utilidade foi evidenciada pela aplicação na amostra descrita. A extensão dessa proposta a carteiras com grande quantidade de projetos demanda o desenvolvimento de uma solução em alguma ferramenta mais robusta que o *Microsoft Excel*, porém o racional da metodologia permanece rigorosamente o mesmo.

⁹ A carteira de projetos da amostra total demanda US\$ 3.000 milhões em investimentos.

número de identificação da carteira para 6 empresas que representam a amplitude de índices de aversão a risco pesquisados.

Figura 28 – Resultados por empresa e por faixa de investimentos 1

Petrobras																	
<i>Em milhões de dólares</i>					<i>Variáveis (Projetos)</i>												
Capex _{PNG}	Investimento Demandado	VPL	Utilidade	Desvio-Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Carteira		
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
500	350	157	150	669	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10		
750	700	553	548	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
1.000	850	575	552	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	54		
1.250	1200	971	948	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55		
1.500	1200	971	948	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55		
1.750	1550	1128	1086	1.266	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	176		
2.000	1900	1212	1166	1.283	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	371		
2.250	1900	1212	1166	1.283	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	371		
2.500	1900	1212	1166	1.283	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	371		
					0	0	0	3	0	0	0	7	6	7			

Gerdau																	
<i>Em milhões de dólares</i>					<i>Variáveis (Projetos)</i>												
Capex _{PNG}	Investimento Demandado	VPL	Utilidade	Desvio-Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Carteira		
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
500	350	157	92	669	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10		
750	700	553	499	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
1.000	700	553	499	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
1.250	1200	971	765	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55		
1.500	1200	971	765	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55		
1.750	1550	1055	825	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
2.000	1550	1055	825	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
2.250	1550	1055	825	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
2.500	1550	1055	825	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
					0	0	0	4	0	0	0	6	1	8			

Braskem																	
<i>Em milhões de dólares</i>					<i>Variáveis (Projetos)</i>												
Capex _{PNG}	Investimento Demandado	VPL	Utilidade	Desvio-Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Carteira		
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
500	350	84	82	65	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5		
750	700	553	486	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
1.000	700	553	486	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11		
1.250	1200	971	719	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55		
1.500	1200	971	719	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55		
1.750	1550	1055	773	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
2.000	1550	1055	773	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
2.250	1550	1055	773	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
2.500	1550	1055	773	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155		
					0	0	0	5	0	0	0	6	0	8			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora o resultado do processo de otimização seja a identificação de qual a carteira específica maximiza a utilidade da companhia, compreendê-lo de uma maneira mais ampla gera conhecimento sobre quais projetos priorizar. Essa perspectiva é reforçada pelo entendimento de que há parâmetros incertos presentes no modelo, portanto essa flexibilidade é interessante ao

Figura 29 – Resultados por empresa e por faixa de investimentos 2

Cosan																
<i>Em milhões de dólares</i>					<i>Variáveis (Projetos)</i>											
Capex _{PNG}	Investimento Demandado	VPL	Utilidade	Desvio-Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Carteira	
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
500	350	84	78	65	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	
750	700	553	399	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
1.000	700	553	399	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
1.250	1200	971	465	761	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	55	
1.500	1200	971	465	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55	
1.750	1550	1055	497	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
2.000	1550	1055	497	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
2.250	1550	1055	497	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
2.500	1550	1055	497	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
					0	0	0	5	0	0	0	6	0	8		

CPFL																
<i>Em milhões de dólares</i>					<i>Variáveis (Projetos)</i>											
Capex _{PNG}	Investimento Demandado	VPL	Utilidade	Desvio-Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Carteira	
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
500	350	84	80	65	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	
750	700	553	429	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
1.000	700	553	429	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
1.250	1200	971	546	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55	
1.500	1200	971	546	761	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	55	
1.750	1550	1055	584	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
2.000	1550	1055	584	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
2.250	1550	1055	584	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
2.500	1550	1055	584	778	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	155	
					0	0	0	5	0	0	0	6	0	8		

CESP																
<i>Em milhões de dólares</i>					<i>Variáveis (Projetos)</i>											
Capex _{PNG}	Investimento Demandado	VPL	Utilidade	Desvio-Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Carteira	
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
500	350	84	76	65	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	
750	700	553	359	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
1.000	700	553	359	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
1.250	1050	637	393	258	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	41	
1.500	1050	637	393	258	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	41	
1.750	1050	637	393	258	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	41	
2.000	1050	637	393	258	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	41	
2.250	1050	637	393	258	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	41	
2.500	1050	637	393	258	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	41	
					0	0	0	7	0	0	0	0	0	8		

Fonte: Elaborado pelo autor.

gestor.

Por exemplo, visualizando as saídas obtidas do sistema, infere-se que, nesse conjunto de projetos, independentemente da propensão a risco, os projetos D e J demonstram ser os que mais geram valor para a companhia. Os projetos H (mais acentuadamente) e I compõem algumas carteiras ótimas, dependendo da propensão a risco e da limitação no capital, ou seja, também devem estar presentes no radar dos decisores.

Entre as 16 companhias analisadas, a Petrobras é a que apresenta o menor índice de aversão a risco, e a CESP (Companhia Energética do São Paulo) a que possui o maior. Observando a entrada e saída de projetos nas carteiras ótimas, de acordo com o aumento do indicador de

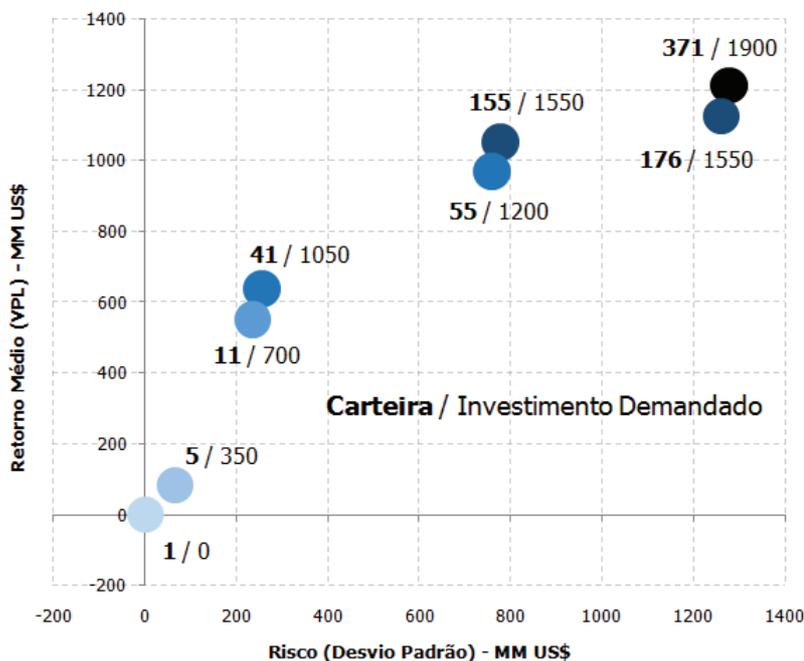
aversão, percebe-se a troca do projeto I pelo projeto D (carteira 155 em detrimento da 176), e em seguida, do projeto H pelo projeto D (carteira 41 em detrimento da 55).

Essa migração ocorre pelo fato de o sistema buscar alternativas com menor risco, uma vez que o peso de uma eventual perda é mais sentido pela organização. A porção do risco que advém do projeto isolado (desvio) é bem menos em D que em I e em H. Como, no aspecto de risco relacional (correlação) com os demais projetos, os três são equivalentes, o risco total de D é menor, o que o favorece na seleção.

Outro fator que favoreceu a seleção desses itens é a identificação de que são os quatro que apresentam valor esperado positivo. A proporção de projetos cujo retorno esperado é negativo, numa empresa de óleo e gás, eventualmente é bem superior aos 60% da amostra, por isso é de se esperar que na otimização com mais elementos esse fator pese menos.

Ao investigar as possibilidades de portfólio em termos de risco e retorno, desconsiderando a restrição de investimentos, pode-se obter pontos de uma fronteira eficiente descontínua, conforme Figura 30.

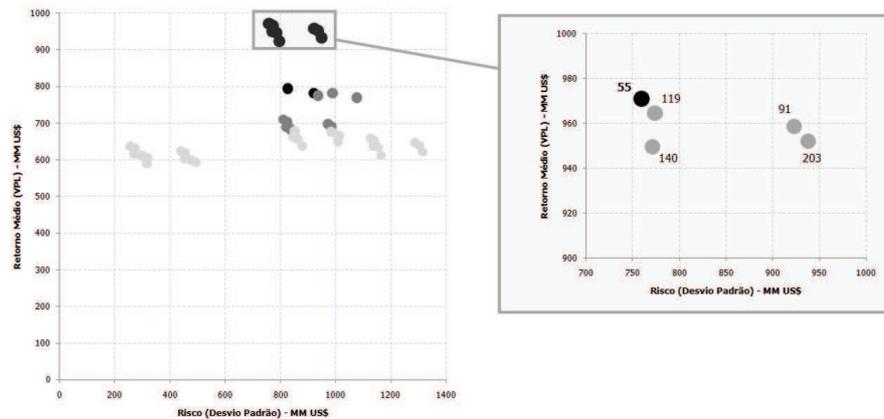
Figura 30 – Fronteira Eficiente da Amostra



Fonte: Elaborado pelo autor.

A eliminação direta de portfólios nesse caso ocorre em virtude de haver, no conjunto de carteiras viáveis, algumas que apresentam maior retorno para um mesmo nível de risco igual ou menor, ou o equivalente, menor risco para retornos iguais ou maiores. A Figura 31 ilustra esse procedimento considerando a limitação de US\$ 1.500 milhões. A carteira 55 nesse caso elimina as carteiras 119, 140, 91 e 203, pois estas apresentam retorno menor e risco maior.

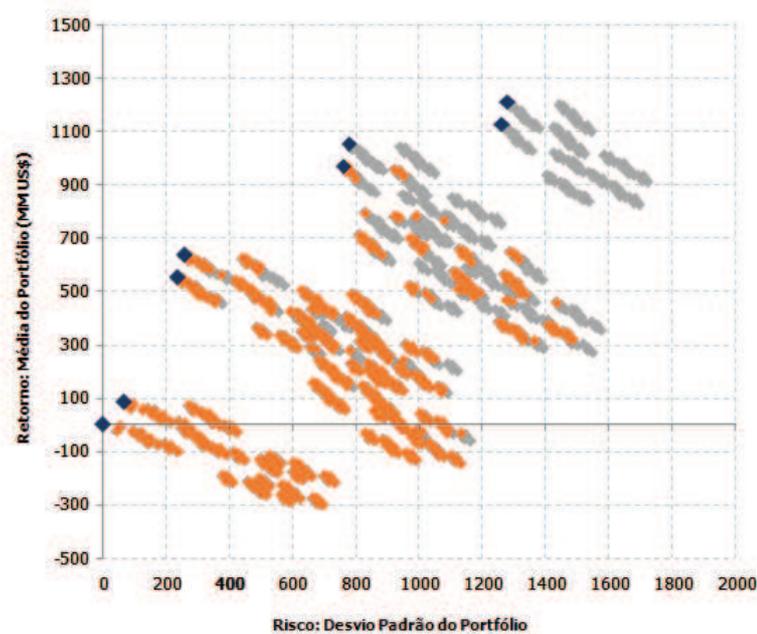
Figura 31 – Eliminação de Carteiras Ineficientes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A enumeração das 1.024 carteiras da amostra pode ser vista nos pontos cinzas da Figura 32, dos quais estão destacadas em laranja as viáveis pelo orçamento de US\$ 1.500 milhões e, em azul, as que compõem a fronteira eficiente. Para viabilizar o manejo de portfólios de tamanho real, pode-se proceder à enumeração após identificados um subconjunto de projetos que se destaca. Pode-se perceber que os pontos se agrupam de acordo com as características de risco e retorno; logo, um gestor propenso ao risco pode, por exemplo, buscar detalhar melhor as possibilidades do conjunto de pontos mais destacado a noroeste no gráfico.

Figura 32 – Enumeração das Carteiras da Amostra



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, também podem ser visualizados quatro blocos distintos de carteiras. Conforme a natureza, a política de investimentos ou o momento financeiro da empresa, os tomadores de

decisão se voltam às opções mais adequadas.

Pode-se notar ainda que nem todas as carteiras obtidas nos resultados do modelo, conforme faixas de investimentos, estão presentes na fronteira eficiente. Notadamente as identificadas pelos números 10 e 54. Estas opções surgem por se situar no extremo dos portfólios possíveis, dada a limitação de *capex*. Ou seja, independente do risco, por ser a carteira com maior retorno, é caracterizada como eficiente.

Embora se perceba um alinhamento entre o conjunto de portfólios eficientes em termos de risco e retorno e as carteiras selecionadas via cálculo da utilidade advinda de suas curvas de distribuição de probabilidade, à medida que o número de possibilidades se amplie, essa similaridade tende a diminuir.

Os resultados obtidos para as 16 empresas, sem restrição alguma de investimentos, podem ser visualizados na Figura 33.

Figura 33 – 10 Melhores Carteiras por Empresa

Ordem	10 Maiores Utilidade (por empresa)															
	Petrobras	Vale	YPF	Ambev	Gerdau	BR Foods	Ultrapar	Braskem	Cemig	Copel	CPFL	Tractebel	Usiminas	Cosan	Pampa	CESP
1	1.166	1.137	1.056	1.043	825	796	790	773	747	661	584	559	556	497	462	393
2	1.160	1.130	1.048	1.035	822	788	782	766	739	653	575	550	546	487	452	392
3	1.148	1.117	1.035	1.023	817	778	773	756	730	645	569	544	540	482	446	387
4	1.145	1.115	1.030	1.017	813	776	767	749	722	637	560	534	531	471	435	381
5	1.141	1.112	1.028	1.015	807	771	766	748	721	636	559	533	530	470	435	380
6	1.141	1.110	1.022	1.009	803	770	764	741	714	628	550	524	521	465	432	375
7	1.139	1.108	1.022	1.007	800	766	758	740	705	620	546	523	520	460	425	374
8	1.134	1.105	1.014	999	799	763	757	731	704	619	543	518	514	455	423	374
9	1.127	1.094	1.009	996	794	756	748	730	698	617	543	517	514	454	422	367
10	1.122	1.091	1.009	996	793	753	747	730	696	610	537	514	510	454	419	365

VPLs Correspondente																
Petrobras	Vale	YPF	Ambev	Gerdau	BR Foods	Ultrapar	Braskem	Cemig	Copel	CPFL	Tractebel	Usiminas	Cosan	Pampa	CESP	
1.212	1.212	1.212	1.212	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055	1.055
1.206	1.206	1.206	1.206	1.212	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.055
1.200	1.191	1.191	1.191	1.049	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	1.034	631
1.191	1.200	1.187	1.187	1.206	1.212	1.212	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	616
1.193	1.187	1.184	1.184	1.034	1.030	1.030	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027	1.027	1.049
1.187	1.184	1.180	1.180	1.191	1.027	1.027	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	971	971	971	1.034
1.184	1.193	1.200	1.200	1.030	1.206	1.024	1.212	1.009	1.009	971	971	971	1.024	637	612	612
1.180	1.180	1.193	1.193	1.027	1.024	1.206	1.009	1.007	1.007	1.009	1.009	1.009	964	1.024	610	610
1.178	1.178	1.165	1.165	1.187	1.191	1.009	1.007	1.212	971	1.007	1.007	1.007	1.009	964	606	606
1.174	1.165	1.164	1.164	1.184	1.009	1.191	1.206	1.002	1.001	964	964	964	1.007	631	971	971

Risco Correspondente																
Petrobras	Vale	YPF	Ambev	Gerdau	BR Foods	Ultrapar	Braskem	Cemig	Copel	CPFL	Tractebel	Usiminas	Cosan	Pampa	CESP	
1.283	1.283	1.283	1.283	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	258	258
1.298	1.298	1.298	1.298	1.283	793	793	793	793	793	793	793	793	793	793	793	778
1.447	1.295	1.295	1.295	793	790	790	790	790	790	790	790	790	790	790	790	276
1.295	1.447	1.311	1.311	1.298	1.283	1.283	809	809	809	809	809	809	809	809	809	272
1.462	1.311	1.311	1.311	790	809	809	807	807	807	807	807	807	807	807	807	793
1.311	1.311	1.326	1.326	1.295	807	807	824	824	824	824	824	824	824	824	761	790
1.311	1.462	1.447	1.447	809	1.298	824	1.283	821	821	761	761	761	824	258	301	301
1.326	1.326	1.462	1.462	807	824	1.298	821	821	821	821	821	821	775	824	295	295
1.459	1.459	1.324	1.324	1.311	1.295	821	821	1.283	761	821	821	821	821	821	775	320
1.475	1.324	1.322	1.322	1.311	821	1.295	1.298	838	836	775	775	775	821	276	761	761

Identificação da Carteira (Ordem da Enumeração)																
Petrobras	Vale	YPF	Ambev	Gerdau	BR Foods	Ultrapar	Braskem	Cemig	Copel	CPFL	Tractebel	Usiminas	Cosan	Pampa	CESP	
371	371	371	371	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	41	41
567	567	567	567	371	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	155	155
497	602	602	602	295	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	105	105
602	497	632	632	567	371	371	369	369	369	369	369	369	369	369	126	126
970	632	879	879	330	369	369	526	526	526	526	526	526	526	526	295	295
632	879	849	849	602	526	526	565	565	565	565	565	565	565	565	330	330
879	970	497	497	369	567	565	371	600	600	55	55	55	565	41	153	153
849	849	970	970	526	565	567	600	360	360	600	600	600	119	565	266	266
935	935	828	828	632	602	600	360	371	55	360	360	360	600	119	293	293
905	828	627	627	879	600	602	567	881	556	119	119	119	360	105	55	55

Ordenação da Carteira em Termos de VPL																
Petrobras	Vale	YPF	Ambev	Gerdau	BR Foods	Ultrapar	Braskem	Cemig	Copel	CPFL	Tractebel	Usiminas	Cosan	Pampa	CESP	
1	1	1	1	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	315	315
2	2	2	2	1	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	54	54
3	5	5	5	57	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	320	320
5	3	6	6	2	1	1	67	67	67	67	67	67	67	67	332	332
4	6	7	7	65	67	67	68	68	68	68	68	68	68	68	57	57
6	7	8	8	5	68	68	70	70	70	70	70	70	70	104	65	65
7	4	3	3	67	2	70	1	80	80	104	104	104	70	315	336	336
8	8	4	4	68	70	2	80	81	81	80	80	80	109	70	338	338
9	9	13	13	6	5	80	81	1	104	81	81	81	80	109	341	341
10	13	14	14	7	80	5	2	83	85	109	109	109	81	320	104	104

Fonte: Elaborado pelo autor.

A principal contribuição deste trabalho reside em evidenciar que as correlações identificadas pelos especialistas, utilizadas na composição da matriz Σ , são relevantes na escolhas da carteira de projetos reais. A Figura 34 elenca as carteiras eficientes do conjunto total mostrando em que ordem elas aparecem na otimização de cada empresa sob duas formas distintas: (a) considerando a correlação apontada entre os projetos; e (b) considerando os projetos independentes.

Figura 34 – Ordenação de Portfólios Eficientes de Acordo com a Correlação

Carteira	VPL	Desvio-Padrão	Capex	Petrobras		Gerdau		Braskem		Cosan		CPFL		CESP	
				(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)		
41	637	258	1.050												1
105	631	276	1200												3
126	616	272	1300												4
155	1055	778	1550			1		1		1		1			2 4
295	1049	793	1700			3		2		2		2			5
330	1034	790	1800				5		3		3		3		
369	1030	809	1750					4		4		4			
371	1212	1283	1900	1	1			1				1			1
497	1200	1447	2000	3	3		4		4						
526	1027	807	1950					5		5		5			
567	1206	1298	2050	2	2		4	2		2		2			2
602	1191	1295	2150	4	5		3		3		3		3		3
632	1187	1311	2100				5		5			4			5
879	1184	1311	2300							5		5			
970	1193	1462	2150	5	4										

(a) Ordenação da carteira de maior utilidade considerando a Matriz de Percepções elaborada pelos especialistas

(b) Ordenação da carteira de maior utilidade considerando correlação nula entre os projetos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que a inserção das correlações no modelo tende a alterar a ordem da avaliação. Notadamente quanto maior a aversão ao risco, maior a sensibilidade do modelo. O único caso em que não houve reordenamento acentuado foi o da Petrobras, pois sua função de utilidade é quase reta, e o acréscimo de informação pouco impacta.

4.3.2 Distribuição do Portfólio

A fim de visualizar a distribuição do valor específico de uma carteira, após aplicada a Decomposição de Cholesky considerando todas as possibilidades, conforme descrito anteriormente, focou-se no portfólio formado pelos projetos D, H, I e J, considerada a carteira ótima no caso da Petrobras. A matriz de percepções somente para esses projetos, bem como as matrizes resultantes de sua decomposição, podem ser vistas na Figura 35.

Essas matrizes permitem transformar as corridas de simulação independentes em corridas cujo comportamento espelha as correlações identificadas pelos especialistas, mantendo as características individuais de média e variância de cada projeto. Assim, a distribuição do portfólio correlacionado pode ser vista na Figura 36.

Fornecer a curva de distribuição dos possíveis valores da carteira mune o gestor de informações mais completas sobre suas opções. No caso citado pode-se perceber, por exemplo,

Figura 35 – Decomposição de Cholesky no Portfólio Escolhido

Projeto	D	H	I	J
D	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,20	1,00	0,50	0,50
I	0,20	0,50	1,00	0,50
J	0,20	0,50	0,50	1,00

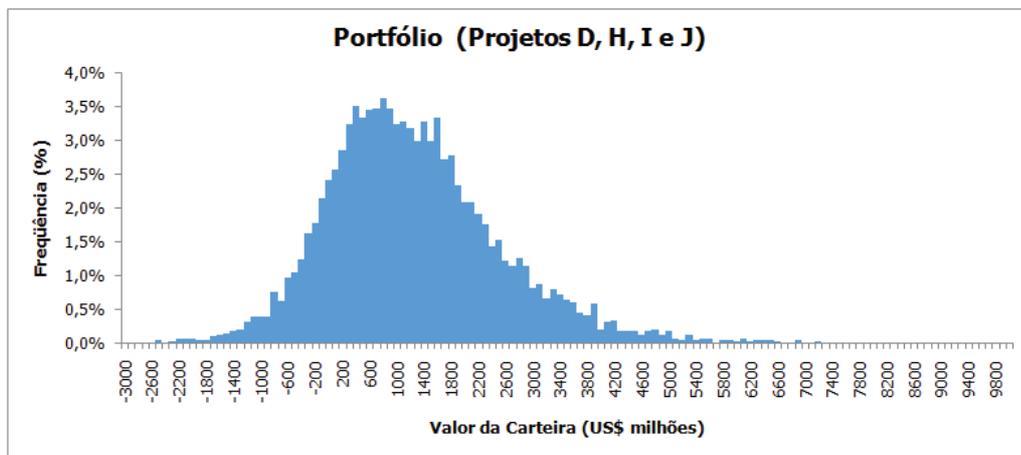
Cholesky	D	H	I	J
D	1,00	0,00	0,00	0,00
H	0,20	0,98	0,00	0,00
I	0,20	0,47	0,86	0,00
J	0,20	0,47	0,28	0,81

Cholesky'	D	H	I	J
D	1,00	0,20	0,20	0,20
H	0,00	0,98	0,47	0,47
I	0,00	0,00	0,86	0,28
J	0,00	0,00	0,00	0,81

Fonte: Elaborado pelo autor.

que a probabilidade de o valor ser negativo é de apenas 12,8%, ou de que as chances de o valor ficar no intervalo entre US\$ 500 milhões e US\$ 2 bilhões é de 46%.

Figura 36 – Distribuição do Portfólio Escolhido

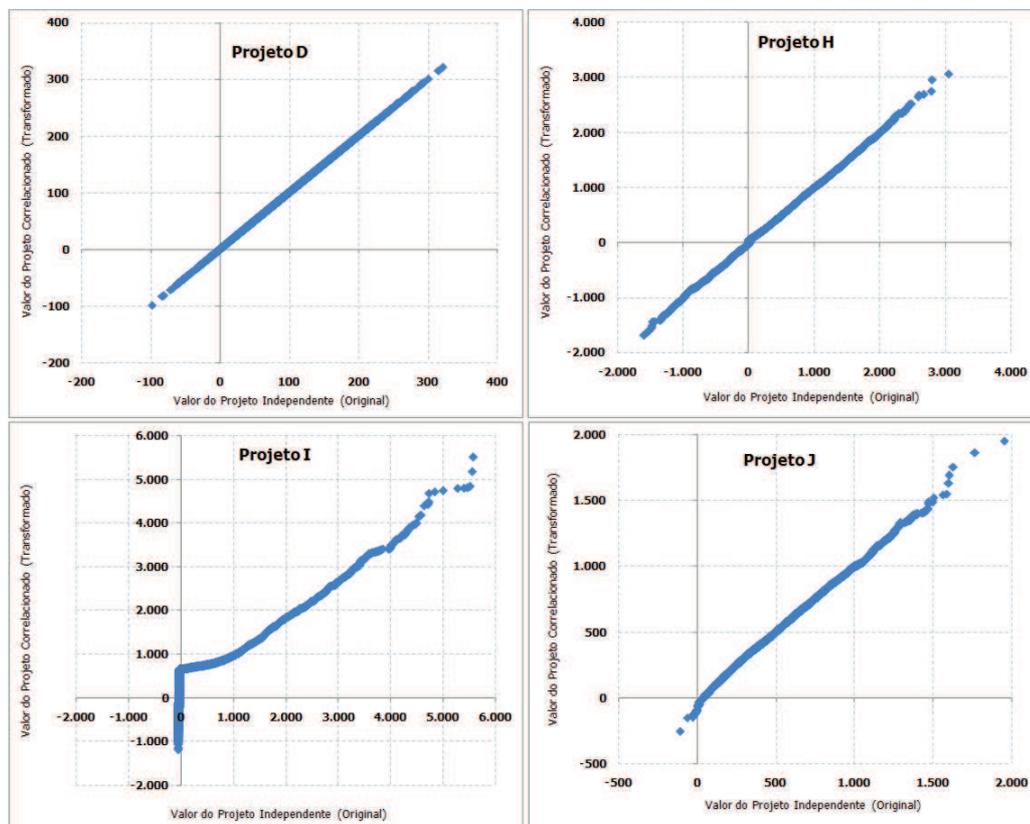


Fonte: Elaborado pelo autor.

Novamente, em termos de consistência, uma das análises a ser levada em conta ao aplicar esta técnica é o monitoramento das distorções que a distribuição individual dos projetos sofre no processo de transformação. A Figura 37 mostra que, no caso utilizado, apenas o projeto I sofre de forma mais acentuada deste problema, apresentando, após a transformação, valores negativos e positivos que as corridas originais apontavam como algo muito próximo de zero. Isso significa que a curva real que caracteriza as possibilidades de resultado do projeto I (e, conseqüentemente, da carteira) tende a ser um pouco mais otimista que a obtida e apresentada ao decisor.

Após aplicar qualquer técnica que transforme as corridas de simulação originais é prudente aplicar essa averiguação, a fim de garantir que a curva apresentada represente minimamente

Figura 37 – Distorções nas Distribuições Individuais dos Projetos



Fonte: Elaborado pelo autor.

bem as reais chances de oscilação do valor do portfólio. No exemplo trabalhado, como a distorção se aplica apenas a uma parte de um projeto, entende-se como razoável o aceite desta imprecisão no resultado final do modelo. Inclusive recomenda-se deixar esse ponto esclarecido ao tomador de decisão, mostrando-lhe o mapeamento das distorções em cada caso.

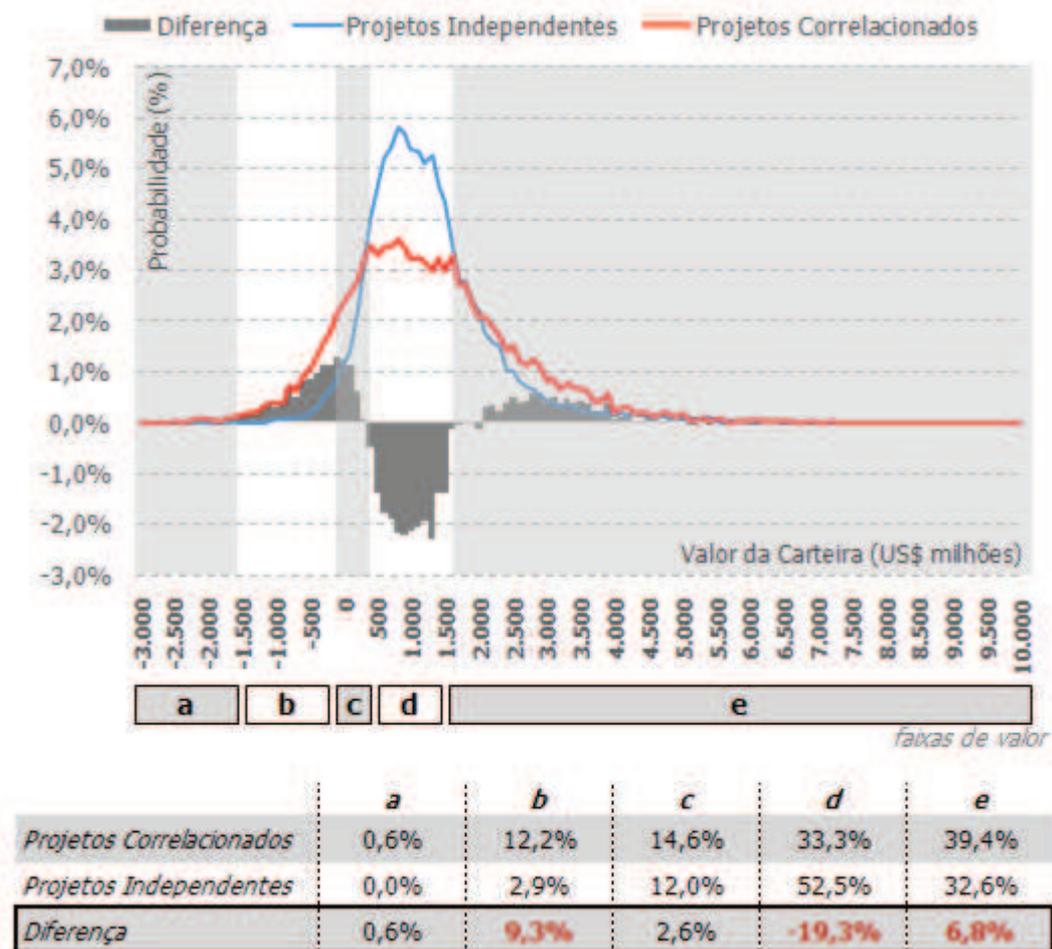
4.3.3 Apreciação do Decisor

Os dados e resultados obtidos na aplicação do modelo proposto sobre a carteira de projetos descrita na amostra foram sistematizados e mostrados a um executivo da Petrobras recentemente aposentado, o qual participava dos Comitês Diretivos responsáveis pela definição do portfólio no plano de negócios da companhia.

Além de explicada a metodologia de análise ao decisor, foi elaborada a Figura 38 a seguir, que evidencia a diferença do resultado esperado da carteira ao se considerar as correlações entre os projetos de investimento.

A linha azul mostra a distribuição do valor esperado da carteira de projetos escolhida considerando que os resultados dos projetos ocorrem de maneira completamente independente. Já a linha vermelha evidencia a distribuição do valor caso sejam consideradas, nessa mesma

Figura 38 – Distribuição do Portfólio Escolhido com e sem Correlação



Fonte: Elaborado pelo autor.

carteira, as correlações apontadas e acordadas entre os especialistas da companhia. Os intervalos destacados ajudam a compreender a diferença que se observa claramente entre as curvas.

- (a) $VPL_{Carteira} < \text{US\$ } -1.500 \text{ milhões}$: em ambas as formas de modelar são baixíssimas as chances de que o valor fique nesse intervalo, não sendo a diferença significativa.
- (b) $\text{US\$ } -1.500 \text{ milhões} \leq VPL_{Carteira} < \text{US\$ } 0$: diferença significativa e importante, pois se refere ao potencial de o portfólio apresentar perdas. Considerar as correlações demonstra que as chances de isso acontecer quadruplicam.
- (c) $\text{US\$ } 0 \leq VPL_{Carteira} < \text{US\$ } 500 \text{ milhões}$: diferença pouco representativa, sendo que as correlações indicam perspectiva otimista no intervalo.
- (d) $\text{US\$ } 500 \text{ milhões} \leq VPL_{Carteira} < \text{US\$ } 1.500 \text{ milhões}$: diferença acentuada entre as duas perspectivas, sendo que considerar os projetos correlacionados reduz bastante as possibilidades de o valor estar nessa faixa.

- (e) $VPL_{Carteira} \geq \text{US\$ 1.500 milhões}$: embora o delta seja relativamente pequeno nesta faixa, aponta para uma melhoria no portfólio, pois suas chances de ter um alto valor aumentam.

De modo geral, o que as correlações entre os projetos fazem é achatar a curva de distribuição construída considerando-os independentes, reduzindo o pico e aumentando o volume nas caudas. Portanto, fica explícito ao tomador de decisão uma medida de risco mais realista na avaliação do portfólio.

O ex-executivo consultado afirmou ser recorrente os comitês solicitarem a análise probabilística do retorno dos projetos no momento de sua aprovação ou continuidade, e que entende ser fundamental explicitar a estes decisores a curva com correlações, para que tenham em conta o risco que estão assumindo ao aprovar um plano de investimentos.

Também levantou pontos quanto à dinâmica de apuração das correlações, reafirmando a confiança no conhecimento do corpo técnico da Petrobras para indicá-las. Nesse sentido, demonstrou preocupação com as políticas de incentivo à demissão, tendo em vista que causam perdas inestimáveis de conhecimento e diversidade organizacional.

Quando questionado sobre a decisão corporativa em concentrar investimentos no desenvolvimento do pré-sal em detrimento de outros setores que poderiam mitigar o risco no portfólio como refinarias, distribuidoras de gás, biocombustíveis, petroquímica, fertilizantes, entre outros, comentou que esse alerta foi apresentado à Diretoria Executiva e ao Conselho de Administração da companhia, mas que o entendimento da maioria dos executivos têm sido de que o acréscimo de retorno compensa o acréscimo de risco na carteira de projetos. Em particular, se mostrou cético quanto a isso.

5 CONCLUSÃO

Após a averiguação dos resultados finais das otimizações é possível afirmar que a proposição de desenvolvimento de uma sistemática consistente de avaliação da carteira de projetos reais, na qual as fontes organizacionais de informação sejam utilizadas, foi atingida. Além disso, ficou evidenciado a possibilidade de adequar a gradação na busca dos parâmetros do modelo conforme o entendimento de custo e benefício da companhia. Em termos práticos, essa flexibilidade intencional tende a fomentar a aplicação do modelo em vários tipos de empresa, casos diversos do exemplo apresentado neste trabalho.

Outro ponto relevante é considerar que a aplicação do modelo proposto contribui para conscientizar os gestores sobre a relevância de alguns parâmetros no valor final, marcadamente das correlações entre os projetos em análise (S) e do apetite a risco do tomador de decisão (a). A sensibilidade dos resultados a estes itens justifica o esforço da construção de um processo diligente de apuração.

A observação das reuniões entre os especialistas, nas quais às diversas manifestações seguiram-se debates e a busca do consenso sobre a aferição das correlações entre os projetos, permitiu visualizar a dinâmica que é possível implementar nas organizações. Neste momento, de conversão das impressões cognitivas dos envolvidos em informação útil ao modelo, é que ocorre a melhora do procedimento tradicional de avaliação do portfólio, e valores organizacionais comuns como diversidade, treinamento, capacidade de comunicação e consenso são convertidos em insumos que, por fim, impactam diretamente o resultado financeiro da empresa.

Ademais, as proposições deste trabalho devem ser percebidas como ato complementar e integrador aos/dos métodos tradicionais de avaliação. Inclusive foi observado que os tomadores de decisão demonstraram conforto ao perceber que a sistemática se fundamenta essencialmente em conceitos já disseminados entre as equipes de portfólio, apenas ajustando-se em alguns pontos em termos de coerência lógica.

Subsidiar os responsáveis pela decisão de portfólio com uma perspectiva de avaliação probabilística contribui para o alinhamento das ações setoriais com a visão estratégica da empresa.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Um dos fatores de limitação da pesquisa foi a natureza da amostra, pois foi possível contar apenas com dados de 10 projetos reais de investimento do segmento de exploração e produção de petróleo e gás natural, fato decorrente do agravamento na política de restrições para divulgação de dados da Petrobras a públicos externos, mesmo que sob a justificativa de utilização acadêmica.

Outro ponto que afetou a pesquisa foi o desempenho financeiro atípico evidenciado nas últimas publicações de balanços e demonstrativos de resultado por parte de algumas das 16 empresas pesquisadas. Sendo tais documentos utilizados como base para apurar o Índice de Aversão a Risco, desvios ocasionais nas rubricas de Lucro Líquido ou Receita de Vendas¹ influenciavam em demasia o cálculo do parâmetro. Nestes casos foi observado o histórico das contas, a fim de obter um número mais razoável.

Além desses itens, um quesito que não interferiu na pesquisa, mas na sua aplicação direta e imediata foi a extinção da área para a qual seria mais relevante na Petrobras: a Diretoria Internacional. Tal ação configurou-se no desdobramento da opção estratégica divulgada recentemente pela empresa tendo em vista a priorização do desenvolvimento do pré-sal brasileiro, o qual demanda grandes volumes de capital. A utilidade advinda da aplicação do modelo é proporcional à diversidade² na natureza dos projetos, em especial no que diz respeito aos ganhos de mitigação de risco. Por entender que o retorno previsto nos projetos do pré-sal justifica o ato, a opção da Petrobras tem sido assumir os riscos da concentração na carteira.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O tema da avaliação econômica de projetos de investimento é amplo e pertinente a todo e qualquer tipo de organização. A contribuição deste trabalho reside em juntar conceitos de maneira estruturada com o objetivo de suportar os gestores na tomada de decisão.

Pesquisas futuras podem complementar este trabalho sobre vários aspectos, sendo o mais direto abordar outros tipos de empresa, diferentes em porte e segmento. Além disso, buscar o acesso a uma gama maior de projetos pode reforçar as observações realizadas, bem como aumentar a segurança da aplicação e confirmar a flexibilidade do modelo.

Especificamente no que tange à apuração do coeficiente de aversão a risco, o estudo em organizações de menor porte pode possibilitar a aferição via *direct assessment* do decisor. Como nesses casos a maior parte das decisões não advém de colegiados, e sim da figura do dono do negócio, essa técnica³ tende a ser mais interessante.

¹ O Patrimônio Líquido, que é uma das contas utilizadas no cálculo do indicador, é bem menos suscetível a oscilações.

² A diversidade de projetos se expressa em segmentos, porte, localização, grau de maturidade, entre outros fatores.

³ Uma das possibilidades é a aplicação de questionários diretamente, com o objetivo de mapear a estrutura de

Por fim o que surge naturalmente como proposta de ampliação do estudo é a expansão do conceito de valor em mais de uma perspectiva. Nesta pesquisa trabalhou-se com a ideia de prever em fluxo financeiro todos as ocorrências do projeto. No entanto, pode-se decompor o valor percebido pela organização em dimensões complementares à financeira como ambiental, social, tecnológica, entre outras que se julgar pertinente. Com esse intuito, alguns desafios precisam ser endereçados como a mensuração peculiar a cada dimensões, a agregação e conversão dos parâmetros medidos em utilidade, o apontamento de especialistas em cada dimensão, entre outros. Neste caso, o custo associado à aplicação do procedimento pode ser bem alto, tendo em vista a quantidade de pessoas envolvidas, o que exige uma análise prévia de viabilidade do procedimento em si.

Referências

- AL-HARTHY, M. H. Utility efficient frontier: An application in the oil and gas industry. *Natural Resources Research*, v. 16, n. 4, p. 305–312, 2007. Citado 7 vezes nas páginas 15, 17, 30, 36, 40, 57 e 69.
- ARISTEGUIETA, O. *Multi-objective portfolio optimisation of upstream petroleum projects*. Tese (Doutorado) — University of Adelaide, Adelaide, Australia, 2008. Citado na página 27.
- ASRILHANT, B.; MEADOWS, M.; DYSON, R. Techniques to support successful strategic project management in the UK upstream oil and gas sector. *European Management Journal*, n. 2-3, p. 214–225, 2006. Citado na página 21.
- BALL, B. C.; SAVAGE, S. L. Holistic vs. hole-istic ep strategies. *Journal of Petroleum Technology*, v. 51, n. 9, p. 74–84, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 34.
- BALL, B. C.; SAVAGE, S. L. *Notes on Exploration and Production Portfolio Optimization*. 1999. <[http://http://web.stanford.edu/~savage/faculty/savage/Notes.PDF](http://web.stanford.edu/~savage/faculty/savage/Notes.PDF)>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 63.
- BECKER, J. L. Teoria axiomática da utilidade. *Colóquio de Matemática - UFRGS - Sociedade Brasileira de Matemática*, 1988. Citado 4 vezes nas páginas 13, 17, 37 e 38.
- BECKER, J. L. *Estatística Básica: transformando dados em informação*. Porto Alegre: Bookman, 2015. Citado na página 49.
- BERNOULLI, D. Specimen theoriae novae de mensura sortis. *Comentarii Academiae Scientiarum Imperiales Petropolitanae*, v. 5, p. 175–192, 1738. Traduzido para o inglês por L. SOMMER em *Econometrica* (1954), 22, 23-36. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.
- BERNSTEIN, P. L. *Against the gods: The remarkable story of risk*. 1st. ed. New York: John Wiley and Sons, 1998. Citado na página 24.
- BRASHEAR, J. P.; BECKER, A.; GABRIEL, S. Interdependencies among exploration and production projects and portfolio management. In: ENGINEERS, S. of P. (Ed.). *Proceedings of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Houston: [s.n.], 1999. p. 447–459. Citado na página 24.
- BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. *Principles of Corporate Finance*. 8th. ed. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- BURNS, R. M.; WALKER, J. Investment techniques among the Fortune 500: a rationale approach. *Managerial Finance*, v. 9, n. 23, p. 3–15, 1997. Citado na página 19.
- CORD, J. A method for allocating funds to investment projects when returns are subject to uncertainty. *Management Science*, v. 10, n. 2, p. 335–341, 1964. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 32.

- COZZOLINO, J. M. Controlling risk in capital budgeting: a practical use of utility theory for measurement and control of petroleum exploration risk. *The Engineering Economist*, v. 25, n. 3, p. 161–186, 1980. Citado 4 vezes nas páginas 38, 40, 42 e 44.
- DAMODARAN, A. *Gestão Estratégica do Risco*. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 37.
- DAMODARAN, A. *Cost of Capital by Sector*. 2016. <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.htm>. Citado na página 65.
- FISHBURN, P. C. Mean-risk analysis with risk associated with below-target returns. *American Economic Review*, v. 2, n. 67, p. 116–126, 1977. Citado na página 27.
- GALENO, R. C. et al. Impacto de diferentes métricas de risco na seleção de portfólios de projetos de produção de petróleo. *Revista Escola de Minas*, v. 3, n. 62, p. 305–313, 2009. Citado 5 vezes nas páginas 13, 25, 36, 40 e 57.
- GITMAN, L. J. *Principles of Managerial Finance*. 10th. ed. Boston: Addison/Wesley, 2003. Citado na página 21.
- GITMAN, L. J.; FORRESTER, J. R. A survey of capital budgeting techniques used by major U.S. firms. *Financial Management*, v. 3, n. 6, p. 66–71, 1977. Citado na página 19.
- GREEN, P. E. Risk attitudes and chemical investment decisions. *Chemical Engineering Progress*, n. 59, p. 35–40, 1963. Citado na página 39.
- GREENWALD, B. C.; STIGLITZ, J. E. Asymmetric information and the new theory of the firm: Financial constraints and risk behavior. *American Economic Review*, v. 2, n. 80, p. 160–165, 1990. Citado na página 39.
- HAMOND III, J. S. Simplifying the choice between uncertain prospects where preference is nonlinear. *Management Science*, v. 20, n. 7, p. 1047–1072, 1974. Citado na página 40.
- HAYASHI, S. H. D.; LIGERO, E. L.; SCHIOZER, D. J. Risk mitigation in petroleum field development by modular implantation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, n. 75, p. 105–113, 2010. Citado na página 16.
- HAZEN, G. B. A new perspective on multiple internal rates of return. *The Engineering Economist*, v. 1, n. 48, p. 31–52, 2003. Citado na página 23.
- HELFAT, C. E. Investment in offshore oil by diversified petroleum companies. *The Journal of Industrial Economics*, v. 1, n. 38, p. 79–93, 1989. Citado na página 24.
- HIGHTOWER, M.; DAVID, A. Portfolio modeling: a technique for sophisticated oil and gas investors. *Society of Petroleum Engineers Papers*, n. 22016, p. 53–64, 1991. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 25.
- HOWARD, R. A. Decision analysis: Practice an promise. *Management Science*, v. 134, p. 679–695, 1988. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 73.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics 2015*. 2015. <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>>. Online; acessado em 14 Fevereiro 2016. Citado na página 14.

- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. 1st. ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993. Citado na página 45.
- KIERULFF, H. MIRR: a better measure. *Business Horizons*, n. 51, p. 321–329, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 23.
- MACCRIMMON, K.; WEHRUNG, D. *Taking Risks: The Management of Uncertainty*. 1th. ed. New York: The Free Press, 1986. Citado na página 39.
- MARKOWITZ, H. Portfolio selection. *The Journal of Finance*, v. 7, p. 77–91, 1952. Citado 3 vezes nas páginas 15, 26 e 29.
- MARKOWITZ, H. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment*. 1st. ed. New York: John Wiley and Sons, 1959. Citado na página 27.
- MCVEAN, J. R. The significance of risk definition on portfolio selection. In: ENGINEERS, S. of P. (Ed.). *Proceedings of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dallas: [s.n.], 2000. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- MICHAUD, R.; MICHAUD, R. Estimation error and portfolio optimization: a resampling solution. *Journal of Investment Management*, v. 6, n. 1, p. 8–28, 2008. Citado na página 20.
- MUTAVDZIC, M.; MAYBEE, B. An extension of portfolio theory in selecting projects to construct a preferred portfolio of petroleum assets. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, n. 133, p. 518–528, 2015. Citado 5 vezes nas páginas 17, 27, 31, 35 e 65.
- NEPOMUCENO, F.; SUSLICK, S. B. Alocação de recursos financeiros em projetos de risco na exploração de petróleo. *Revista de Administração de Empresas - RAE - FGV*, v. 40, n. 1, p. 63–76, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 45.
- PORUBAN, S. Panel: Risk-based decision analysis evolving into key tools of exploration and production sector. *The Oil and Gas Journal*, v. 98, n. 43, p. 64–68, 2000. Citado na página 15.
- PRATT, J. W. Risk aversion in the small and in the large. *Journal of Econometric Society*, v. 32, p. 122–136, 1964. Citado na página 39.
- RAMSEY, F. *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays*. 1th. ed. London: Routledge and Kegan Paul Ltd., 1931. Citado na página 38.
- REILLY, F.; BROWN, K. *Investment Analysis and Portfolio Management*. 4th. ed. Florida: Harcourt College Publishers, 2000. Citado na página 29.
- ROLL, R. What every CFO should know about progress in financial economics: What is known and what remains to be resolved. *Financial Management*, v. 23, n. 2, p. 69–75, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- ROSS, J. G. Risk and uncertainty in portfolio characterisation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, n. 44, p. 41–53, 2004. Citado 5 vezes nas páginas 16, 17, 20, 24 e 32.
- RYAN, P. A.; RYAN, G. P. Investment practice of the Fortune 1000: How have things changed? *Journal of Business and Management*, v. 4, n. 8, p. 355–364, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 23.

- SIMPSON, G. S. et al. The application of probabilistic and qualitative methods to asset management decision making. *Society of Petroleum Engineers Papers*, n. 59455, p. 1–1, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- SPETZLER, C. The development of a corporate risk policy for capital investment decisions. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC-4*, v. 4, n. 3, p. 279–300, 1968. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 39.
- SWALM, R. O. Utility theory-insights into risk taking. *Harvard Business Review*, n. 44, p. 123–136, 1966. Citado na página 39.
- VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. *Theory of Games and Economic Behavior*. 1th. ed. Princeton: Princeton University Press, 1944. Citado na página 38.
- WALLS, M. R. Corporate risk tolerance and capital allocation: a practical approach to implementing an exploration risk policy. *Journal of Petroleum Technology*, v. 47, n. 4, p. 307–311, 1995. Citado na página 40.
- WALLS, M. R. Combining decision analysis and portfolio management to improve project selection in the exploration and production firm. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, n. 44, p. 55–65, 2004. Citado 8 vezes nas páginas 14, 15, 16, 27, 32, 34, 38 e 40.
- WALLS, M. R.; DYER, J. S. Risk propensity and firm performance: a study of the petroleum exploration industry. *Management Science*, v. 42, n. 7, p. 1004–1021, 1996. Citado 3 vezes nas páginas 17, 39 e 45.
- WEBER, T. A. On the (non-)equivalence of IRR and NPV. *Journal of Mathematical Economics*, n. 52, p. 25–39, 2014. Citado na página 23.

A ROTEIRO DA REUNIÃO COM ESPECIALISTAS

Prezados, inicialmente agradeço a disponibilidade de todos por participar deste trabalho. A ideia é discutirmos neste grupo uma das etapas fundamentais do processo de avaliação da carteira de projetos da companhia, tema de minha dissertação. Como podem perceber, o grupo é bastante diverso, pois abrange todos os setores que de alguma forma participam das decisões acerca de investimentos em nossa atual governança. Esta amplitude na escolha da composição foi de fato proposital e reside na crença de que a diversidade de perspectivas, embora demande processos negociais mais complexos, adiciona muito valor ao resultado final dos parâmetros.

O trabalho lida com vários conceitos, como métricas de projetos, simulação de Monte Carlo, Teoria da Utilidade e Teoria Moderna de Portfólio. Esta última, que creio ser de conhecimento de todos aqui, possui extensa aplicação na montagem de carteiras compostas por ativos financeiros. Um de seus parâmetros básicos é expresso em termos de matriz de correlação, quadrada, $n \times n$ ativos, a fim de que não se trate do risco do portfólio de maneira apenas individual, mas também sejam consideradas as parcelas relacionais destes. Lembrando que o conceito de correlação ignora a proporção da variável, utilizando uma escala que vai em módulo de 0 a 1, para determinar a força com que os movimentos são compartilhados entre dois itens. Em tendências opostas se imputa o sinal negativo para expressar. Alguma dúvida ou consideração com relação aos conceitos mencionados?

No caso financeiro, há algumas técnicas que permitem inferir as correlações via análise de dados históricos. Contudo, como estamos lidando com projetos reais, não dispomos de uma base de dados, mesmo porque a própria reprodutibilidade do projeto pode ser contestada. Por isso, o que faremos é reunir as percepções dos senhores, especialistas em temas que impactam o valor dos projetos desta empresa, e consensuar uma matriz de correlações entre 10 oportunidades de investimento presentes em nossa carteira. Cabe advertir que há algumas limitações de cunho algébrico sobre esta matriz, ou seja, além de acordar os termos, vamos verificar se é possível inserir cada novo parâmetro através de uma análise de consistência que farei simultaneamente. Além disso, não estamos aqui preocupados com a precisão do dado, até porque as minúcias pouco impactariam o processo. Por isso nos limitaremos a identificar a correlação como positiva ou negativa, em termos de sentido, e fraca, média ou forte, em termos de força.

Eu trouxe algumas planilhas de avaliação econômica de projetos para que possamos alterar algumas variáveis e observar o nível de sensibilidade do valor do projeto a elas. Isso nos fornecerá subsídio para identificar quais as que "amarram mais" a tendência de valor. Após essas

considerações, sugiro que comecemos o processo pelos pares de projetos cuja força nos pareça mais intensa, pois estas uma vez apontadas limitam significativamente as demais relações.