

# 1 Introdução

Desde o início dos anos 90, a indústria de eletricidade em muitos países vem passando por um processo de reestruturação com ênfase na introdução da competição em seus segmentos, atraindo capital privado e, com isso, buscando uma maior eficiência para o consumidor final [18][54]. Seguindo a onda de liberalização do mercado de energia, diversos autores têm publicado trabalhos relacionados à análise de investimentos [3][45][46][53], principalmente para o setor de geração – atividade competitiva, ao contrário da transmissão e distribuição, que se caracterizam como monopólios naturais. Esta dissertação está inserida no contexto desse novo modelo, tendo como objetivo propor uma metodologia de avaliação de investimentos sob incerteza, precificação de riscos e seleção de carteiras de projetos de geração.

Este capítulo introdutório está dividido em duas partes. A primeira – Panorama do Setor de Energia Elétrica Brasileiro – apresenta as principais características do setor de energia, do mercado de curto prazo e da contratação de longo prazo. A segunda parte – Seleção de Projetos de Investimento em Geração de Energia Elétrica – resume os tópicos relacionados ao gerenciamento e precificação de riscos, além dos critérios de eficiência e seleção de carteiras, que serão discutidos em detalhes nos próximos capítulos.

## 1.1. Panorama do Setor de Energia Elétrica Brasileiro

O processo de desverticalização das atividades de geração, transmissão e distribuição e o novo marco regulatório instituíram um novo modelo para o setor elétrico brasileiro. A desverticalização proporciona transparência na gestão das atividades, permitindo ao mercado o pleno conhecimento dos resultados da concessão, pela identificação da “base de remuneração” de cada atividade. Além disso, evita distorções na captação e utilização dos recursos, o que pode ocorrer em uma estrutura verticalizada. Um dos componentes básicos do processo de

reestruturação é o mercado de curto prazo, ou mercado *spot*, onde ocorrem todas as transações “a vista” de compra e venda de energia elétrica no atacado. O preço *spot* de energia, resultante do equilíbrio entre a oferta e a demanda de eletricidade é o mais importante subproduto desse mercado, pois fornece o valor (preço) da energia de curto prazo. Outro importante componente é a contratação de longo prazo, que permite a expansão do parque gerador, mitigando os riscos do mercado de curto prazo.

### 1.1.1.

#### **O Novo Modelo Institucional**

O novo modelo do setor elétrico brasileiro tem três objetivos principais [37]: (i) garantir a segurança de suprimento, (ii) promover a modicidade tarifária e (iii) promover a universalização da energia.

Para garantir a segurança de suprimento, o modelo prevê um conjunto integrado de medidas, destacando-se a exigência de contratação da totalidade da demanda [9], além do cálculo dos lastros (garantia física) de geração, de acordo com um critério de segurança de 95%, ou seja, com um risco máximo de 5% de ocorrer deficit de suprimento de energia [33].

As principais ações para promover a modicidade tarifária estão vinculadas à contratação de energia sempre por meio de leilões, na modalidade de menor tarifa. Além disso, a contratação é conjunta entre as distribuidoras (*pool*), visando obter economia de escala e diluição de riscos.

A contratação de energia pode se dar no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL). O ACR compreende a contratação de energia para os consumidores regulados (vinculados às distribuidoras), enquanto o ACL compreende os consumidores livres (grandes consumidores que optam por comprar energia através de contratos livremente negociados).

Os agentes institucionais do setor elétrico e as suas principais funções podem ser sumarizados, de acordo com a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Agentes Institucionais e suas Principais Funções

Agente Institucional	Principais Funções
Conselho Nacional de Política Energética - CNPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposição da política energética nacional;</li> <li>- Proposição da licitação de projetos estruturantes;</li> <li>- Proposição do critério de garantia estrutural de suprimento.</li> </ul>
Ministério de Minas e Energia - MME	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulação e implementação de políticas (diretrizes do CNPE);</li> <li>- Planejamento Setorial (através da EPE);</li> <li>- Monitoramento da segurança de suprimento (através do CMSE);</li> <li>- Definição de ações preventivas para segurança de suprimento.</li> </ul>
Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mediação, regulação e fiscalização do Setor Elétrico;</li> <li>- Realização de leilões de geração e transmissão.</li> </ul>
Empresa de Pesquisa Energética - EPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Execução de estudos para definição da matriz energética;</li> <li>- Estudos de integração dos recursos energéticos;</li> <li>- Estudos de inventário das bacias hidrográficas;</li> <li>- Estudos de viabilidade técnico-econômica e ambiental de usinas.</li> </ul>
Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Administrar a contratação de compra e venda de energia;</li> <li>- Executar os leilões de energia (autorizados pela ANEEL);</li> <li>- Efetuar a contabilização e liquidação das diferenças entre o montante gerado e contratado, no ACR e no ACL.</li> </ul>
Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar a qualidade e continuidade de suprimento num horizonte de cinco anos;</li> <li>- Propor medidas para restaurar a segurança de suprimento.</li> </ul>
Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordenar e controlar a operação do sistema interligado, visando a otimização energética ao menor custo operacional;</li> </ul>

### 1.1.2.

#### **Mercado de Curto Prazo e os Sinais para a Expansão da Oferta**

Com a criação do mercado *spot*, os sinais para a necessidade de novos investimentos para a expansão da oferta de energia seriam baseados no preço *spot*: um aumento na demanda de energia ao longo do tempo resultaria num aumento no preço *spot* de energia, que motivaria a entrada de novos investidores e projetos. Com isso, o equilíbrio do mercado elétrico seria restaurado.

Embora com detalhes de implementação diferentes, muitos países, incluindo o Brasil, reformaram seus setores elétricos baseados nesse princípio durante a

década de 90. Embora algumas experiências positivas tenham sido reportadas [18][49], verificou-se que a utilização “pura” da remuneração *spot* para garantir a expansão da oferta pode ser muito arriscada. A razão é que o sinal econômico fornecido pelo preço *spot* pode ser bastante volátil para induzir corretamente a entrada de nova capacidade. Isso é especialmente verdadeiro em sistemas com forte participação hidrelétrica, como o Brasil, onde a ocorrência de condições hidrológicas favoráveis pode baixar temporariamente os preços *spot* ainda que existam problemas estruturais na oferta. Também foi observado que em sistemas hídricos os preços *spot* aumentam substancialmente na iminência de crises de suprimento, quando não há mais tempo para novos investimentos. Com isso, o “ruído” hidrológico não permite que o preço *spot* forneça os sinais econômicos adequados para indicar a necessidade da expansão da oferta. Adicionalmente, observa-se que a remuneração no mercado de curto prazo é extremamente volátil, resultando em um fluxo de caixa muito variável para o projeto, dificultando a obtenção de financiamentos corporativos ou a estruturação do *project finance*.

### 1.1.3.

#### **Contratos de Longo Prazo e os Leilões de Energia Nova**

Para estimular a entrada de novos investimentos, o modelo setorial contempla a possibilidade de contratação de longo prazo. Os contratos de compra e venda de energia são instrumentos financeiros que asseguram uma renda mais estável ao empreendedor, diminuindo a exposição do projeto em relação à volatilidade dos preços *spot*. Para assegurar a segurança de suprimento, o novo marco regulatório estabelece que toda a demanda deve estar 100% contratada. O racional reside no fato de que os contratos, apesar de serem instrumentos financeiros, devem ser respaldados por capacidade de geração física (lastro contratual). Se a demanda está 100% contratada, isso significa que há capacidade física suficiente para atendê-la com uma determinada confiabilidade [28].

Visando uma contratação eficiente de energia, o modelo setorial também determina que as distribuidoras devem contratar sua energia através de leilões na modalidade de menor tarifa. Os Leilões de Energia Nova são os que permitem a contratação de longo prazo da energia de futuros empreendimentos de geração.

## **1.2. Seleção de Projetos de Investimento em Geração de Energia Elétrica**

A seleção de carteiras deve buscar o melhor *mix* de empreendimentos, dadas as características de risco e retorno de cada tecnologia de geração e deve levar em consideração a correlação entre os retornos dos projetos candidatos. O processo de seleção de novos empreendimentos de geração começa com a simulação operativa das usinas, considerando os riscos, características técnicas e custos de cada tecnologia. Os resultados da simulação são as distribuições de retorno dos projetos, que permitem determinar o conjunto eficiente das alternativas de investimento e são a base para a aplicação dos modelos de seleção de carteiras.

### **1.2.1. Riscos em Projetos de Geração**

Como visto em Soares et al. [50], o gerenciamento e a precificação de riscos são de suma importância para o cálculo do real valor da energia dos novos empreendimentos de geração. O mapeamento e a modelagem dos fatores de risco são os componentes mais importantes no processo de avaliação de investimentos sob incerteza. A análise das incertezas intrínsecas à tecnologia de geração e os impactos de cada um desses riscos no fluxo de caixa exige um grande conhecimento do projeto e do setor elétrico.

Apesar de cada tecnologia de geração conter seus próprios riscos e incertezas, alguns fatores podem ser assinalados na maioria dos projetos, mesmo que em diferentes graus. Nesta dissertação serão estudados os riscos de investimento, de atraso na entrada em operação comercial, de performance (indisponibilidade, regulatório, falta de combustível, etc.) e de preços (risco hidrológico). Contudo, a consideração de cada dos fatores de risco é uma decisão exclusiva do agente, que depende do seu nível de informação.

### **1.2.2. Avaliação sob Incerteza e Precificação de Riscos**

Seguindo a abordagem probabilística utilizada em Roques et al. [45][46], Awerbuch [2] e Awerbuch et al. [3], a metodologia proposta nesta dissertação utiliza a distribuição de probabilidade (ex-ante) dos retornos, através da simulação

operativa do empreendimento em diversos cenários, para precificar os riscos e calcular o preço de cada tecnologia de geração. A simulação operativa permite construir um fluxo de caixa para cada cenário (sorteio de cada uma das variáveis aleatórias) e como resultado é possível caracterizar a distribuição de retornos (ex-ante) do empreendimento.

A precificação de riscos utiliza o conceito do *Value at Risk* [19], que indica o menor retorno que o investidor avesso a risco está disposto a aceitar, com um determinado nível de confiança. O sobre-preço de risco, ou *hedge*, pode ser obtido pela diferença entre o preço necessário para obter o retorno *target*, com o nível de VaR especificado (investidor avesso a risco) e o preço para o investidor neutro a risco, cujo retorno esperado é igual ao *target*. Dessa forma, é possível analisar a sensibilidade do retorno de cada tecnologia em relação aos fatores de risco mapeados e o impacto de cada um desses fatores na competitividade (preço) do empreendimento.

### **1.2.3. Conjunto Eficiente das Alternativas de Investimento**

A alocação ótima de capital deve ser feita em cima do conjunto eficiente das alternativas de investimento [21]. A partir do conjunto de todos os projetos candidatos e suas distribuições de retorno, é possível excluir as alternativas indesejadas, ou ineficientes, de acordo com um critério de eficiência. O critério de eficiência permite dividir o conjunto das alternativas de investimento em duas classes: o conjunto eficiente e o conjunto ineficiente. A forma pela qual um determinado critério de eficiência pode reduzir o tamanho do conjunto eficiente depende da quantidade de informações a respeito da classe de investidores analisados, ou seja, do formato da sua função utilidade.

Nesta dissertação, serão utilizados dois critérios para a construção do conjunto eficiente: o primeiro (Dominância Estocástica de Primeira Ordem - DEP), mais geral, assume apenas que a função utilidade dos investidores é não decrescente, isto é, assume que para os investidores, quanto mais dinheiro, melhor. Nenhuma restrição em relação ao risco é imposta. O segundo (Dominância Estocástica de Segunda Ordem - DES), assume uma função de utilidade côncava, ou seja, considera que os investidores são avessos a risco [21].

#### **1.2.4. Seleção da Carteira de Projetos**

Desde o trabalho pioneiro de Markowitz [24][25], diversos autores [15][16][47][48][38][55] vêm adaptando e criando novos modelos de seleção de portfólio para ganhar maior eficiência na seleção de ativos com retornos assimétricos e com elevada curtose (caldas pesadas). Particularmente, os empreendimentos de geração de energia apresentam retornos com essas características, devido ao perfil do preço *spot* e dos riscos de conclusão do projeto, riscos operacionais, regulatórios e ambientais, que implicam, geralmente, em elevados custos e penalidades, mas têm reduzida probabilidade de ocorrência.

Os três modelos de seleção de carteiras utilizados na dissertação – Média Variância, Minimax e *Conditional Value at Risk* – são aplicados como em Puelz [39], incorporando o critério do *Value at Risk* no conjunto de restrições. O ponto em comum entre os diferentes modelos, é que todos procuram resolver o problema de alocação ótima de capital com base em dois indicadores de desempenho: risco e retorno. A estrutura básica dos modelos consiste em um processo de maximização/minimização de retorno/risco sujeito às restrições de risco/retorno.

#### **1.3. Objetivo da Dissertação**

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma metodologia para a avaliação econômico-financeira de novos empreendimentos de geração de energia elétrica, precificação de riscos e seleção de carteiras de projetos, utilizando o critério do *Value at Risk*, que permite especificar a máxima perda admitida pelo investidor, com um determinado nível de confiança. As distribuições de retorno dos projetos serão determinadas ex-ante, em função do mapeamento e modelagem de diversos fatores de risco, através de simulação de Monte Carlo. A metodologia permite comparar a competitividade de diferentes tecnologias de geração, tais como usinas a gás natural, carvão mineral, biomassa a bagaço de cana de açúcar, hidrelétricas, entre outras. O processo de seleção da carteira ótima será baseado

em diferentes métodos de seleção de *portfolio*, buscando o melhor modelo para o perfil de retornos dos projetos e para as preferências do investidor.

#### 1.4.

#### **Organização da Dissertação**

Este trabalho está organizado nos seguintes capítulos:

O Capítulo 2 discute a metodologia de cálculo do despacho hidrotérmico em sistemas centralizados, como o sistema brasileiro, a formação do preço no mercado de curto prazo e a volatilidade da receita dos geradores no mercado *spot*.

O Capítulo 3 discute a importância dos contratos de energia como mecanismos que asseguram a estabilidade do fluxo de caixa dos geradores, proporcionando atratividade para novos empreendimentos. Serão apresentadas as duas modalidades de contratação de energia: quantidade e disponibilidade.

O Capítulo 4 ilustra a utilização dos leilões de energia nova como mecanismos para garantir a expansão da oferta. Serão discutidas as diferenças entre os leilões de contratos de quantidade, ou contratação a termo, e de disponibilidade, ou contratação de opção.

No Capítulo 5 é apresentada a cadeia de modelos utilizados para executar cada etapa do processo de avaliação e seleção dos projetos de investimento.

No Capítulo 6 serão analisados os principais fatores de risco de cada tecnologia de geração e será apresentada uma metodologia para precificação desses riscos, utilizando o critério do *Value at Risk*.

O Capítulo 7 apresenta os critérios de eficiência e os três modelos para seleção de carteiras utilizados na dissertação.

No Capítulo 8, a metodologia proposta é aplicada em um problema ilustrativo de seleção de *portfolio*, com diferentes tecnologias de geração de energia (alternativas de investimento).

O Capítulo 9 apresenta as principais conclusões do trabalho e sugestões para pesquisas posteriores.