

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O cenário atual globalizado de relevantes questões ambientais que estimulam o uso de novas tecnologias eficientes torna o tema Eficiência Energética, no Brasil e no mundo, uma medida obrigatória a ser adotada. Estudos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE como parte do Plano Nacional de Energia – PNE 2030 estimam que no período 1970-2004 o Brasil conservou cerca de 40 TWh em energia elétrica. Mas, ainda há um potencial enorme de eficiência energética a ser desenvolvido em diversas áreas produtivas nacionais. A Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE projeta que, por meio de iniciativas de eficiência energética, possa ser evitado em 2020 o consumo de energia equivalente a 415 mil barris de petróleo por dia, ou referente à geração de uma usina hidrelétrica com capacidade de 8.200 MW. O Ministério de Minas e Energia (MME) publicou, no dia 19 de outubro de 2011, Portaria nº 594 que aprova o “Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf – Premissas e Diretrizes Básicas” [1] com a meta de uma redução da demanda de aproximadamente 106 TWh até o ano de 2030. O documento orienta as ações a serem implementadas no sentido de se atingir metas de economia de energia no contexto do Planejamento Energético Nacional, incluindo mecanismos como o Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD).

Conforme analisa Garcia (2009) [2], muitos empreendedores não acreditam na eficiência energética no Brasil como uma opção de investimento por considerarem uma atividade de alto risco. Os Projetos de Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da Demanda (GLD), bem como todo projeto de engenharia, requerem decisões de investimentos que possuem incertezas econômicas e técnicas associadas. As incertezas econômicas devem-se a fatores exógenos ao projeto, sendo em geral representadas por oscilações estocásticas dos custos da energia elétrica. As incertezas técnicas estão associadas a fatores internos, como o desempenho dos projetos em função da tecnologia eficiente escolhida, da sua operação e manutenção.

A ideia de se vender energia economizada não é tão simples como a de se vender energia gerada, uma vez que exige a quebra de paradigmas onde os riscos são grandes e de variados tipos. As Distribuidoras de Energia Elétrica (através do Programa de Eficiência Energética ANEEL) [3] e as empresas prestadoras de serviços em energia (ESCO) dependem, respectivamente, do alcance de relações custos vs. benefícios favoráveis e do estabelecimento de contratos de desempenho, cujos resultados estão associados essencialmente à apuração da economia obtida [4] e, necessariamente, tem relação com um plano de medição e verificação (M&V) [5] adequado, onde os resultados apresentam confiabilidade e rigor compatíveis com menor custo possível. O estabelecimento do melhor projeto para um dado investimento que garanta os níveis esperados de economia, nem sempre é uma tarefa trivial dependendo da amplitude do projeto, dos usos finais a serem avaliados e das incertezas técnicas e econômicas inerentes.

Estudos recentes na Europa e Estados Unidos buscam modelar as incertezas, avaliando a flexibilidade gerencial e o gerenciamento do risco em Projetos de Eficiência Energética. A seguir são descritos alguns destes principais estudos.

Evan Mills et al. (2006) [6] apresentaram pela primeira vez o caso para a análise de risco financeiro em eficiência energética no sector dos edifícios. Foram descritas as técnicas e exemplos de como identificar, quantificar e gerenciar riscos para a eficiência energética. Muitos investimentos relacionados à eficiência energia são feitos sem uma compreensão clara de seus valores financeiros para investimento, riscos e volatilidades. Diante dessas incertezas, os potenciais investidores muitas vezes optam por implementar apenas algumas ações mais tradicionalmente rentáveis (p.ex.: em iluminação), portanto, limitado medidas de eficiência energética que poderiam ser mais amplas em usos finais. Por outro lado, os investidores em commodities muitas vezes ignoram os investimentos em eficiência energética, porque o risco e a informação da volatilidade não são fornecidos. Com uma estrutura de gestão de risco, os dois grupos decisores especialista (de investidores em eficiência energética e de investidores em commodities), podem trocar as informações que precisam para expandir o investimento em projetos de energia pelo lado da demanda (GLD).

Abadi & Chamorro (2009) [7] avaliaram investimentos em Projetos de Eficiência Energética em geração de energia (termoelétrica) como uma Opção Real

que só é exercida no momento ideal, considerando que o investimento é irreversível. O retorno deste investimento é altamente incerto em razão dos preços da energia e dos preços das licenças ambientais de emissão de carbono (incertezas econômicas). O modelo teórico é composto por dois processos estocásticos: (i) para representar o preço do licenciamento ambiental de emissão de carbono foi utilizado o Movimento Geométrico Browniano padrão (MGB) e; (ii) para representar o preço do gás natural foi adotado o Modelo de Reversão à Média (MRM) em que o nível de equilíbrio de longo prazo cresce deterministicamente ao longo do tempo. Abadi & Chamorro concluíram que projetos de investimento em eficiência energética podem, em geral, ser avaliados como opções de estilo americano. Conseqüentemente, a exigência de um Valor Presente Líquido (VPL) apenas maior que zero não é suficiente para caracterizar o investimento imediato como ótimo, pois se concluiu que há valor da opção de espera.

Kihm & Cowan (2009) [8] estudaram o comportamento de indústrias americanas, que tipicamente requerem curtos tempos de retorno de investimentos (payback) em Projetos de Eficiência Energética. Neste estudo foi utilizado o modelo Monte Carlo para simulação do preço do gás (incerteza econômica) e do custo dos equipamentos (incerteza técnica). Através da aplicação da Teoria de Opções Reais foi demonstrado que, para alguns Projetos de Eficiência Energética aplicados à indústria, a espera é valiosa, mesmo que o Valor Presente Líquido (VPL) seja positivo.

Abadie et al. (2012) [9] analisaram as decisões de investimento sobre eficiência energética (EE) de pequenas e médias empresas industriais nos EUA, que receberam a avaliação do Departamento de Energia (DoE). Os resultados confirmam a importância do tempo de retorno (payback) dos custos de investimento como um dos principais fatores que determinam a decisão de investir em eficiência energética. Foi identificado que várias recomendações de investimento frequentemente não são implementadas, mesmo que aparentemente envolvem grandes benefícios de economia de energia. Algumas das principais conclusões extraídas a partir dos modelos utilizados neste estudo (tempo e retorno e relação custo / benefício) foram: (i) as alterações no tempo de retorno (payback) têm uma influência não linear nas decisões de investimento, por isso a tendência é diferente para cada projeto, dependendo dos tempos envolvidos; (ii) a probabilidade de que

seja feito um investimento diminui com o aumento do tempo de retorno, enquanto a sensibilidade a este fator (payback) aumenta significativamente; (iii) o custo de investimento tem mais influência sobre as decisões de investimento do que os potenciais benefícios com as economias de energia (EE) e reduções de demanda (RD).

Hunt Allcott & Michael Greenstone (2012) [10] apresentaram uma visão geral de um modelo simples de investimento em conservação de energia considerando dois tipos de falhas de mercado: (i) as externalidades que influenciam no consumo de energia não corretamente internalizadas no modelo e; (ii) a informação imperfeita que não propicia aos consumidores e às empresas explorarem soluções rentáveis de investimentos em eficiência energética. Por exemplo, os gerentes de fábrica podem não saber sobre um novo tipo de máquina que poderia reduzir seus custos de energia. O modelo esclarece que somente quando o segundo tipo de falha de mercado não pode ser resolvido diretamente por meio de prestação de informações, subsídios governamentais e regulatórios em eficiência energética podem ser necessários. Allcott e Greenstone concluíram que a informação imperfeita é a forma mais importante de ineficiência no investimento que podem causar deficiências (gaps) na avaliação dos potenciais de economia de energia (EE) e redução de demanda (RD) em Projetos de Eficiência Energética.

Abadie et al. (2013) [11] analisaram qual o momento ideal (gatilho) para investir em um Projeto de Eficiência Energética em uma instalação já existente que consome enormes quantidades de combustível fóssil (carvão) e opera sob restrições de emissão de carbono. A partir da abordagem de Opções Reais e aplicando simulação Monte Carlo, o modelo é composto por três fontes de incerteza diferentes (processos estocásticos) que permitem a aplicação de uma ampla variedade de configurações. Foi calculado o gatilho abaixo do qual o investimento imediato seria ótimo. No modelo existem três fontes de incerteza: a dinâmica de longo prazo da commodity (Carvão), o preço de licenças de ambientais de emissão de carbono, e o custo de investimento (por unidade de combustível economizado). Os resultados mostraram que, com o aumento dos custos de investimento, o exercício da opção requer longos períodos de vida útil dos equipamentos eficientes.

Diferentemente dos mercados de países europeus e norte-americano onde a energia elétrica é uma *commodity* negociada, com transparência, em bolsas, tendo

seu preço ditado pelo mercado, no Brasil o preço da energia é formado a partir dos dados usados pelo Operador Nacional do Sistema - ONS para otimizar a operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) e do cálculo do Custo Marginal de Operação (CMO). Assim, a tomada de decisão frente aos riscos estabelecidos pelos cenários de incertezas técnicas associados ao comportamento da energia elétrica de curto prazo, tornam a análise e o diagnóstico dos Projetos de Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da Demanda no Brasil um grande desafio para projetistas e investidores. Propiciar uma metodologia para a tomada de decisão de potenciais investidores em Projetos de Eficiência Energética no Brasil considerando as especificidades e as incertezas técnicas e econômicas presentes no mercado brasileiro é o desafio deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

O modelo de fluxo de caixa descontado (FCD), das técnicas do valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR), que os analistas de energia geralmente usam para avaliar Projetos de Eficiência Energética no Brasil não considera as incertezas técnicas e econômicas inerentes aos cenários nos quais as empresas operam e não representam o valor da flexibilidade gerencial.

Este trabalho tem por objetivo:

- Investigar e propor uma metodologia que, empregando técnicas da inteligência computacional e estatísticas, esteja voltada ao apoio à decisão na otimização de diagnósticos energéticos no Brasil;
- Avaliar o risco do investimento, considerando a distribuição de probabilidade dos cenários de incertezas técnicas e do comportamento estocástico do preço da energia no mercado de curto prazo no Brasil;
- Valorar as flexibilidades gerenciais embutidas nos projetos que tratam da liberdade do gerente em tomar decisões, tais como investir de imediato ou postergar o investimento para uma data futura mais favorável (opção de espera), quando se espera uma redução de incertezas.

- Substituir de forma mais abrangente e eficiente os métodos convencionais de análise de fluxo de caixa descontado (FCD) utilizando técnicas de representação de diversos tipos de incerteza e análise de risco por meio de simulação de Monte Carlo, visando à obtenção de uma regra de decisão ótima para o investimento em Projetos de Eficiência Energética no Brasil.

1.3 DESCRIÇÃO DA TESE

As principais etapas desta pesquisa foram:

- O estudo do **levantamento dos usos finais de energia elétrica** e do cálculo de diagnósticos energéticos para elaboração de Projetos de Eficiência Energética, segundo os critérios do Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da ANEEL [3].
- O estudo das **opções de medição e verificação (M&V)** de Projetos de Eficiência Energética, segundo o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho [5].
- O estudo sobre a **teoria de opções reais** [12-15]. Este estudo envolveu a pesquisa bibliográfica sobre a teoria de opções financeiras. O cálculo do valor de opções reais [13, 14], quando existem vários fatores de incerteza, pode ser feito mediante o uso dos seguintes métodos: (i) Equações diferenciais parciais (modelo de opções reais Black-Scholes); (ii) Árvores binomiais ou diferenças finitas (iii) Simulação Monte Carlo. Este trabalho adota o método baseado em simulação Monte Carlo [15-17], por ser uma técnica indicada para problemas de alta dimensionalidade (muitas variáveis com incerteza) ou parâmetros estocásticos;
- Um estudo de **processos estocásticos** [18]. Nesta etapa estudaram-se os diferentes processos estocásticos utilizados para representar as incertezas de mercado (preço de uma commodity), como o Movimento Geométrico Browniano (MGB) [12, 13], processo de reversão à média (MRM) e processos de reversão a média com saltos [15, 16, 19]. Incluiu-

se neste estudo uma avaliação da modelagem estocástica do preço da energia no mercado de curto prazo no Brasil a partir do trabalho de Alves (2011) [20].

- Um estudo das **técnicas de inteligência computacional**. O estudo das técnicas de inteligência computacional empregadas neste trabalho resultou em uma breve descrição sobre Algoritmos Genéticos [21-24], ressaltando seus conceitos básicos, parâmetros e operadores genéticos.
- Um estudo das **medidas de risco** mais utilizadas no setor elétrico e em finanças. Nesta etapa, estudaram-se as medidas de risco Value-at-Risk (VaR) [25] e Conditional Value-at-Risk (CVaR) [26-29], analisando as propriedades da definição de “medida de risco coerente” [30]. Define-se um conjunto de risco aceitável e uma medida de risco para avaliar se o risco de uma determinada posição pertence ou não ao conjunto de risco aceitável.
- Um estudo para definir a **representação das incertezas técnicas**. Comumente as incertezas técnicas são representadas por distribuições de probabilidade triangulares. Foi escolhida esta representação devido a pouca informação que normalmente se possui, sendo usualmente conhecidos apenas os valores máximos, mínimos e os mais prováveis.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

Considerando o paradigma atual de mercado brasileiro que define os Projetos de Eficiência Energética com Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) como investimentos de alto risco, as principais contribuições deste trabalho no sentido de fortalecer a decisão gerencial são:

- O estabelecimento de uma metodologia para análise e gerenciamento do risco específico de cada uso final (p.ex. iluminação, climatização, etc.) aplicados em Projetos de Eficiência Energética no Brasil;
- A determinação do valor da flexibilidade gerencial de espera (valor

da opção real de investimento) considerando as incertezas técnicas e a incerteza econômica associada ao preço da energia elétrica no mercado de curto prazo no Brasil;

- A avaliação do comportamento e a influência do preço da energia elétrica no mercado de curto prazo no Brasil na valoração da opção de espera e na quantificação do risco, aplicando-se a simulação Monte Carlo.
- A otimização de diagnósticos energéticos na relação Custo vs. Benefício (RCB) em subprojetos com investimentos menores que o investimento total, que atendem ao perfil de risco do investidor viabilizando o desenvolvimento de “projetos-piloto”. Desta forma, contribuindo para fomentar a política de desenvolvimento de Projetos de Eficiência Energética com Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) no Brasil, conforme o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese está dividida em sete capítulos adicionais, descritos a seguir.

O Capítulo 2 apresenta um resumo da Eficiência Energética no Brasil e no mundo, comentado, também, sobre o comportamento destes mercados de curto prazo de energia elétrica. Finalizando, é apresentada a metodologia para elaboração do diagnóstico energético em Projetos de Eficiência Energética. São detalhados os cálculos da Energia Economizada [MWh/mês], da Redução de Demanda na Ponta [kW], do Custo Evitado [R\$] e da Relação Custo vs. Benefício (RCB).

O Capítulo 3 resume a Teoria de Opções Reais, Processos Estocásticos e Simulação Monte Carlo. Descrevendo os tipos de opções reais mais comuns e os métodos de avaliação das opções. Descrevendo as modelagens de processos estocásticos mais utilizados, considerando a aplicação destes aos preços de energia elétrica no mercado brasileiro. E, finalizando com a apresentação da simulação Monte Carlo.

No Capítulo 4 é dado destaque às técnicas de inteligência computacional utilizadas neste trabalho: Algoritmos Genéticos. São descritos os conceitos básicos dos algoritmos genéticos, seus parâmetros e operadores genéticos.

O Capítulo 5 resume as principais medidas de risco utilizadas no mercado financeiro e que podem ser aplicadas na avaliação de projetos. São descritos os conceitos básicos de cada medida, seus parâmetros e seus pontos fortes e eventuais fraquezas na avaliação do risco para o investidor.

O Capítulo 6 descreve a metodologia proposta para a otimização dos diagnósticos energéticos; para análise de investimentos pelo cálculo do valor das opções reais, unidas às técnicas estatísticas e à simulação Monte Carlo, e para a análise do risco.

O Capítulo 7 apresenta o estudo de caso, onde se emprega a metodologia proposta em um Projeto de Eficiência Energética de uma instalação de cliente do setor Comercial.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões e a proposta de trabalhos futuros.