



José Eduardo Nunes Da Rocha

**Sistema Inteligente de Diagnósticos Energéticos
e de Análise de Investimentos em Projetos de
Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da
Demanda**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Marco Aurélio C. Pacheco

Rio de Janeiro
Abril de 2013



José Eduardo Nunes da Rocha

Sistema Inteligente de Diagnósticos Energéticos e de Análise de Investimentos em Projetos de Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da Demanda

Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio.

Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Juan Guillermo Lazo Lazo

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Luís Tadeu Furlan

Petróleo Brasileiro – Rio de Janeiro

Prof. Marco Antônio Guimarães Dias

Petróleo Brasileiro – Rio de Janeiro

Prof. André Vargas Abs da Cruz

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. André Luís Marques Marcato

UFJF

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

José Eduardo Nunes da Rocha

Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ em 1986. Possui Mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio (2003). Cursou o MBA – Gestão de Negócios e Tecnologia da Informação na Universidade Cândido Mendes (2001). Cursou o MBA em Economia e Gestão de Energia pela COPPEAD-UFRJ (2005). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Métodos de Apoio à Decisão (sistemas neuro-fuzzy de classificação e computação evolucionária para otimização e opções reais na análise de investimentos em projetos), atuando principalmente nos seguintes temas: distribuição de energia elétrica, perdas comerciais, eficiência energética e irregularidades na medição de energia elétrica. Trabalhou por 20 anos na Light S.E.S.A (1989-2009), tendo atuado como Gerente Comercial de Grandes Clientes, respondendo pelas áreas de atendimento à clientes, faturamento, cobrança e recuperação de energia. Atualmente, dedica-se à pesquisa de novas tecnologias na área de smart grids, eficiência energética e sustentabilidade, com aplicações de inteligência computacional.

Ficha Catalográfica

Rocha, José Eduardo Nunes da

Sistema inteligente de diagnósticos energéticos e de análise de investimentos em projetos de eficiência energética gerenciados pelo lado da demanda / José Eduardo Nunes da Rocha ; orientador: Marco Aurélio C. Pacheco. – 2013.

261 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Eficiência energética. 3. Diagnóstico energético. 4. Medição & verificação. 5. Computação evolucionária. 6. Análise de investimentos. 7. Opções reais. I. Pacheco, Marco Aurélio C. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Dedicatória

Aos meus pais, pelo incentivo.

À minha esposa e ao meu filho que me apoiaram
e souberam entender a minha ausência.

Agradecimentos

Ao meu caro orientador Professor Dr. Marco Aurélio C. Pacheco pelo estímulo e parceria para o desenvolvimento desta tese.

À PUC-Rio, à CAPES e ao CNPq pelo pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao meu caro Professor Dr. Marco Antônio Dias com quem tive a honra de cursar a disciplina de Opções Reais e que sempre esteve disponível a transmitir os seus conhecimentos e experiências.

Ao meu caro amigo Dr. Juan G. L. Lazo que com seu conhecimento abrilhantou os debates sobre os temas principais desta tese.

Ao caro amigo Thiago V. Dias que com seu conhecimento em programação C#, me apoiou incansavelmente no desenvolvimento do modelo desta tese.

Aos demais colegas da PUC-Rio, sempre prontos a ajudar.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

À minha esposa e ao meu filho pelo apoio e compreensão.

Resumo

Rocha, José Eduardo Nunes da; Pacheco, Marco Aurélio Cavalcanti. **Sistema Inteligente de Diagnósticos Energéticos e de Análise de Investimentos em Projetos de Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da Demanda**. Rio de Janeiro, 2013. 261p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os Projetos de Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da Demanda (GLD), bem como todo projeto de engenharia, requerem decisões de investimentos que possuem incertezas 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 decisão dos clientes e investidores na aquisição de Projetos de Eficiência Energética depende do retorno esperado nos ganhos com a energia economizada, como por exemplo, na venda desta energia no mercado de curto prazo. Esta tese investiga uma nova metodologia que, considerando as incertezas técnicas e econômicas, efetua uma análise mais abrangente e realista do cenário complexo de negócios que envolvem os Projetos de Eficiência Energética no Brasil. A metodologia contribui para a tomada de decisão considerando a flexibilidade gerencial e a avaliação dos riscos específicos dos projetos. Esta se baseia em técnicas inteligentes para a otimização de diagnósticos energéticos associados à análise de opções reais e avaliação econômica de Projetos de Eficiência Energética Gerenciados pelo Lado da Demanda (GLD), aplicados ao setor de energia elétrica no Brasil. A metodologia é avaliada em dois Projetos de Eficiência Energética, para os usos finais de Iluminação e Climatização de Ambientes, em uma unidade consumidora da classe Comercial, localizada na Cidade do Rio de Janeiro e conectada ao sistema de distribuição em Média Tensão (13,8kV). Os resultados revelaram que a partir da aplicação de Algoritmos Genéticos na otimização de diagnósticos energéticos puderam-se construir subprojetos originados de um projeto maior, mantendo-se, ou até ampliando-se a Relação Custo vs. Benefício (RCB). E, desta forma, contribuir para a viabilização de alternativas ótimas de projetos que incentivam a aplicação da Eficiência Energética no Brasil.

Palavras-chave

Eficiência energética; diagnóstico energético; medição & verificação; computação evolucionária; análise de investimentos; opções reais.

Abstract

Rocha, José Eduardo Nunes da; Pacheco, Marco Aurélio Cavalcanti (Advisor). **Intelligent Energy System Diagnostics and Analysis of Investments in Energy Efficiency Projects Managed by Demand Side**. Rio de Janeiro, 2013. 261p. Doctoral Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Energy Efficiency Projects Managed by Demand Side (DSM), as well as all engineering design, require investment decisions that have associated uncertainties. Economic uncertainties are due to factors exogenous to the project being generally represented by stochastic fluctuations of electricity costs. The technical uncertainties are associated with internal factors such as performance of the projects on the basis of efficient technology chosen, its operation and maintenance. The decision of customers and investors in the acquisition of Energy Efficiency Projects depends on the expected return on the earnings of the energy saved, for example, the sale of this energy in the short term. This thesis investigates a new methodology which, considering the technical and economic uncertainties, performs a more comprehensive and realistic business complex scenario involving the Energy Efficiency Projects in Brazil. The methodology helps decision making considering managerial flexibility and risk assessment of specific projects. This is based on intelligent techniques for optimizing energy diagnoses associated with real options analysis and economic evaluation of Energy Efficiency Projects Managed by Demand Side (DSM), applied to the electricity sector in Brazil. The methodology is evaluated in two Energy Efficiency Projects for the end uses of lighting and Air Conditioning, in a consumer unit of the Commercial category, located in the city of Rio de Janeiro and connected to the distribution system in Medium Voltage (13.8kV). The results showed that with the application of genetic algorithms in optimization of energy diagnoses subprojects originated from a larger project could be built, maintaining or even widening the Cost vs. Value. Benefit (RCB) ratio. And in this way, contribute to the viability of alternative optimal designs that encourage the implementation of Energy Efficiency in Brazil.

Keywords

Energy efficiency, energy diagnosis, measurement & verification, evolutionary computing, investment analysis, real options.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 MOTIVAÇÃO	23
1.2 OBJETIVOS	27
1.3 DESCRIÇÃO DA TESE	28
1.4 CONTRIBUIÇÕES.....	29
1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	30
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA (GLD)	32
2.1 A EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL E NO MUNDO	32
2.2 CARACTERÍSTICAS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (GLD) NO BRASIL.....	34
2.3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	38
2.3.1 Introdução e Conceitos Básicos.....	39
2.3.2 Objetivos do Diagnóstico Energético	42
2.3.3 Levantamento do Potencial de Economia de Energia.....	44
2.3.4 Projeto de Iluminação	44
2.3.4.1 Levantamento dos Dados e Proposição de Novos Equipamentos.....	45
2.3.4.2 Cálculo do Potencial de Economia de Energia	47
2.3.5 Projeto de Climatização	49
2.3.5.1 Levantamento dos Dados e Proposição de Novos Equipamentos.....	50
2.3.5.2 Cálculo do Potencial de Economia de Energia	52
2.3.6 Projeto de Motor e Compressor.....	54
2.3.6.1 Levantamento dos Dados e Proposição de Novos Equipamentos.....	54
2.3.6.2 Cálculo do Potencial de Economia de Energia	57
2.4 PLANO DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO (M&V).....	59
2.4.1 Opções de M&V.....	61
2.5 INDICADORES DE AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS....	63
2.5.1 Energia Economizada (EE) e Redução de Demanda (RD).....	64

2.5.2	Investimentos.....	64
2.5.3	Benefícios.....	64
2.5.4	Valor Presente Líquido – VPL	69
2.5.5	Taxa Interna de Retorno – TIR (anual).....	72
2.5.6	Prazo de Retorno do Investimento (meses).....	72
2.5.7	Relação Custo vs. Benefício (RCB).....	73
2.6	CÁLCULO DO POTENCIAL DE ECONOMIA UTILIZADO NA METODOLOGIA PROPOSTA	77
3	TEORIA DAS OPÇÕES REAIS.....	79
3.1	INTRODUÇÃO	79
3.2	OPÇÕES FINANCEIRAS.....	81
3.2.1	Opções de Compra.....	82
3.2.2	Opções de Venda	83
3.2.3	Arbitragem.....	86
3.2.4	Mercado Completo.....	87
3.2.5	Investimento Irreversível.....	87
3.3	OPÇÕES REAIS - MODELOS DE DECISÕES GERENCIAIS	88
3.3.1	Tipos de Opções Reais	90
3.4	PROCESSOS ESTOCÁSTICOS.....	94
3.4.1	Processos de Markov	95
3.4.2	Processo de Wiener.....	96
3.4.3	Movimento Browniano Generalizado.....	98
3.4.4	Lema de Itô.....	98
3.4.5	Movimento Aritmético Browniano (MAB)	99
3.4.6	Movimento Geométrico Browniano (MGB).....	100
3.4.7	Movimento de Reversão à Média (MRM).....	105
3.4.8	Métodos de avaliação de Opções Reais	107
3.4.9	Simulação de Monte Carlo	110
3.4.9.1	Simulação de Monte Carlo na Precificação de Opções.....	111
3.5	APROXIMAÇÕES ANALÍTICAS NA PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES AMERICANAS	113
4	TÉCNICA DE COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA.....	115
4.1	ALGORITMO GENÉTICO	115

4.1.1	Representação.....	118
4.1.2	Codificação e Decodificação.....	118
4.1.3	Avaliação.....	119
4.1.4	Operadores Genéticos.....	119
4.1.5	Parâmetros da Evolução.....	121

5 MEDIDAS DE RISCO..... 123

5.1	INTRODUÇÃO.....	123
5.2	VALUE AT RISK (VAR).....	123
5.3	CONDITIONAL VALUE AT RISK (C-VAR).....	126
5.4	MEDIDA DE RISCO COERENTE.....	129

6 METODOLOGIA PROPOSTA PARA DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA..... 131

6.1	INTRODUÇÃO.....	131
6.2	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	132
6.2.1	Caracterização das Incertezas em Projetos de Eficiência Energética.....	132
6.2.1.1	Representação das Incertezas Técnicas em Projetos de Eficiência Energética.....	135
6.2.1.2	Representação da Incerteza Econômica em Projetos de Eficiência Energética.....	137
6.2.1.3	Testes de Convergência do Processo Estocástico Proposto.....	143
6.2.2	Detalhamento Construtivo do Modelo.....	147
6.2.3	Grupo de Otimização de Diagnóstico Energético.....	148
6.2.3.1	Módulo: Construção da Linha Base; Sistema Proposto; Plano de M&V; Cálculo do VPL e RCB.....	149
6.2.3.2	Módulo: Otimização das Ações de Eficiência Energética.....	149
6.2.4	Grupo: Análise de investimentos.....	152
6.2.4.1	Módulo: Gerador de Números Aleatórios.....	154
6.2.4.2	Módulo: Incertezas Técnicas.....	155
6.2.4.3	Módulo: Incertezas de Mercado – Modelo Estocástico de Reversão à Média (MRM).....	155
6.2.4.4	Módulo: Cálculo da Curva de Gatilho.....	156

6.2.4.5	Módulo: Cálculo do Valor da Opção.....	159
6.2.4.6	Módulo: Análise de Risco.....	162

7 ESTUDO DE CASO: PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CONSUMIDOR COMERCIAL..... 163

7.1	INTRODUÇÃO	163
7.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	163
7.3	EXPERIMENTO 1 – ESTUDO DE CASO EM CONSUMIDOR DA CLASSE COMERCIAL	165
7.3.1	Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional para o Setor Elétrico Brasileiro.....	167
7.3.1.1	Cálculo do Potencial de Economia de Energia e Redução de Demanda 168	
7.3.1.2	Cálculo do Investimento	170
7.3.1.3	Cálculo da Relação Custo Benefício (RCB).....	172
7.3.2	Valor do Projeto pela Metodologia Proposta	177
7.3.2.1	Determinação do Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento (Payback)	181
7.3.2.2	Valor da Espera - Opção Europeia	199
7.3.2.3	Valor da Espera - Opção Americana	205
7.3.3	Comparação: Metodologia Tradicional vs. Metodologia Proposta .	212
7.4	EXPERIMENTO 2 – ESTUDO DE CASO: OTIMIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	213
7.4.1	Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional.....	213
7.4.1.1	Cálculo do Potencial de Economia de Energia e Redução de Demanda 214	
7.4.1.2	Cálculo do Investimento	215
7.4.1.3	Cálculo da Relação Custo Benefício (RCB).....	216
TABELA 35 – INDICADORES DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APÓS OTIMIZAÇÃO POR AG		
7.4.2	Valor do Projeto pela Metodologia Proposta: Otimização por AG .	220
7.4.2.1	Determinação do Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento	227
7.4.2.2	Valor da Espera – Opção Europeia	230
7.4.2.3	Valor da Espera - Opção Americana	234
7.4.3	Comparação: Metodologia Tradicional vs. Metodologia Proposta com Otimização por AG	235

8	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	237
8.1	CONCLUSÕES.....	237
8.2	TRABALHOS FUTUROS	239
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	241
	ANEXO I – MODELO DE REVERSÃO À MÉDIA DE DIAS.....	248
	ANEXO II – RESUMO DO ALGORITMO GVW.....	251
	ANEXO III – ALGORITMO LSM: EXEMPLO NUMÉRICO DO CÁLCULO DE UMA CALL AMERICANA.....	253
	ANEXO IV – TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S).....	260

Lista de figuras

Figura 1 – Opção de M&V a adotar.....	63
Figura 2 - Cálculo da Diferença Entre Duas Perpetuidades	71
Figura 3 – Fluxo de Caixa Anualizado para o Valor Presente do Benefício (VP) no instante t_0	76
Figura 4 – Variação do valor (payoff) de uma opção de compra	82
Figura 5 – Variação do valor (payoff) de uma opção de venda.....	84
Figura 6 – Tendência e Variância no MGB.....	103
Figura 7 – Simulação MGB real x MGB neutro ao risco.....	104
Figura 8 - Tendência e Variância do Processo de Reversão à Média (MRM)	106
Figura 9 – Valor (<i>payoff</i>) de uma opção em cada período	107
Figura 10 – Etapas da Simulação de Monte Carlo.....	111
Figura 11 – Fluxo básico de funcionamento de um algoritmo genético com três operadores.....	118
Figura 12 – Cruzamento de um único ponto	120
Figura 13 – Mutação	121
Figura 14 – Comparação do C-VaR para as duas distribuições com o mesmo valor de VaR.....	128
Figura 15 – VaR, CVaR e Expected Shortfall.....	129
Figura 16 – Distribuição de Probabilidade Triangular.....	136
Figura 17 – Série histórica do PLD no Submercado Sudeste/Centro-Oeste	138
Figura 18 -Formação da matriz “PMOs ajustado”.....	141
Figura 19 - Função de Distribuição Acumulada - Distância Máxima Absoluta.....	145
Figura 20 – Módulos da metodologia proposta para análise de investimentos em Projetos de Eficiência Energética no Brasil.....	148
Figura 21 – Estimativa de Economia de Energia.....	151
Figura 22 – Estrutura do Cromossomo	152
Figura 23 – Curva de Gatilho e caminho da commodity	161
Figura 24 – Fluxo - Experimento 1 – Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional.....	167
Figura 25 – Caminhos do preço da commodity – 2000 cenários.....	178
Figura 26 – Representação das Incertezas Técnicas	179
Figura 27 - Vida Útil dos Equipamentos vs. Tempo de Retorno (<i>Payback</i>) determinado pelo Investidor	183
Figura 28 - Fluxo - Experimento 1 – Determinação do Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento (Payback), VaR e C-VaR	183

Figura 29 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 60 meses.....	184
Figura 30 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 90 meses.....	185
Figura 31 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 97 meses.....	186
Figura 32 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 110 meses.....	188
Figura 33 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 120 meses.....	189
Figura 34 – Histograma - Tempo do Projeto de Climatização no Ponto de Equilíbrio.....	190
Figura 35 - Análise de Sensibilidade do VPL - Projeto de Climatização.....	191
Figura 36 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 11 meses.....	192
Figura 37 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 13 meses.....	193
Figura 38 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 15 meses.....	194
Figura 39 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 17 meses.....	195
Figura 40 – Histograma da Distribuição do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 19 meses.....	196
Figura 41 – Histograma - Tempo do Projeto de Iluminação no Ponto de Equilíbrio.....	197
Figura 42 - - Análise de Sensibilidade do VPL - Projeto de Iluminação.....	198
Figura 43 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Europeia.....	200
Figura 44 – Histograma da Distribuição do VPL em t_0 - Projeto de Climatização.....	201
Figura 45 – Histograma da Distribuição do VPL na Data de Expiração da Opção (t_{12}) –Projeto de Climatização.....	201
Figura 46 – Histograma da Distribuição do VPL em t_0 - Projeto de Iluminação.....	203
Figura 47 – Histograma da Distribuição do VPL na Data de Expiração da Opção (t_{12}) –Projeto de Iluminação.....	204
Figura 48 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Americana.....	206
Figura 49 – Três Caminhos para o Preço da Energia pelo MRM.....	207
Figura 50 – Preço médio de longo prazo (P) nos períodos úmido e seco.....	208
Figura 51 – Curva de Gatilho vs. Caminho da commodity – Tempo do Projeto de 120 meses.....	209

Figura 52 – Curva de Gatilho vs. Caminho da commodity – Tempo do Projeto de 60 meses.....	209
Figura 53 - Fluxo - Experimento 1 – Valor do Projeto pela Metodologia Tradicional Otimizado por AG	214
Figura 54 – Experimento 2 – Cromossomo.....	221
Figura 55 – Fluxograma do Modelo de Otimização do Diagnóstico Energético.....	224
Figura 56 - Gráfico de Desempenho do AG.....	225
Figura 57 - Fluxo - Experimento 1 – Ponto de Equilíbrio no Retorno do Investimento (Payback), VaR e C-VaR – Otimizado por AG.....	227
Figura 58 – Histograma da Distribuição do VPL - Projeto de Climatização Otimizado por AG.....	228
Figura 59 – Histograma – Tempo do Projeto de Climatização Otimizado por AG no Ponto de Equilíbrio.....	229
Figura 60 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Europeia Otimizado por AG.....	231
Figura 61 – Histograma da Distribuição do VPL em t_0 - Projeto de Climatização Otimizado por AG	232
Figura 62 – Histograma da Distribuição do VPL na Data de Expiração da Opção (t_{12}) –Projeto de Climatização Otimizado por AG	232
Figura 63 - Fluxo - Experimento 1 - Valor da Espera - Opção Americana Otimizado por AG.....	234
Figura 64 – Ilustração dos passos do algoritmo de avaliação do método de GVW.....	252
Figura 65 - Teste K-S - Comparação entre Duas Funções de Distribuição Acumuladas	260

Lista de tabelas

Tabela 1 – Cálculo da Economia de Energia para Sistemas de Iluminação.....	46
Tabela 2 – Cálculo da Economia de Energia para Sistemas de Ar Condicionado	51
Tabela 3 – Cálculo da Economia de Energia para Motores	56
Tabela 4 - Principais Características dos Grupos Tarifários do Mercado de Energia Elétrica no Brasil	65
Tabela 5 – Analogia entre Opções Financeiras e Opções Reais.....	90
Tabela 6 – Parâmetros dos Processos Estocásticos de Reversão à Média	142
Tabela 7 - Teste de Aderência	144
Tabela 8 - Valor Médio dos Erros.....	146
Tabela 9 – Iluminação - Sistema Atual x Sistema Proposto – Cálculo da Economia Esperada.....	169
Tabela 10 – Climatização - Sistema Atual x Sistema Proposto – Cálculo da Economia Esperada.....	169
Tabela 11 – Iluminação - Cálculo do Custo do Projeto – Aquisição de Equipamentos e Serviços.....	171
Tabela 12 – Climatização - Cálculo do Custo do Projeto– Aquisição de Equipamentos e Serviços.....	171
Tabela 13 – Iluminação - Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB).....	175
Tabela 14 – Climatização - Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB).....	176
Tabela 15 – Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB) Total do Projeto ...	177
Tabela 16 – Indicadores do Projeto de Eficiência Energética.....	177
Tabela 17 – Experimento 1 – Parâmetros.....	180
Tabela 18 – Medidas Estatísticas do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 60 meses.....	185
Tabela 19 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 90 meses ..	186
Tabela 20 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 97 meses ..	187
Tabela 21 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 110 meses	188
Tabela 22 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 120 meses	189
Tabela 23 – Análise do Ponto de Equilíbrio - Projeto de Climatização.....	190
Tabela 24 – Medidas Estatísticas do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 11 meses.....	192
Tabela 25 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 13 meses	193
Tabela 26 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 15 meses	194
Tabela 27 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Iluminação - 17 meses	195
Tabela 28 – Análise do VPL - Tempo do Projeto de Climatização - 19 meses ..	196

Tabela 29 – Análise do Ponto de Equilíbrio - Projeto de Iluminação.....	197
Tabela 30 – Análise do VPL em t0 e na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Climatização.....	202
Tabela 31 – Análise do VPL em t0 e na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Iluminação.....	204
Tabela 32 – Climatização - Sistema Atual x Sistema Proposto – Cálculo da Economia Esperada após Otimização por AG.....	215
Tabela 33 – Climatização - Cálculo do Custo do Projeto após Otimização por AG.....	216
Tabela 34 – Climatização - Cálculo da Relação Custo vs. Benefício (RCB) após Otimização por AG.....	219
Tabela 35 – Indicadores do Projeto de Eficiência Energética após Otimização por AG.....	220
Tabela 36 – Restrição de Domínio para Cada Gene do Cromossomo.....	222
Tabela 37 – Restrições de Domínio para o Projeto.....	222
Tabela 38 – Experimento 2 – Parâmetros.....	226
Tabela 39 – Análise do VPL - Projeto de Climatização Otimizado por AG.....	228
Tabela 40 – Análise do Ponto de Equilíbrio - Projeto de Climatização Otimizado por AG.....	229
Tabela 41 – Análise do VPL em t0 e na Data de Expiração da Opção (t12) – Projeto de Climatização Otimizado por AG.....	233
Tabela 42 – Matriz de simulação de caminhos do preço da ação.....	253
Tabela 43 – Matriz dos fluxos de caixa em t=3.....	254
Tabela 44 – Matriz de parada ótima atualizada em t=3.....	254
Tabela 45 – Dados para a regressão em t=2.....	255
Tabela 46 – Comparação dos valores de exercício imediato e de continuação no instante t=2.....	256
Tabela 47 – Matriz de parada ótima atualizada no instante 2.....	256
Tabela 48 – Dados para a regressão em t=1.....	257
Tabela 49 – Comparação dos valores de exercício imediato e de continuação em t=1.....	258
Tabela 50 – Matriz completa da regra ótima de exercício.....	258
Tabela 51 – Matriz de fluxos de caixa realizados.....	259
Tabela 52 - Teste K-S - Coeficientes por nível de significância.....	261

Lista de símbolos e abreviações

C_T	Valor da opção de compra na data de vencimento T
F	Valor da opção real
I	Investimento
K	Preço de exercício
P^*	Preço ótimo para o exercício da opção
P_T	Valor da opção de venda na data de vencimento T
S	Preço do ativo objeto (ação)
S_0	Preço atual do ativo
S_T	Preço do ativo objeto na data de vencimento T
T	Data de vencimento da opção
V	Retorno do investimento
dz	Incremento de Wiener
$exp(-rt)$	Taxa de desconto
r	Taxa de juros livre de risco
π_T	Remuneração terminal da opção
σ	Volatilidade do ativo objeto
δ	Dividendos do ativo objeto
τ	Tempo que falta para a expiração da opção
<i>ACL</i>	Ambiente de Contratação Livre
<i>ACR</i>	Ambiente de Contratação Regulada
<i>AG</i>	Algoritmos Genéticos
<i>ANEEL</i>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<i>CAR</i>	Curva de Aversão ao Risco
<i>CCEE</i>	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
<i>CMO</i>	Custo Marginal de Operação
<i>CVaR</i>	Conditional Value-at-Risk
<i>DSB</i>	Demand Side Bidding
<i>DSM</i>	Demand Side Management
<i>EE</i>	Energia Economizada
<i>EF</i>	Eficiência de Equipamentos de Refrigeração (kJ/Wh)

<i>EPE</i>	Empresa de Pesquisa Energética
<i>ESCO</i>	Energy Service Company
<i>FCD</i>	Fluxo de Caixa Descontado
<i>FCP</i>	Fator de Coincidência na Ponta
<i>FDA</i>	Função de Distribuição Acumulada
<i>GLD</i>	Gestão pelo Lado da Demanda
<i>LSM</i>	Least Square Monte Carlo
<i>MAE</i>	Mean Absolute Error
<i>MAB</i>	Movimento Aritmético Browniano
<i>MGB</i>	Movimento Geométrico Browniano
<i>MQMC</i>	Mínimos Quadrados de Monte Carlo
<i>MRM</i>	Movimento de Reversão à Média
<i>NBR</i>	Norma Técnica Brasileira
<i>ONS</i>	Operador Nacional do Sistema Interligado
<i>PBE</i>	Programa Brasileiro de Etiquetagem
<i>PEE</i>	Programa de Eficiência Energética
<i>PIR</i>	Planejamento Integrado de Recursos
<i>PLD</i>	Preço de Liquidação da Diferenças da Energia no Mercado de Curto Prazo
<i>PMO</i>	Programas Mensais de Operação do ONS
<i>PNE</i>	Plano Nacional de Energia
<i>PNEf</i>	Plano Nacional de Eficiência Energética
<i>PROCEL</i>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<i>RCB</i>	Relação Custo x Benefício
<i>RD</i>	Redução de Demanda
<i>RDP</i>	Redução de Demanda na Ponta
<i>RMSE</i>	Root Mean Squared Error
<i>SIN</i>	Sistema Interligado Nacional
<i>TIR</i>	Taxa Interna de Retorno
<i>TUSD</i>	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
<i>VaR</i>	Value-at-Risk
<i>VPL</i>	Valor Presente Líquido

Epígrafe

“Se você encontrar um caminho sem obstáculos, ele provavelmente não leva a lugar nenhum. (Frank Clark)”.