

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE DE RISCO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE USANDO O MÉTODO DE MONTE
CARLO

EDINALDO JOSÉ DA SILVA PEREIRA

TD: 01/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDINALDO JOSÉ DA SILVA PEREIRA

ANÁLISE DE RISCO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE USANDO O MÉTODO DE MONTE
CARLO

TD: 01/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDINALDO JOSÉ DA SILVA PEREIRA

ANÁLISE DE RISCO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE USANDO O MÉTODO DE MONTE
CARLO

Tese submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica na Área de Sistemas de Energia Elétrica.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
ANÁLISE DE RISCO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE USANDO O MÉTODO DE MONTE
CARLO

AUTOR: EDINALDO JOSÉ DA SILVA PEREIRA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 28/01/2015

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR.-ING. JOÃO TAVARES PINHO
ORIENTADOR – PPGEE/UFPA

PROF. DR. ROBERTO ZILLES
MEMBRO – IEE/USP

PROF. DR. PAULO CÉSAR MARQUES DE CARVALHO
MEMBRO – UFC

PROF. DR. MARCOS ANDRÉ BARROS GALHARDO
MEMBRO – FEE/UFPA

PROF. DR. UBIRATAN HOLANDA BEZERRA
MEMBRO – PPGEE/UFPA

PROF. DR. WILSON NEGRÃO MACÊDO
MEMBRO – PPGEE/UFPA

VISTO:

PROF. DR. EVALDO GONÇALVES PELAES
COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA

*À minha família, Leni, Elisa e Edinaldo, que
sempre me acompanham e são razão de meu
trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu o dom da vida e me ampara nos momentos difíceis.

Àqueles a quem muito amo, minha esposa, Leni, que caminha comigo há 23 anos, sem jamais desanimar, e meus filhos, Elisa e Edinaldo, que enchem de alegria minha casa.

Aos meus pais, José e Iraides, pessoas que não tenho palavras para agradecer tudo o que já fizeram por mim, e que na simplicidade de suas vidas me ensinaram a importância de lutar por um objetivo e sempre respeitar o próximo. Aos meus irmãos Edivaldo, Evaldo e Ivanilde, que, mesmo quando distantes fisicamente, estão sempre próximos do coração.

Ao meu amigo, colega de profissão e orientador, Prof. João Tavares Pinho, participante ativo de minhas conquistas acadêmicas, pelo permanente incentivo em buscar novos espaços necessários ao crescimento de qualquer cidadão, não a qualquer custo, mas preservando os princípios éticos da honestidade e respeito.

Aos prestativos, animados e solidários amigos do GEDAE, em especial os da “Diretoria”, que se mostram presentes em todos os momentos, os de alegria e os de dificuldade.

Aos amigos e colegas da Faculdade de Engenharia Elétrica que direta ou indiretamente me incentivaram a concluir este trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	XII
LISTA DE TABELAS.....	XV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIX
RESUMO.....	XXIII
<i>ABSTRACT</i>.....	XXIV
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – Estado da Arte e Desenvolvimento das Tecnologias de Fontes Renováveis de Energia.....	5
1.1. Fontes de Energia para Produção de Eletricidade no Brasil e no Mundo.....	5
1.2. Fontes Não Renováveis.....	7
1.3. Fontes Renováveis	9
1.3.1. A Energia Solar	10
1.3.1.1. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede	11
1.3.1.2. Solar Térmica	15
1.3.1.3. Solar Térmica com Concentradores	15
1.3.2. A Energia Eólica	16
1.3.3. A Energia Hídrica	20
1.3.4. A Energia da Biomassa	22
1.4. Aspectos Gerais do Desenvolvimento Mundial das Energias Renováveis.....	24
1.5. Histórico do Desenvolvimento das Energias Renováveis em Alguns Países	28
1.5.1. Alemanha	28
1.5.2. Espanha	32
1.5.3. China	35
1.5.4. Estados Unidos.....	38
1.5.5. Brasil	42

CAPÍTULO 2 – Edificações Energeticamente Eficientes, Dimensionamento e Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.....	48
2.1. Aspectos Gerais.....	48
2.2. Uso Racional de Energia.....	48
2.3. Eficiência Energética	49
2.4. Conceituação do Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE/UFPA.....	51
2.5. Levantamento da Carga	54
2.6. Levantamento da Geração	56
2.6.1. Fotovoltaica.....	57
2.6.2. Eólica	57
2.6.3. Grupo Gerador a Diesel	58
2.6.4. Conexão à Rede	58
2.7. Aproveitamento de Ventilação e Iluminação Naturais	58
2.7.1. Sensores	58
2.8. Monitoração e Controle	60
2.8.1. Geração	61
2.8.1.1. Fotovoltaica	61
2.8.1.2. Eólica.....	63
2.8.1.3. Diesel.....	64
2.8.1.4. Conexão à Rede.....	65
2.9. Ambiente	66
2.9.1. Iluminação.....	66
2.9.2. Temperatura	67
2.9.3. Umidade	67
2.10. Tipos de Consumo	69
2.10.1. Iluminação.....	70
2.10.2. Tomadas Livres.....	70
2.10.3. Lâmpadas	70
2.10.4. Luminárias	71
2.10.5. Equipamentos.....	71
2.11. Meteorologia	72
2.12. Segurança.....	72

2.13. Central de Energia.....	72
2.14. Dimensionamento do SFCR.....	73
2.14.1. Horas Diárias de Sol Pleno (<i>HSP</i>)	73
2.14.2. Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico	73
2.14.3. Dimensionamento do Inversor	74
2.14.4. Dimensionamento do Banco de Baterias	75
2.15. Análise de Desempenho do SFCR.....	75
2.15.1. Produtividade do SFCR (<i>Prod</i>).....	75
2.15.2. Fator de Capacidade (<i>FC</i>).....	76

CAPÍTULO 3 – Análise Econômica e de Risco para Sistemas de Geração de Energia

Elétrica via Método de Monte Carlo e Estudo de Caso do Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE/UFPA.....

3.1. Análise Econômica de um Sistema de Geração de Energia Elétrica	77
3.1.1. Fator de Recuperação de Capital (<i>FRC</i>)	77
3.1.2. Custo do Ciclo de Vida Útil (<i>CCV</i>)	78
3.1.3. Custo do Ciclo de Vida Útil Anualizado (<i>CCVA</i>).....	78
3.1.4. Custo da Energia Produzida (C_{EN})	78
3.1.5. Valor Presente Líquido (<i>VPL</i>).....	78
3.1.6. <i>Payback</i> Simples e <i>Payback</i> Descontado (PBS e PBD)	80
3.1.7. Taxa Interna de Retorno e Taxa Interna de Retorno Modificada (<i>TIR</i> e <i>TIRM</i>)	80
3.2. Análise de Risco de um Sistema de Geração de Energia Elétrica	81
3.2.1. Métodos Determinísticos para Análise de Investimentos	81
3.2.2. Métodos Probabilísticos para Análise de Investimentos.....	83
3.2.3. O Método de Monte Carlo (MMC).....	85
3.2.4. O MMC Aplicado à Análise de Risco de Sistemas de Geração de Energia Elétrica.....	87
3.2.4.1. Definição do Modelo Matemático	87
3.2.4.2. Escolha das Variáveis Independentes	87
3.2.4.3. Escolha das Variáveis Dependentes.....	88
3.2.4.4. Escolha das Funções Distribuição de Probabilidade	88
3.2.4.5. Execução e Resultados dos MMC	88
3.2.4.6. Análise e Decisão.....	88

3.3. Estudo de Caso: Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE	89
3.3.1. Localização e Características	89
3.3.2. Cargas Prioritárias	90
3.3.3. Horas Diárias de Sol Pleno (<i>HSP</i>)	91
3.3.4. Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	92
3.3.5. Dimensionamento do Inversor	92
3.3.6. Dimensionamento do Banco de Baterias	92
3.3.7. Análise de Desempenho do SFCR	93
3.3.7.1. Produtividade do SFCR	93
3.3.7.2. Fator de Capacidade	93
3.3.8. Análise Econômica do SFCR	93
3.3.8.1. Fator de Recuperação de Capital	93
3.3.8.2. Custo do Ciclo de Vida Útil	94
3.3.8.3. Custo do Ciclo de Vida Útil Anualizado	96
3.3.8.4. Custo da Energia Produzida	96
3.3.8.5. Valor Presente Líquido	96
3.3.9. O MMC Aplicado à Análise de Risco do SFCR do GEDAE/UFPA	99
3.3.9.1. Definição do Modelo Matemático	101
3.3.9.2. Escolha das Variáveis Independentes	101
3.3.9.3. Escolha das Variáveis Dependentes	102
3.3.9.4. Escolha das Funções Distribuição de Probabilidade	102
3.3.9.5. Execução e Resultados dos MMC	105
3.3.9.6. Análise e Decisão	108
3.3.9.6.1. SFCR sem o Banco de baterias – Caso MMC14SB	113
CAPÍTULO 4 – Regulamentação e Uso das Energias Renováveis	123
4.1. Proposta de Incentivo à Energia Solar Fotovoltaica para SFCRs no Brasil	123
CONCLUSÕES	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
APÊNDICE A	144

APÉNDICE B..... 180

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1. Estrutura da oferta de eletricidade no Brasil em 2013.	5
Figura 1.2. Estrutura da oferta mundial de eletricidade em 2011.	6
Figura 1.3. Penetração das fontes de energia na matriz energética brasileira.	6
Figura 1.4. Radiação solar global média anual no Brasil.	10
Figura 1.5. Foto do maior parque eólico do mundo até o final de 2013. (<i>Alta Wind Energy Center</i>).	17
Figura 1.6. Participação no mercado mundial dos maiores fabricantes de aerogeradores em 2013.	18
Figura 1.7. Evolução da capacidade de geração eólica no Brasil.	19
Figura 1.8. Mapa de velocidade média anual de ventos no Brasil.	19
Figura 1.9. Crescimento percentual na capacidade instalada mundial das fontes renováveis entre 2008 e 2013.	21
Figura 1.10. Participação das fontes de energia no consumo energético global ao final de 2013	25
Figura 2.1. Oferta Interna de Energia x População no Brasil.	50
Figura 2.2. Comparação entre geração e consumo de eletricidade no Brasil.	51
Figura 2.3. Planta baixa do Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE.	52
Figura 2.4. Visão externa do terreno com o prédio e a minirrede.	53
Figura 2.5. Unidade de aquisição de dados HOBO modelo U12-012.	59
Figura 2.6. Dados de temperatura coletados pelas unidades de aquisição de dados NOVUS e HOBO.	60
Figura 2.7. Vista do primeiro SFCR instalado na Amazônia.	62
Figura 2.8. Energia gerada pelo SFCR de 3,36 kWp em maio de 2012.	63
Figura 2.9. Comportamento da velocidade de vento a 7,70 m.	64
Figura 2.10. Medições de energia na edificação relativas ao mês de maio de 2012.	65
Figura 2.11. Carta bioclimática de Belém.	68
Figura 2.12. Percentagem das estratégias de climatização para Belém.	69
Figura 3.1. Visão parcial do prédio do GEDAE	89
Figura 3.2. Vista frontal do prédio com destaque para parte do SFCR	90
Figura 3.3. Função Bradford	103

Figura 3.4. Função Mínimo Valor Extremo	104
Figura 3.5(a). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. μ de C_{EN} x número de amostras para SFCR com baterias	105
Figura 3.5(b). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. μ de C_{EN} x número de amostras para SFCR sem baterias	106
Figura 3.5(c). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. σ de C_{EN} x número de amostras para SFCR com baterias	106
Figura 3.5(d). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. σ de C_{EN} x número de amostras para SFCR sem baterias	106
Figura 3.5(e). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. μ de VPL x número de amostras para SFCR com baterias	107
Figura 3.5(f). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. μ de VPL x número de amostras para SFCR sem baterias	107
Figura 3.5(g). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. σ de VPL x número de amostras para SFCR com baterias	107
Figura 3.5(h). Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. σ de VPL x número de amostras para SFCR sem baterias	108
Figura 3.6. Comportamento da assimetria	111
Figura 3.7. Comportamento do achatamento	112
Figura 3.8. Histograma para o VPL sem banco de baterias. Caso MMC14SB	114
Figura 3.9. Histograma de C_{EN} sem banco de baterias. Caso MMC14SB	115
Figura 3.10. Dependência de VPL com as variáveis independentes	116
Figura 3.11. Dependência de C_{EN} com as variáveis independentes	117
Figura 3.12. Diagrama Tornado para a sensibilidade de VPL às variáveis independentes ...	118
Figura 3.13. Diagrama Tornado para a sensibilidade de C_{EN} às variáveis independentes ...	119
Figura 3.14. Histograma do VPL considerando redução no preço dos módulos e inversores	121
Figura 3.15. Histograma do C_{EN} considerando redução no preço dos módulos e inversores	122
Figura 4.1. Saldo cumulativo para o consumidor ao final de cada ano.....	130
Figura 4.2. Histograma do custo inicial para o produtor	131
Figura 4.3. Histograma do saldo cumulativo para o produtor após 25 anos	132
Figura 4.4. Probabilidade acumulada do saldo cumulativo ao produtor após 25 anos	132

Figura 4.5. Histograma do total anual de SFCRs contratados 133

Figura 4.6. Fluxograma para desenvolvimento dos SFCRs no Brasil 134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Participação por tipo de fontes de energia na matriz energética nacional, (Mtep). 7	
Tabela 1.2. Estimativa de paridade tarifária para SFCRs em 2011 nos cinco principais mercados europeus.	13
Tabela 1.3. Estimativa para 2020 e custos reais para o Wp instalado e para a energia gerada por SFCRs residenciais na Europa.	14
Tabela 1.4. Situação de paridade tarifária no mundo em 2014 segundo o Banco Alemão	14
Tabela 1.5. Maiores capacidades instaladas no mundo em sistemas eólicos, incluindo o Brasil, até 2013	17
Tabela 1.6. Indicadores da evolução mundial da capacidade instalada para algumas fontes renováveis de energia, investimentos, políticas de comprometimento com metas e <i>feed-in</i> ..	26
Tabela 1.7. Evolução dos subsídios mundiais à produção de energia por fontes renováveis e por combustíveis fósseis no período de 2009 a 2013	26
Tabela 1.8. Países que mais investiram em algumas áreas das energias renováveis nos anos de 2009 a 2013	27
Tabela 1.9. Os cinco países que detém a maior capacidade instalada em algumas áreas das energias renováveis ao final de 2013	28
Tabela 1.10. Postos de trabalho diretos e indiretos associados às energias renováveis em 2013	28
Tabela 1.11. Estrutura tarifária para <i>feed-in</i> na Alemanha em 2012	32
Tabela 1.12. Estrutura tarifária para geração de energia por fontes renováveis em 2004	33
Tabela 1.13. Metas chinesas para a capacidade instalada das energias renováveis, estabelecidas em 2007	36
Tabela 1.14. Subsídio na Califórnia em dezembro de 2014 para sistemas fotovoltaicos conectados à rede	41
Tabela 1.15. Situação dos projetos do PROINFA em agosto de 2009	43
Tabela 1.16. Resultado do Leilão de Energia A-3 / 2011.	43
Tabela 1.17. Resultado do Leilão de Energia A-5 / 2011.	44
Tabela 2.1. Cálculo luminotécnico das áreas internas do prédio.	54
Tabela 2.2. Padrões de consumo e potência para a edificação.	55
Tabela 2.3. Média mensal de horas de sol pleno em Belém no ano de 2013	73
Tabela 3.1. Cargas prioritárias atendidas pelo SFCR.....	91

Tabela 3.2. Custos dos equipamentos e serviços ao longo da vida útil do SFCR.....	95
Tabela 3.3. Comparativo do SFCR do GEDAE/UFPA com e sem banco de baterias.....	98
Tabela 3.4. Resultado das 28 simulações pelo MMC.	109
Tabela 3.5. Avaliação complementar quanto ao <i>PBD</i>	110
Tabela 3.6. Avaliação complementar quanto a <i>TIRM</i>	111
Tabela 4.1. Política para as energias renováveis no Brasil	124
Tabela 4.2. Resultado da aplicação da política para SFCRs no Brasil	127
Tabela 4.3. Variáveis independentes na análise da política de incentivos para SFCRs no Brasil	128
Tabela 4.4. Resultado do MMC na política de incentivos para SFCRs no Brasil	129
Tabela 4.5. Resultado do MMC na política de incentivos para SFCRs no Brasil com redução no preço do conjunto inversor/gerador fotovoltaico	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanço Energético Nacional
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CSI	<i>California Solar Initiative</i>
EDEN	Programa para Auxílio a Projetos de Edificações Energeticamente Autônomas e Eficientes
Eletrobras	Centrais Elétricas Brasileiras
EPIA	<i>European Photovoltaic Industry Association</i>
FEL	Fração de emissão de luz
GEDAE	Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas
HOMER	Modelo Híbrido de Otimização para Fontes Renováveis de Energia (do inglês “ <i>Hybrid Optimization Model for Electric Renewables</i> ”)
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMC	Método de Monte Carlo
MME	Ministério de Minas e Energia
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
NBR	Norma da ABNT
NDCR	<i>National Development and Reform Commission</i>
O&M	Operação e Manutenção

OIE	Oferta Interna de Energia
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDTI	Programa de Gestão da Pesquisa & Desenvolvimento Tecnológico + Inovação
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROINFA	Programa Nacional de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia
Proquip II	Programa de Qualificação de Materiais e Equipamentos para Redes de Distribuição de Energia Elétrica
PURPA	<i>Federal Public Utility Regulatory Policy Act</i>
REINFA	Projeto de Lei PLS 311/09
REN21	<i>Renewable Energy Policy Network for the 21st Century</i>
RENO	<i>Probabilistic Event and Risk Analysis Software</i>
RETSCREEN	<i>RETScreen Software Suite</i>
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SIGFI	Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente
UFPA	Universidade Federal do Pará
WEO	<i>World Energy Outlook.</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Autonomia do banco de baterias
AU	Área útil
BV_j	Bônus verde concedido ao produtor no ano j após o início da operação
C	Comprimento do ambiente
C_{arm}	Custo dos equipamentos de armazenamento de energia
C_B	Capacidade total mínima do banco de baterias
CBV	Custo global do bônus verde
CCV	Custo do ciclo de vida útil
$CCVA$	Custo do ciclo de vida útil anualizado
C_{EN}	Custo da energia elétrica produzida
C_{fin}	Custo com financiamento do projeto
C_{gen}	Custo dos equipamentos de geração de energia
C_I	Capacidade do inversor
CI	Investimento inicial do projeto, incluindo instalação
CIA	Subsídio ao capital inicial
C_{inst}	Custo de instalação do sistema
C_{MD}	Consumo médio diário
$C_{O\&M}$	Custo com operação e manutenção
C_{rep}	Custo com reposições
C_{scp}	Custo dos equipamentos de condicionamento de potência
C_{sis}	Custo total com equipamentos e instalação do sistema
C_{sub}	Valor de possível subsídio ao projeto
C_{TB}	Capacidade do tipo de bateria utilizado
E	Iluminância necessária
E_{inj}	Energia anual produzida pelo sistema

E_P	Energia produzida anualmente pelo SFCR
FC	Fator de capacidade anual percentual
FEL	Eficiência de uma luminária
FRC	Fator de recuperação de capital
g	Inflação anual
G_M	Geração diária por módulo
h	Fator de utilização
HSP	Horas diária de Sol pleno
i	Taxa de desconto anual
IP	iluminância projetada
IBC	Índice custo-benefício
ID	Iluminância desejada
IP	Iluminância projetada
K	Fator de área
KT	Achatamento (<i>kurtosis</i>)
L	Largura
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
N	Número de anos de operação do sistema
N_B	Número total de baterias
N_{BP}	Número de baterias em paralelo
N_{BS}	Número de baterias em série
NL	Número de lâmpadas calculado
N_M	Número de módulos do SFCR
N_{MP}	Número de módulos em paralelo
N_{MS}	Número de módulos em série
NR	Real número de lâmpadas

P_{tm}	Salvage ao final da vida útil do projeto
P	Potência nominal do módulo
Par	Paridade US\$ x R\$
PBD	Payback descontado
PBS	Payback simples
PD	Profundidade de descarga do banco de baterias
$PERC$	Percentil
$PERC 10$	Percentil 10
$PERC 90$	Percentil 90
P_{ins}	Potência total instalada em módulos fotovoltaicos
$Prêmio_j$	Incentivo calculado a partir da tarifa da distribuidora
$Prod$	Produtividade
$Produção_j$	Produção de energia pelo SFCR no ano j
p_s	Valor de venda da energia produzida pelo sistema
Q_j	Remuneração líquida do projeto no ano j
R	Custo com reposição de equipamentos
R_j	Custo no ano zero da reposição do equipamento realizada no ano j
S	Custo total do sistema instalado, incluindo reposições
SK	Assimetria (<i>skewness</i>)
T_B	Tensão nos terminais das baterias utilizadas
TIR	Taxa interna de retorno
$TIRM$	Taxa interna de retorno modificada
T_M	Tensão de operação dos módulos
TS	Total de SFCRs beneficiados com a receita de apenas um ano do projeto
T_{SIS}	Tensão de entrada do inversor
VCE	Custo inicial do equipamento

VPL	Valor presente líquido
Δt	Período de tempo considerado
μ	Média
η_B	Fator de perdas associada ao banco de baterias
η_I	Eficiência do inversor
η_M	Fator de perdas associado aos módulos
η_O	Fator de perdas associado aos cabos e conexões
σ	Desvio padrão

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise de risco da viabilidade econômica para sistemas de geração de energia elétrica, baseada no Método de Monte Carlo. Inicialmente apresenta-se uma visão do estado-da-arte da participação das principais fontes de energias renováveis no mundo, em particular no Brasil, com o intuito de destacar a importância das mesmas no cenário mundial. O uso eficiente e racional da energia é evidenciado quando do projeto de qualquer edificação energeticamente eficiente, sendo o prédio do GEDAE/UFPA apresentado como exemplo de edificação que busca aplicar as características de eficiência energética, arquitetura bioclimática e conforto ambiental. Fundamentado no prédio do GEDAE/UFPA, um de seus SFCRs, tomado como exemplo, é apresentado e sua análise econômica é realizada usando inicialmente uma abordagem determinística e posteriormente uma análise probabilística, via Método de Monte Carlo. O custo da energia elétrica produzida e o valor presente líquido são primeiramente usados como variáveis dependentes nesta última análise, tendo em vista a fácil interpretação das mesmas. A taxa interna de retorno modificada e o *payback* descontado são variáveis dependentes usadas posteriormente para melhor qualificar a decisão do investidor frente aos riscos apresentados, já que o uso apenas das duas primeiras pode conduzir, como foi o ocorrido no estudo de caso analisado, a resultados com riscos comparáveis entre as alternativas propostas no trabalho. No Brasil, diante da ausência de uma política eficaz para desenvolvimento dos SFCRs no país, uma proposta para alavancar a nível nacional o uso destes sistemas é apresentada, quantificando o risco assumido pelo investidor e pelo Governo Federal ao adotar a referida proposta. Os resultados obtidos mostram que os SFCRs no Brasil praticamente alcançaram a paridade tarifária para consumidores residenciais trifásicos. Além disto, a cada ano de manutenção da proposta de adoção de incentivo apresentada, aqui chamada de bônus verde, mais de 800 MWp poderiam ser adicionados à matriz energética brasileira. E se nesta proposta, fosse aplicada uma redução de impostos de importação ou um incentivo para o estabelecimento de uma indústria nacional do setor que alcançasse uma diminuição nos preços de aquisição do conjunto gerador fotovoltaico/inversor de até 20 %, poderia haver uma inserção anual de quase 1 GWp na matriz energética nacional, com um tempo de recuperação de investimento pelo produtor menor que seis anos.

PALAVRAS-CHAVES: Energias Renováveis. SFCR. Método de Monte Carlo. Viabilidade Econômica. Análise de Risco. Paridade Tarifária.

ABSTRACT

This work presents a risk analysis of the economic feasibility for energy generation systems, based on the Monte Carlo Method. Initially is presented a vision of the state of the art concerned to the participation of the main sources of renewable energy in the world, in particular in Brazil, in order to highlight the importance of them in the world. The efficient and rational use of energy is evidenced when the design of any energy efficient building, being the GEDAE/UFPA's building presented as an example of construction that seeks to apply the characteristics of energy efficiency, bioclimatic architecture and environmental comfort. Based in the GEDAE/UFPA's building, one of its SFCRs is presented and its economic analysis is performed using initially a deterministic approach and later a probabilistic analysis, via Monte Carlo Method. The cost of electric energy produced and the net present value, in a first moment, are used as dependent variables in the last analysis, due their easy interpretation. Modified internal rate of return and the discounted payback are dependent variables used later to better qualify the investor's decision against the risks assumed, since the use of only the first two may lead, as occurred in the case study analyzed, to results with comparable risks between the various alternatives proposed. In Brazil, in front of lack of an effective national policy for development of SFCRs, a national proposal to leverage the use of these systems is presented, quantifying the risk assumed by the investor and by the Federal Government adopting such proposal. The results show that SFCRs in Brazil nearly achieved the parity tariff for three-phase residential consumers. In addition, each year maintenance of the proposed adoption of incentive presented, here called green bonus, over 800 MWp could be added to the brazilian energy matrix. And if in this proposal, were applied a reduction of import taxes or an incentive for the establishment of a national industry that could reach a decrease in acquisition costs of the PV generator/inverter set up to 20%, an annual insertion of almost 1 GWp in the national energy matrix could be achieved, with a payback time for producer lower than six years.

KEYWORDS: Renewable Energy, SFCR, Monte Carlo Method, Economic Feasibility, Risk Analysis, Parity Tariff.

INTRODUÇÃO

A situação mundial atual, onde a demanda de energia proveniente de fontes ditas “limpas”, é cada dia maior, requer a utilização de soluções que atendam a essa necessidade, maximizando o quanto possível as comodidades e praticidades da sociedade moderna. Hoje, o preço da energia, em especial no Brasil, segue uma tendência crescente, sem perspectivas próximas de reversão.

As fontes fósseis de energia, ainda muito usadas em todo o mundo, apresentam um período limitado de utilização devido a não serem renováveis. O preço destas é também crescente, pois sua matéria-prima exige, a cada dia, tecnologia mais eficiente e, em geral, mais onerosa para seu aproveitamento. Paralelamente a isto, aumentam progressivamente as pressões sociais para o uso de energias que preservem o meio ambiente.

Em virtude desta realidade, as fontes renováveis de energia, solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, hídrica e biomassa, apresentam-se como opções realistas que podem contribuir para a solução ou minimização dos problemas advindos da crescente demanda por energia. Considerando ainda que essas são fontes de energia quantitativamente expressivas e pouco poluentes e que o Brasil, em função de sua localização geográfica, é dotado de excelentes recursos naturais (vento, sol, água e biomassa), deve-se sempre buscar o melhor aproveitamento desses recursos energéticos.

A despeito da potencial abundância dos recursos energéticos brasileiros; apesar das tecnologias para aproveitamento das fontes renováveis de energia estarem suficientemente maduras para uso em escala comercial; apesar da existência de milhares de localidades muito afastadas das redes das distribuidoras, com população desprovida de energia elétrica e vivendo em condições desfavoráveis de saúde, educação e lazer; apesar portanto, da existência de uma enorme demanda reprimida, não existe ainda hoje uma ação efetiva, quer por parte do governo, quer por parte da iniciativa privada, que incentive a disseminação das tecnologias renováveis de geração de energia elétrica. Para muitos núcleos populacionais isolados no Brasil, as fontes renováveis de energia apresentam-se como caminho viável para atendimento de uma população crescente e opção concreta para diminuir, nos momentos de menor oferta dos recursos hídricos, a dependência das termelétricas no país.

Hoje muito se discute, no Brasil e no mundo, a crise no setor energético, a preservação do meio ambiente, e a necessidade da geração de empregos e renda. Porém, os grandes investimentos na área de energia no Brasil são geralmente direcionados para hidrelétricas, sem dúvida muito importantes, e termelétricas, ainda que apenas para servirem de *backup*

para o sistema elétrico brasileiro. Os investimentos nas tecnologias renováveis que poderiam, se bem utilizados, contribuir para amenizar o estrangulamento do setor elétrico nacional nos horários de pico ou para atendimento das necessidades básicas de localidades isoladas, não são suficientes para alavancar o processo.

Dificuldades econômicas no país, falta de regulamentação no setor elétrico que defina padrões de atendimento, necessidade de importação de equipamentos para implantação e reposição dos sistemas de geração, são algumas das argumentações usadas para justificar a colocação em segundo plano das tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

Este quadro, com seus pontos positivos e negativos, motivou a proposição desse trabalho. Através dele apresenta-se o conceito básico de uma edificação energeticamente eficiente, o Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE/UFPA, utilizando técnicas de geração por fontes renováveis de energia própria, em particular a fotovoltaica, e conceitos de efficientização energética, priorizando sempre que possível, a funcionalidade das instalações, o conforto ambiental e o uso eficiente da energia, desde a sua geração até seu aproveitamento final.

A energia necessária para alimentar as cargas prioritárias da edificação é atendida por quatro SFCRs e eventualmente pela energia proveniente da rede convencional da distribuidora de energia local. Além disto, um grupo gerador a diesel é integrado ao prédio para atender emergências e para realização de testes com o sistema de geração.

O prédio é monitorado e controlado quanto à geração e à melhor utilização dos recursos energéticos, além de atender às normas de segurança e conforto para os usuários. Ele ainda conta com monitoração de dados de radiação solar, velocidade e direção de vento, temperatura, umidade, pressão atmosférica e pluviosidade na edificação.

A apuração dos dados, especialmente de vento e radiação solar, facilita a realização de estudos sobre viabilidade e desempenho de sistemas de geração de energia elétrica na região.

A execução desse projeto representa a primeira edificação brasileira com geração híbrida fotovoltaica-eólica-diesel do Brasil interligada à rede de uma distribuidora de energia. Além disto, acredita-se que este prédio serve de polo atrativo para outros investimentos em geração de energia elétrica, o que certamente melhorará a vida das comunidades beneficiadas, pois pensar em cidadania e crescimento de uma sociedade sem disponibilidade real de energia é pura falácia.

Não se pode esquecer que a viabilidade econômica é de fundamental importância para qualquer projeto, e pode ser comprometida na sua interpretação, quando o comportamento das

variáveis envolvidas não são adequadamente consideradas. No caso dos sistemas de geração de energia elétrica, onde recursos financeiros de grande monta podem ser mobilizados, o uso de análises simples que desconsideram, por exemplo, o valor do dinheiro no tempo, a variação do preço dos equipamentos, a alteração da inflação e das taxas de desconto praticadas ao longo da vida útil, podem levar o investidor a avaliar positivamente um projeto sem sustentação econômica. Este trabalho apresenta um método de análise, baseado no Método de Monte Carlo (MMC), que quantifica de modo probabilístico o risco assumido pelo investidor, tornando mais clara a decisão de executar ou não determinado projeto.

Este trabalho também objetiva apresentar uma proposta de política de incentivos para o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil, tendo em vista a abundância do recurso solar em solo brasileiro e a carência de mecanismos efetivos que disseminem esta tecnologia no país.

Quatro capítulos compõem esta tese e são organizados de modo a sustentar a visão previamente colocada.

O Capítulo 1 apresenta o estado-da-arte das tecnologias de fontes renováveis de energia, destacando as de maior alcance, no Brasil e no mundo. Valores do custo de produção de cada uma delas e possibilidade de paridade tarifária para a energia fotovoltaica também são mostrados. É mostrado ainda um histórico do desenvolvimento das energias renováveis, eólica e solar fotovoltaica, na Alemanha, Espanha, China e Estados Unidos. O mecanismo do Leilão de Energias, adotado no Brasil para desenvolver as energias renováveis, eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, é destacado neste capítulo.

O Capítulo 2 apresenta as principais características de uma edificação energeticamente eficiente, tendo em vista que usar a energia de modo mais apropriado, combatendo o desperdício sem comprometer as atividades no seu interior, é tão importante quanto gerar energia a baixo custo e com menor impacto possível ao meio ambiente. O prédio do GEDAE/UFPA, parcialmente construído, é descrito como exemplo de caso de edificação que, adotando soluções arquitetônicas que privilegiam o conforto ambiental, busca ser energeticamente eficiente.

O Capítulo 3 trata do estudo de caso de um dos SFCRs do prédio do GEDAE/UFPA, apresentando o seu dimensionamento e suas análises de desempenho e econômica. Esta última é realizada sob as óticas determinística e probabilística. A abordagem determinística de resultado único e largamente usada, pode levar à decisões equivocadas enquanto que a segunda quantifica probabilisticamente o risco assumido pelo investidor. O risco é quantificado através do Método de Monte Carlo (MMC), que permite, através do uso das

mesmas equações do método determinístico, considerar as variações nos parâmetros de entrada de qualquer SFCR. O MMC já foi usado com êxito em várias áreas do conhecimento como a medicina, a física, a agricultura, etc. A aplicação do MMC em SFCRs é exemplificada neste trabalho através da análise do risco para o prédio do GEDAE/UFPA, podendo ser estendida para outras formas de geração, individuais e combinadas, sem perda de generalidade.

O Capítulo 4 apresenta uma proposta de política nacional para desenvolver os SFCRs no Brasil, quantificando o risco, através do MMC, para o investidor e para o Governo Federal. Mostra ainda a viabilidade econômica dos SFCRs para consumidores residenciais trifásicos, pois, para estes, a paridade tarifária já foi praticamente alcançada.

Ao final apresentam-se as conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 1

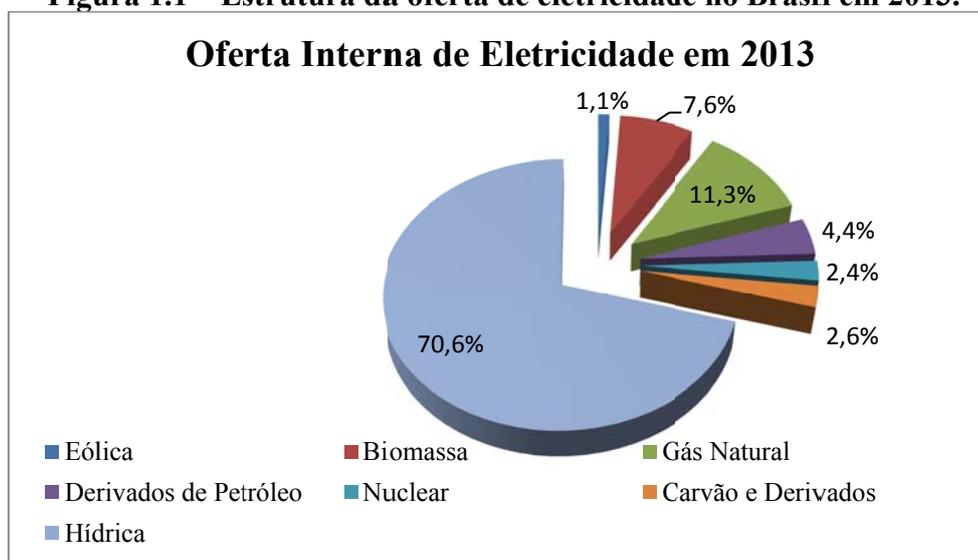
ESTADO DA ARTE E DESENVOLVIMENTO DAS TECNOLOGIAS DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

1.1. Fontes de Energia para Produção de Eletricidade no Brasil e no Mundo

O Brasil é um país dotado de grande potencial energético, seja ele renovável ou não. A geração e a utilização das fontes renováveis de energia como um todo, entretanto, ainda não têm a devida credibilidade junto à população no que concerne ao atendimento de suas necessidades básicas. Custo de geração, eficiência energética, impacto ambiental, confiabilidade técnica, operação, manutenção e tempo de vida útil são algumas das características das fontes renováveis de energia que, se bem esclarecidas, podem aumentar a credibilidade destas últimas. De um modo geral, novos investimentos na geração, transmissão e distribuição de energia são necessários para que os riscos de “apagões” e racionamentos de energia sejam mitigados, o que favorece a participação das fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira.

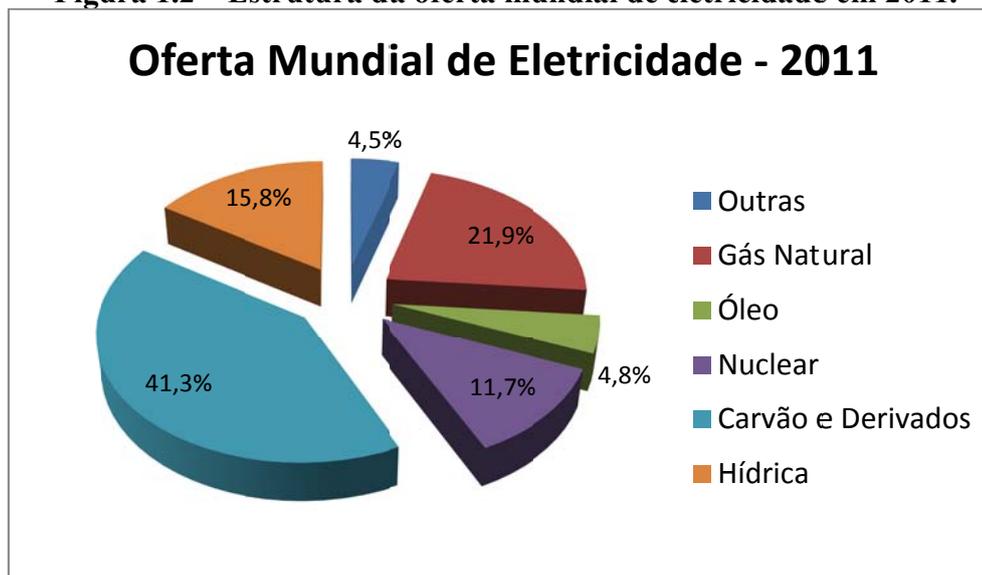
A Figura 1.1 mostra que a energia elétrica no Brasil é na sua maior parte, 70,6 %, gerada através de hidrelétricas, em função do enorme potencial hídrico nacional, enquanto que a contribuição conjunta da biomassa e da eólica somam apenas 8,7 %. Esta é uma característica que difere da estrutura mundial de geração de eletricidade, onde o carvão mineral ainda é a fonte mais utilizada, conforme apresenta a Figura 1.2.

Figura 1.1 – Estrutura da oferta de eletricidade no Brasil em 2013.



Fonte: Adaptada de BRASIL, 2014.

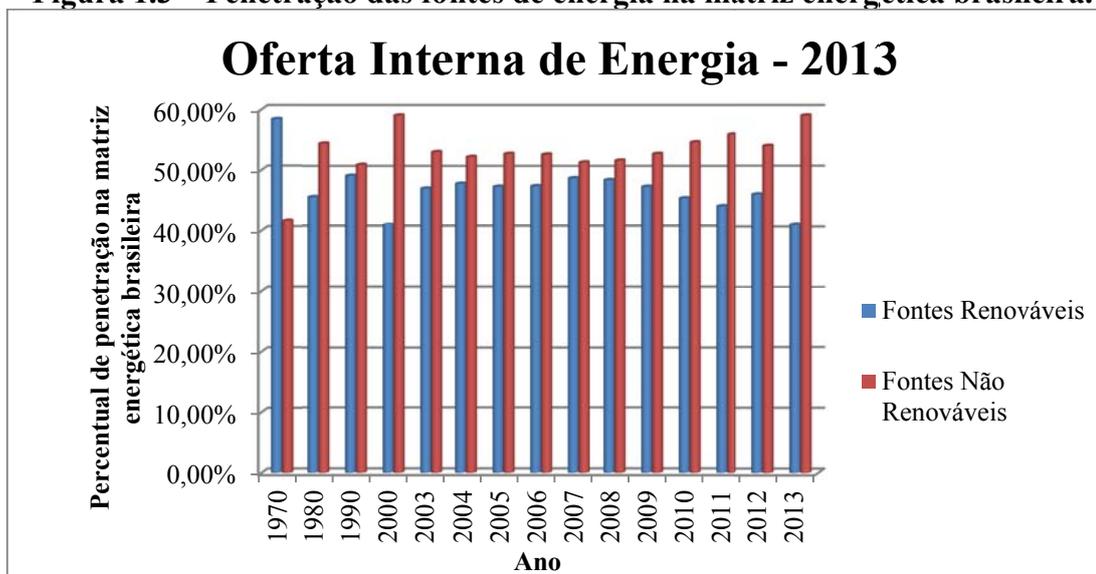
Figura 1.2 – Estrutura da oferta mundial de eletricidade em 2011.



Fonte: IEA, 2013. Key World Energy Statistics 2013.

O Brasil busca hoje, mesmo que timidamente, diversificar sua matriz energética; porém, ainda apresenta a maior parte de sua Oferta Interna de Energia, OIE, dependente de fontes não renováveis. A Figura 1.3 apresenta a penetração das fontes renováveis e não renováveis na matriz energética brasileira em recentes 44 anos, onde se observa que a participação das energias renováveis mantém-se inferior à das não renováveis desde a década de 80.

Figura 1.3 – Penetração das fontes de energia na matriz energética brasileira.



Fonte: Adaptada de BRASIL, 2014.

Dentre os vários tipos de energia utilizados, observa-se na Tabela 1.1 que, no período de 2009 a 2013, as energias não renováveis são as que contam com um maior incremento na capacidade de geração brasileira. Esta condição pode ser atribuída pelo insuficiente esforço

nacional para diminuir e eliminar a importação de petróleo e seus derivados, além da inexistência de uma política eficaz para desenvolvimento das energias renováveis no país. Salienta-se, contudo, que uma redução na colheita anual de cana-de-açúcar e um desvio no seu uso para a produção de açúcar e não do etanol, diminuiu a contribuição desta fonte na oferta de energia renovável no Brasil nos anos de 2011 e 2012, se comparados com os dois anos anteriores. A queda considerável na produção de energia, a partir de 2011, através de fonte hídrica deve-se à seca prolongada que afetou os principais reservatórios das maiores hidrelétricas brasileiras.

Tabela 1.1 – Participação por tipo de fontes de energia na matriz energética nacional, (Mtep).

FONTE	2013	2012	2011	2010	2009	Δ%
Oferta Total	296,2	283,6	272,3	268,8	243,9	21,4
Energia Não Renovável	174,7	163,3	152,1	147,6	128,5	35,6
Petróleo e Derivados	116,5	111,2	105,2	101,7	92,3	26,2
Gás Natural	37,8	32,6	27,6	27,5	21,2	78,3
Carvão Mineral e Derivados	16,5	15,3	15,2	14,5	11,6	31,9
Urânio (U ₃ O ₈) e Derivados	3,9	4,2	4,1	3,9	3,4	14,7
Energia Renovável	121,5	120,3	120,1	121,2	115,4	5,2
Hídrica e Eletricidade	37,1	39,2	39,9	37,7	37,1	0,0
Lenha e Carvão	24,6	25,7	26,3	26,0	24,6	0,0
Produtos da Cana-de-açúcar	47,6	43,6	42,8	47,1	44,5	7,0
Outras Fontes Renováveis	12,3	11,8	11,1	10,4	9,2	33,6

Fonte: Adaptada de BRASIL, 2014.

Novos investimentos e o aproveitamento racional e integrado das diversas fontes de energia presentes no país são providências urgentes a serem tomadas. O Brasil precisa reduzir cada vez mais sua dependência da importação de energia, em particular a elétrica, priorizando o aproveitamento de alternativas energéticas nacionais que atendam às necessidades da sociedade e que sejam minimamente nocivas ao meio ambiente.

1.2. Fontes Não Renováveis

O petróleo, o carvão mineral, o gás natural e o xisto betuminoso são exemplos de fontes de energias não renováveis, porque seus recursos são finitos e sem possibilidade de recomposição, já que foram formadas há milhões de anos pela decomposição de matéria orgânica, em um período em que o planeta apresentava condições climáticas extremas.

A praticidade na sua obtenção e processamento, aliada a abundância dessas fontes na natureza, levou ao uso intensivo das últimas durante muitos anos. O uso irracional desses recursos, associado à falta de cuidados com o meio ambiente, inicialmente não vislumbrados ou não verificados, simplesmente resultaram, nos dias de hoje, na anunciada escassez do

petróleo em médio prazo e no comprometimento de grandes mananciais de água e florestas, bem como da qualidade do ar em muitas regiões do planeta. Estima-se, de acordo com o (BP, 2014), que as atuais reservas mundiais de carvão, gás natural e petróleo, durarão por mais 113, 55,1 e 53,3 anos, respectivamente, mantidas as taxas de produção correntes. Ressalte-se, entretanto, que estes valores podem ser modificados com a descoberta de novas jazidas ou campos de exploração ao redor do mundo. Paralelamente a isto, a qualidade de vida da fauna e da flora, diretamente afetada pelos resíduos provenientes da exploração e aproveitamento dessas fontes de energia, pagou e ainda paga um preço muito alto.

As fontes não renováveis de energia, ainda que hoje constituindo-se no principal filão para os países desenvolvidos, precisam ser utilizadas de modo mais racional, observando-se não apenas o fator técnico-econômico, mas a extensão do impacto ambiental e social do seu uso.

O óleo diesel, por exemplo, ainda é um componente importante na geração de eletricidade em localidades isoladas e, em sistemas de reserva para aplicações que não permitam a interrupção no fornecimento de energia. Os grupos geradores a diesel existentes no mercado, que apresentam uma tecnologia madura, abrangem uma faixa ampla de potência, atendendo aos mais diversos tipos de aplicações. O custo inicial de implantação dos grupos geradores a diesel é quase sempre mais atraente quando comparado com os dos sistemas renováveis de capacidades equivalentes. Uma análise de tempo de retorno de investimento, no entanto, pode revelar que o maior capital inicialmente investido nos sistemas renováveis é recuperado após alguns anos de operação. Além disto, a menor agressão ao meio ambiente, o menor nível de ruído dos sistemas que se utilizam de fontes renováveis, além de seu maior tempo de vida útil, são fatores que devem ser considerados na escolha da fonte de energia e da tecnologia utilizada. Estes fatores, contudo, são de difícil quantificação e muitas vezes são desconsiderados nas análises econômicas. Outra questão importante a se considerar é que a utilização das fontes renováveis de energia, em função da atualidade de suas respectivas tecnologias, também geram novas oportunidades de trabalho e exigem, cada vez mais, mão-de-obra especializada, ampliando, portanto, a oferta de empregos.

Não se pode negar, contudo, a importância dos grupos geradores a diesel, considerando favoráveis as condições de implantação, espaço ocupado e custo inicial, além de fácil manutenção e reposição de peças. Além disto, trata-se de um sistema de fácil dimensionamento e instalação, tendo a vantagem de não depender de condições geográficas ou meteorológicas para seu funcionamento.

É justo também frisar que as energias oriundas de combustíveis fósseis recebem incentivos e compensações financeiras em todo o mundo. O preço da energia entregue ao consumidor é subsidiado, sob a alegação de favorecer aqueles economicamente menos favorecidos. Entretanto, segundo (WEO, 2011), apenas 8 % do total gasto de 409 bilhões de dólares com subsídios aos combustíveis fósseis em 2010, foi destinado a 20 % das camadas mais pobres da sociedade. No mesmo documento a IEA já apontava que se não for feita qualquer reforma na atual política de subsídio aos combustíveis fósseis, em 2020, a conta poderá atingir 660 bilhões de dólares. Já (WEO, 2012) afirma que o mundo gastou 523 bilhões de dólares em subsídios aos combustíveis fósseis em 2011, enquanto que (WEO, 2013) constatou um subsídio de 544 bilhões de dólares em 2012, mas apenas 7 % do total deste último ano foram destinados a 20 % das camadas mais economicamente inferiores dos países pobres.

1.3. Fontes Renováveis

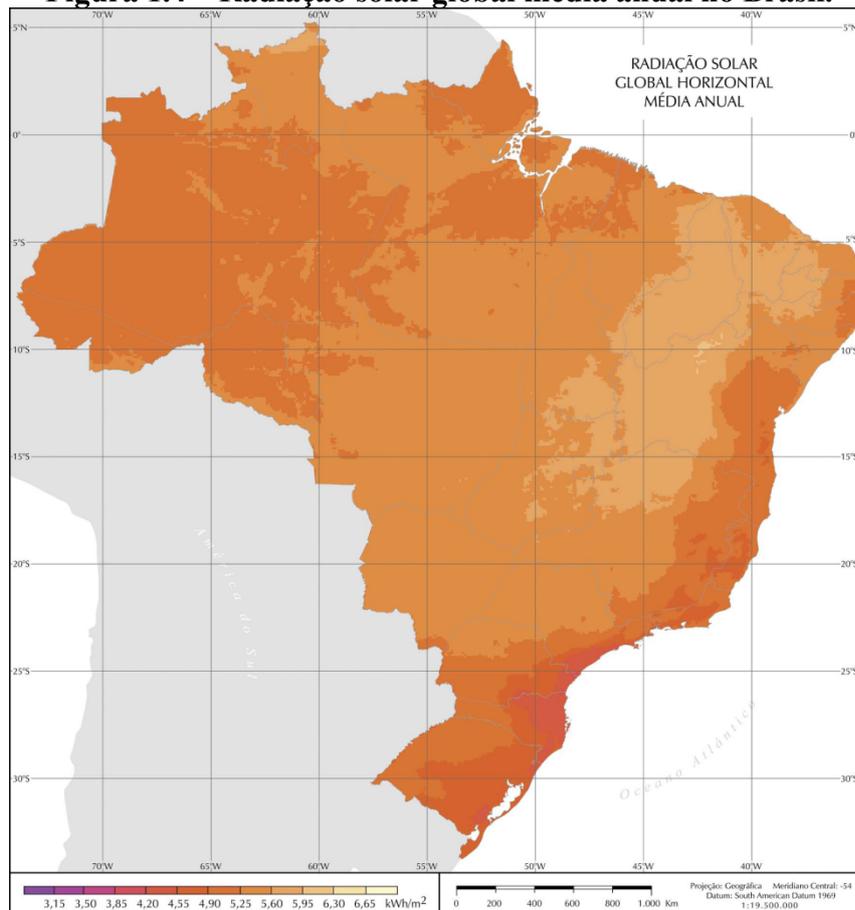
As fontes renováveis de energia estão disponíveis em abundância na Terra e, em especial, no Território Brasileiro, sendo que, neste último, as que oferecem um maior potencial para exploração são: o sol, o vento, a água e a biomassa. As características geográficas diversificadas do Brasil, com grande número de pequenos núcleos habitacionais isolados, favorecem um estudo detalhado da competitividade dessas fontes com aquelas não renováveis. O progressivo amadurecimento das tecnologias para os sistemas eólico e solar fotovoltaico, além da biomassa, certamente torna atrativo o uso dessas fontes em aplicações específicas e em operações integradas com outras tecnologias.

O uso exclusivo das fontes renováveis para solução definitiva dos problemas de energia é uma opção ainda remota, mesmo a nível internacional. Entretanto, o desenvolvimento de novas tecnologias para melhor aproveitamento desses recursos e a integração com outras formas de energia podem, sem dúvida alguma, minimizar a dependência brasileira e mundial de fontes não renováveis de energia, além de contribuir para a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida da população.

1.3.1. A Energia Solar

A energia solar é um recurso renovável abundante na Terra e em especial no Brasil. A cada hora, a quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra pode abastecer toda a demanda de seus habitantes durante um ano. Apesar de ser hoje uma tecnologia madura, seu custo ainda é apontado como a maior desvantagem, se comparada com os custos de geração a partir de outras formas de energia usadas, por exemplo, na produção de eletricidade para iluminação e acionamento de máquinas. Entretanto, a energia solar é um recurso importante e economicamente competitivo quando dirigida para determinados nichos como aquecimento de água para residências, sinalização marítima, eletrificação rural, bombeamento de água, cercas elétricas, telecomunicações ou utilização geral em localidades isoladas e de acesso difícil ou restrito. A Figura 1.4 mostra a disponibilidade do recurso solar em Território Brasileiro, demonstrando valores que ensejam sua viabilidade técnica de aproveitamento em todo o país.

Figura 1.4 – Radiação solar global média anual no Brasil.



Fonte: PEREIRA et al., 2006.

1.3.1.1. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

As aplicações em locais remotos ou de difícil acesso foi por muito tempo o foco mundial da geração fotovoltaica. Hoje, entretanto, o uso em aplicações conectadas à rede de energia, seja no meio rural ou urbano, passou a ser a área de maior investimento, representando a maior taxa de crescimento na capacidade instalada a nível mundial, quando comparada com aplicações para sistemas fotovoltaicos isolados. Só no período de 2008 a 2013, houve um acréscimo de 123 GW na capacidade mundial instalada em sistemas fotovoltaicos, saindo de 16 GW e passando para 139 GW, o que representou um incremento de 769 % em um período de cinco anos (REN21, 2012; REN21, 2013; REN21, 2014). Mais de 90 % deste total deve-se aos sistemas conectados à rede. Esta tendência mundial de expansão da geração fotovoltaica é a maior dentre todas as outras fontes de energias renováveis. Deve-se ressaltar que o substancial incremento na capacidade instalada foi influenciado pela crise econômica mundial que levou a redução de subsídios e incentivos concedidos pelos governos dos países, provocando, unilateralmente por parte das indústrias do setor, a queda de preço dos módulos fotovoltaicos. Este panorama diminuiu o custo dos sistemas fotovoltaicos, tornando-os economicamente competitivos diante de outras fontes de geração de energia elétrica.

Em cada uma de suas potenciais aplicações, considerando que os custos de operação e manutenção são baixos e a vida útil dos módulos fotovoltaicos é da ordem de 25 anos, os sistemas que utilizam a energia fotovoltaica podem apresentar retorno de seu investimento em algumas áreas específicas.

O aproveitamento da energia solar, por outro lado, apresenta o inconveniente de não ser despachável como a energia hídrica, por exemplo, estando sempre dependendo das condições climáticas que, embora previsíveis dentro de certas condições, fogem ao controle do homem. O custo inicial de instalação de um sistema solar fotovoltaico é outra dificuldade enfrentada, pois, ainda hoje, faz com que seu custo de geração supere o de outras fontes como, por exemplo, a hídrica e a eólica.

O preço estimado do Wp dos módulos fotovoltaicos varia entre os países. Entretanto, estimativas apresentadas na *Intersolar Europe* de junho de 2011 e confirmadas por (WHICHT, 2012) já projetavam valores da ordem de 0,79 US\$/Wp ao final do segundo quarto do ano de 2014, chegando a US\$ 2,00 o Wp instalado na mesma época. Publicações mais recentes apontaram ao final de 2013 valores de US\$ 2,20 para o Wp instalado sobre telhado em sistemas conectados à rede na Alemanha (REN21, 2014). Já o preço médio do Wp

em maio de 2014 atingiu US\$ 0,66 na Alemanha e US\$ 0,54 na China, segundo (SCHACHINGER, 2014), e em 26 de novembro de 2014 atingiu, entre vários produtores, o valor médio de US\$ 0,575 para módulos policristalinos, segundo (ENERGY TREND, 2014), o que aproximou o custo de geração dos sistemas fotovoltaicos dos praticados usando outras fontes de energia, outrora consideravelmente menores. Vale ressaltar que o aumento da oferta de módulos fotovoltaicos no mundo, aliado à retração no consumo, em especial na China, trouxeram os preços para baixo, proporcionando uma situação que deve manter os valores atuais estabilizados no ano de 2014.

Segundo a previsão de US\$ 2,00 para o Wp instalado, um sistema fotovoltaico completo de 1 kWp, instalado em localidades que apresentem produtividade média global do sistema de 1.200 kWh/kWp/ano, como é o caso de grande parte da Amazônia, custaria US\$ 2.000,00 e geraria 30.000 kWh em 25 anos de vida útil, desconsiderando qualquer queda no desempenho dos módulos ao longo do tempo. Se o sistema fotovoltaico fosse conectado à rede, não necessitaria de baterias e controladores de carga, mas trocaria o inversor aproximadamente a cada 10 anos, o que representaria, no geral, um decréscimo no custo ao final da vida útil do sistema, com a supressão do sistema de armazenamento de energia.

É fácil perceber que, se fosse considerado o preço da energia cobrada pela distribuidora local de 0,1870 US\$/kWh (tarifa residencial trifásica sem impostos cobrada pela distribuidora de energia em Belém-PA no mês de novembro de 2014, assumindo paridade da época de R\$ 2,565 = US\$ 1,00), o montante produzido pelo sistema fotovoltaico, ao final de sua vida útil, representaria um custo evitado de aproximadamente US\$ 5.610,00 contra US\$ 2.000,00 gastos com a aquisição e instalação do sistema, desconsiderando custos com operação e manutenção, além das despesas com as duas trocas do inversor. Portanto, em um primeiro momento, sob o ponto de vista do consumidor, não levando em conta os custos com operação e manutenção, mas apenas o montante líquido apurado após 25 anos, o sistema fotovoltaico conectado à rede seria economicamente competitivo frente ao valor tarifário cobrado pela distribuidora de energia local. Entretanto, o *payback* ultrapassaria 9 anos, o que desencorajaria qualquer investimento no setor por parte de um consumidor residencial. Nesta análise preliminar, desconsiderou-se também o valor do dinheiro no tempo e a variação da tarifa de energia ao longo da vida útil do SFCR.

Se, por outro lado, os impostos sobre a tarifa aplicada ao consumidor fossem considerados, o valor cobrado pela distribuidora subiria para 0,2647 US\$/kWh. Neste caso o custo evitado seria de aproximadamente US\$ 7.940,00 após 25 anos, enquanto que em aproximadamente 7 anos o custo evitado praticamente já cobriria o investimento realizado até

aquele momento. Deve-se, entretanto, considerar ainda duas trocas do inversor ao final dos anos 10 e 20 e as despesas com operação e manutenção, o que faria com que, neste último caso, o *payback* se aproximasse de 13 anos. Considerou-se que cada troca de inversor importou em US\$ 960,00.

Vislumbra-se, no entanto, que a paridade tarifária praticamente já foi alcançada para sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil, já que o custo do Wp instalado vem gradativamente se aproximando de US\$ 2,00. Segundo (LISITA JÚNIOR, 2005) o custo do Wp instalado era da ordem de US\$ 7,91 enquanto que para (VIEIRA, 2012) este valor chegava a US\$ 3,09. Considerando valores pagos para módulos, US\$ 1,64 / Wp, e inversores, US\$ 0,96 / W, adquiridos pelo GEDAE em 2011, foi possível instalar um SFCR de 3,36 kWp ao custo aproximado de US\$ 2,90 / W. Atualmente, dezembro de 2014, é possível instalar um SFCR, sem banco de baterias, a um custo de US\$ 2,60 / W em Belém, considerando US\$ 1,39 / Wp para o custo do módulo fotovoltaico.

A *European Photovoltaic Industry Association*, EPIA, em relatório de setembro de 2011 (EPIA, 2011), já projetava a paridade tarifária em alguns países, considerando SFCRs residenciais, comerciais e industriais. A Tabela 1.2 mostra esta estimativa, destacando a Itália como o país que alcançaria a paridade antes dos demais. As capacidades entre parênteses indicam o tamanho médio dos SFCRs considerados.

Tabela 1.2 – Estimativa de paridade tarifária para SFCRs em 2011 nos cinco principais mercados europeus.

SFCR	FRANÇA	ALEMANHA	ITÁLIA	ESPANHA	REINO UNIDO
Residencial (3 kW)	2016	2017	2015	2017	2019
Comercial (100 kW)	2018	2017	2013	2014	2017
Industrial (500 kW)	2019	2019	2014	2017	2019

Fonte: Adaptada de EPIA, 2011.

Vale ressaltar que os valores apresentados na Tabela 1.2 pressupunham uma queda nos custos do Wp instalado na Europa e uma conseqüente diminuição no valor de produção da energia. A Tabela 1.3 mostra a previsão da EPIA para os custos do Wp instalado e do kWh gerado pelos diferentes SFCRs em 2020. As variações verificadas são função das condições de custos dos equipamentos, instalação e políticas de incentivo nos países da Tabela 1.2.

Tabela 1.3 – Estimativa para 2020 e custos reais para o Wp instalado e para a energia gerada por SFCRs residenciais na Europa.

ANO	US\$/Wp	US\$/kWh
2010	3,166 – 8,443	0,341*
2011	2,639 – 7,131	0,290*
2020	2,168 – 2,967	0,114 – 0,250

Fonte: Adaptada de EPIA, 2011.

* Valor médio nos cinco mercados considerados.

No segundo semestre de 2013, tomando por base informações da empresa de consultoria ECLAREON, Espanha, Itália e Alemanha já haviam alcançado a paridade tarifária no setor comercial (SHAHAN, 2013).

Em janeiro de 2014 o Banco Alemão, *Deutsch Bank*, afirmou que a paridade tarifária já havia sido alcançada em diversas regiões do mundo, superando a previsão de 2011 feita pela EPIA (PARKINSON, 2014).

Tabela 1.4 – Situação de paridade tarifária no mundo em 2014 segundo o Banco Alemão.

	Residencial (US\$/kWh)		Comercial (US\$/kWh)		Industrial (US\$/kWh)	
	Produzida	Tarifa	Produzida	Tarifa	Produzida	Tarifa
África do Sul	0,15	0,22		-		-
Alemanha	0,215	0,25		-	0,18	0,20
Austrália	0,16	0,165		-		-
Califórnia	0,16	0,21		-		-
Chile	0,12	0,26		-		-
China	-	-		-	0,09	0,15
Espanha	0,13	0,20		-		-
Grécia	0,14	0,31		-	0,13	0,20
Israel	0,16	0,18		-		-
Itália	0,14	0,39		-	0,12	0,37
Japão	0,23	0,31		-		-
México	-	-	0,11	0,13	0,11	0,11
Tailândia	0,13	0,13		-		-
Turquia	0,17	0,19		-		-

Fonte: Adaptada de PARKINSON, 2014.

A Tabela 1.4 mostra a relação de localidades, o setor onde a paridade tarifária foi atingida e o custo médio da energia produzida pelos SFCRs e a faturada pelas distribuidoras de energia tomando a fonte habitual através da qual atendem à seus consumidores (PARKINSON, 2014). O primeiro valor representa o custo médio da energia produzida pelo SFCR e o segundo a tarifa média aplicada pela distribuidora local. Países como Brasil e México, segundo o relatório, ainda não atingiram a paridade tarifária no setor residencial, devido aos elevados custos de instalação e à alta taxa de desconto praticada nestes países. Já a França desfavorece os SFCRs ao conceder subsídios às distribuidoras de energia locais, o que

diminui a tarifa cobrada dos consumidores. Observa-se que a estimativa da EPIA para 2020 já foi, em muito, superada em 2014.

Para sistemas fotovoltaicos isolados, o custo do kWh gerado é bastante superior ao dos SFCRs, chegando a suplantar em até 10 vezes os custos dos últimos de mesmo porte (PEREIRA et al., 2014). Apesar do elevado custo e, portanto, da pouca atratividade econômica, são uma opção concreta para regiões remotas de difícil acesso.

1.3.1.2. Solar Térmica

A energia solar, juntamente com a biomassa e a energia geotérmica, são muito úteis para aplicações de aquecimento de água e de ambientes. A conversão direta da energia solar em energia térmica é uma aplicação que tem crescido bastante em todo o mundo, em especial na China. O Brasil também ocupa uma posição de destaque neste campo, situando-se entre os cinco países de maior capacidade instalada. Segundo o (REN21, 2014), no final de 2013, a capacidade instalada no mundo atingiu a ordem de 330 GWth, sendo em sua grande parte destinada apenas ao aquecimento de água para banho. Neste período, China, Estados Unidos, Alemanha, Turquia e Brasil lideraram mundialmente, nesta ordem, o ranking dos países de maior capacidade instalada para geração solar térmica. Em 2013 houve um incremento de novos 57,1 GWth no mundo, sendo cerca de 46,2 GWth apenas na China, fazendo com que a capacidade instalada naquele país alcançasse a marca de 68 % da capacidade mundial (REN21, 2014).

O uso de coletores solares para aquecimento de água para banho é, também no Brasil, a principal aplicação destes sistemas e, em geral, recuperam o capital investido em um prazo médio de 3 anos. O custo da energia gerada por um sistema solar térmico de 2 a 5 m² para uma residência é, em média, de 2 a 20 centavos de dólar o kWh, o que o torna economicamente vantajoso em relação ao preço da energia praticado pelas distribuidoras de eletricidade brasileiras. Em função do Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal, que possibilita que casas sejam atendidas com coletores solares para aquecimento de água para banho, do uso desta tecnologia em prédios de alguns municípios, além do custo competitivo comparado com o do aquecimento elétrico da água, o Brasil instalou cerca de 1 GWth ao final de 2013, totalizando aproximadamente 7 GWth instalados (REN21, 2014).

1.3.1.3. Solar Térmica com Concentradores

O uso de concentradores para produção de energia térmica é outra aplicação da energia solar, que apresentou uma capacidade mundial instalada em 2013 de 3,4 GW e cujos

principais países protagonistas da área são a Espanha e os Estados Unidos. Estas duas nações concentravam em 2013 quase 95 % das instalações mundiais, atingindo a primeira aproximadamente 2,3 GW e a segunda 900 MW (REN21, 2014). Estima-se que outros 1 GW serão incorporados a capacidade americana até o final de 2014. Segundo (REN21, 2014), o custo da energia produzida nos Estados Unidos com tal tecnologia varia entre 12,5 e 16,4 centavos de dólar o kWh para sistemas com concentradores tipo torre central de 20 – 250 MW.

1.3.2. A Energia Eólica

Antes do aproveitamento da energia elétrica pelo homem, a energia eólica era a responsável pela movimentação dos moinhos e das embarcações a vela. Muitas fazendas inglesas, holandesas e de outros países da Europa adotaram moinhos modernos que produziam energia mecânica para bombeamento de água, mas, atualmente, a produção de eletricidade é a maior aplicação da energia eólica. Ela foi a tecnologia que mais cresceu em valores absolutos em 2013, com crescimento médio no período de 2007 a 2013 de 22,5 % ao ano, atingindo a marca de 318 GW instalados, o que representa aproximadamente vinte e três vezes a capacidade da hidrelétrica de Itaipu, apesar do recuo acentuado em novos investimentos nos Estados Unidos em 2013. No período de 2008 a 2013 a capacidade instalada mundial foi multiplicada 8 vezes (REN21, 2012; REN21, 2013; REN21, 2014).

A China foi a responsável por 50 % no acréscimo na capacidade instalada no mundo em 2010, 44 % em 2011, 27 % em 2012 e aproximadamente 21 % ao final de 2013, ocupando ainda a liderança mundial, com 91,4 GW instalados e 75,5 GW em operação ao final de 2013. Vale registrar que o crescimento mundial foi da ordem de 12,4 % em 2013 (REN21, 2014). A Tabela 1.5 apresenta as maiores capacidades instaladas no mundo em 2013, além da posição comparativa do Brasil. Apesar de ocupar um lugar de destaque entre os países que mais aumentaram sua capacidade instalada no mundo em 2013, sétimo lugar, o Brasil ainda carece de maiores investimentos em linhas de transmissão para atender o incremento da geração eólica, o que, se não for melhor equacionado, certamente reduzirá a velocidade de utilização da energia eólica na matriz energética brasileira. Vale ressaltar que as aplicações *offshore*, embora ainda de menor relevância em valores absolutos, vem ganhando a preferência mundial no uso de aerogeradores de grande porte, sendo instalados em regiões cada vez mais distantes da costa.

Tabela 1.5 – Maiores capacidades instaladas no mundo em sistemas eólicos, incluindo o Brasil, até 2013.

	CAPACIDADE INSTALADA (GW)	ACRÉSCIMO 2012-2013 (GW)
China	91,4	16,1
Estados Unidos	61,6	1,6
Alemanha	34,7	3,2
Espanha	23,0	0,2
Índia	20,2	1,7
Brasil	3,5	0,9

Fonte: Adaptada de REN21, 2014.

Em junho de 2014 foram contratados, no Brasil, mais 551 MW a serem entregues até 2017 a um preço médio do MWh de R\$ 129,97, equivalente a US\$ 50,67. Este valor está próximo do menor valor médio praticado na Europa no final de 2013. A meta prevista pelo Governo Brasileiro é alcançar o total de 15,6 GW instalados em 2021 (REN21, 2014), o que corresponde a um crescimento médio de 20 % ao ano em relação à capacidade de 2013.

Hoje há uma tendência mundial para construção de parques eólicos de grande porte, *onshore* e *offshore*, muito em função dos custos competitivos com outras tecnologias. Ao final de 2013, o segundo maior parque eólico *onshore* em operação do mundo era o de *Alta Wind Energy Center* no Texas, Estados Unidos. Com capacidade instalada de 1,548 GW é composto por 586 aerogeradores instalados em alturas que variam de 106 a 126 m, podendo suprir 257.000 residências com energia elétrica (POWER TECHNOLOGY, 2014). A Figura 1.5 mostra uma foto da *Alta Wind Energy Center*. Entretanto, o maior parque eólico *onshore*, com conclusão prevista para 2020, é o de Gansu na China com uma capacidade de 20 GW e produção anual aproximada de 46.000 GWh. Atualmente, já é o maior parque eólico do mundo com aproximadamente 6 GW em operação.

Figura 1.5 – Foto do maior parque eólico do mundo até o final de 2013. (*Alta Wind Energy Center*).



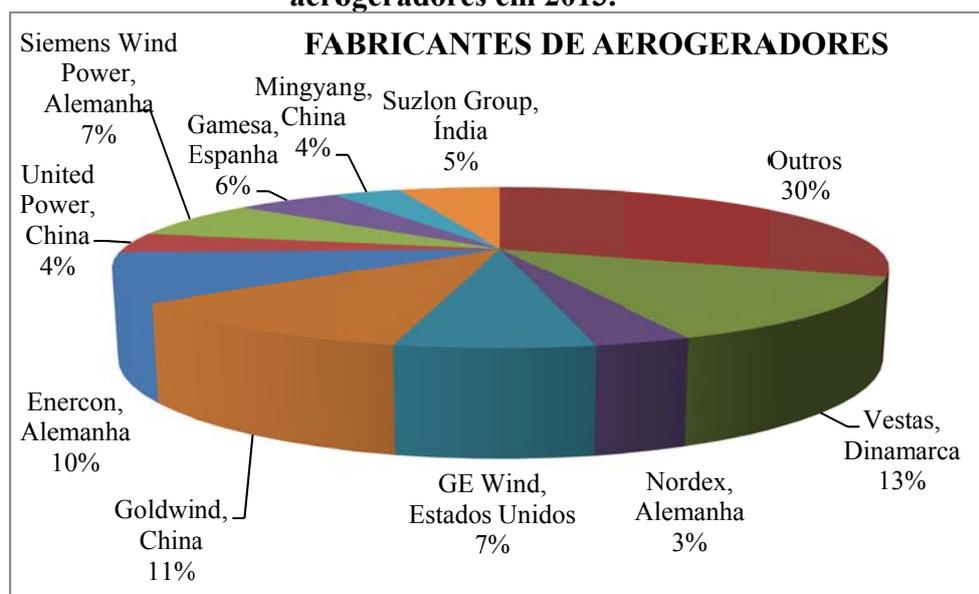
Fonte: POWER TECHNOLOGY, 2014.

O custo de geração da energia eólica no mercado internacional ao final de 2013, já se situava na faixa de 4 – 16 centavos de dólar o kWh para sistemas *onshore* com aerogeradores de capacidade entre 1,5 e 3,5 MW. Para sistemas *offshore* com aerogeradores de capacidade entre 1,5 e 7,5 MW, o custo variava entre 15 e 23 centavos de dólar o kWh gerado. Ao mesmo tempo, o custo do kW instalado para as duas situações mencionadas atinge, 1.500 – 1.950 e 4.500 – 5.500 US\$/kW, respectivamente (REN21, 2014). Desde o final de 2012, em algumas regiões da Austrália, Estados Unidos e Índia, a geração eólica já era economicamente competitiva em relação à geração convencional. Em 2014, alcançando o valor médio de 8,4 centavos de dólar o kWh, sistemas *onshore* atingiram a paridade tarifária com a geração de energia elétrica usando gás natural (SAVENIJE, 2014).

Embora o custo da energia gerada seja atrativo e o mercado seja crescente, o Brasil, em valores absolutos, ainda não é um participante importante no cenário internacional, produzindo uma quantidade pequena de energia proveniente de fonte eólica e não tendo empresas do ramo com participação relevante no mercado. Em 2013 o Brasil produziu apenas 6.576 GWh de energia via fonte eólica (valor estimado tomando um fator de capacidade médio de 32 %), com 3,5 GW de capacidade instalada, mas apenas 2,203 GW operacionais (BRASIL, 2014).

A Figura 1.6 mostra a participação das principais empresas fabricantes de aerogeradores no mundo em 2013.

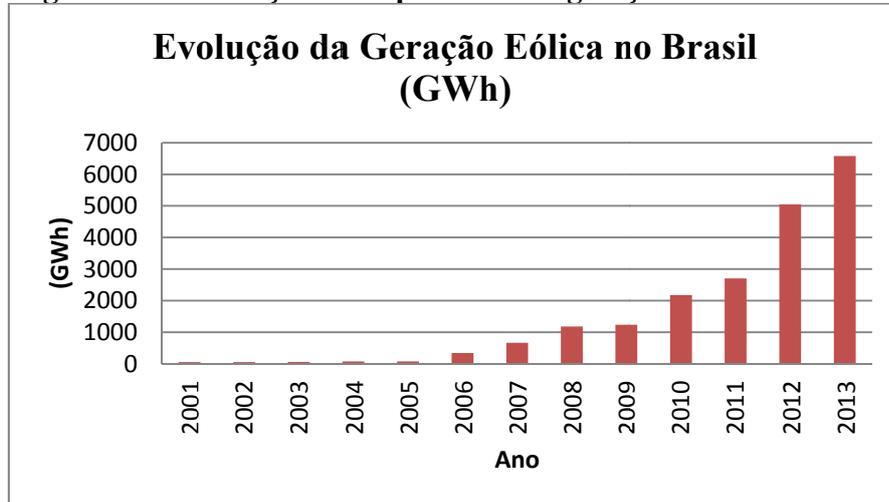
Figura 1.6 – Participação no mercado mundial dos maiores fabricantes de aerogeradores em 2013.



Fonte: Adaptada de REN21, 2014.

A Figura 1.7 mostra o progressivo crescimento brasileiro na geração de energia elétrica através da fonte eólica. Apesar de percentualmente importante, não é significativa diante da produção nacional.

Figura 1.7 – Evolução da capacidade de geração eólica no Brasil.

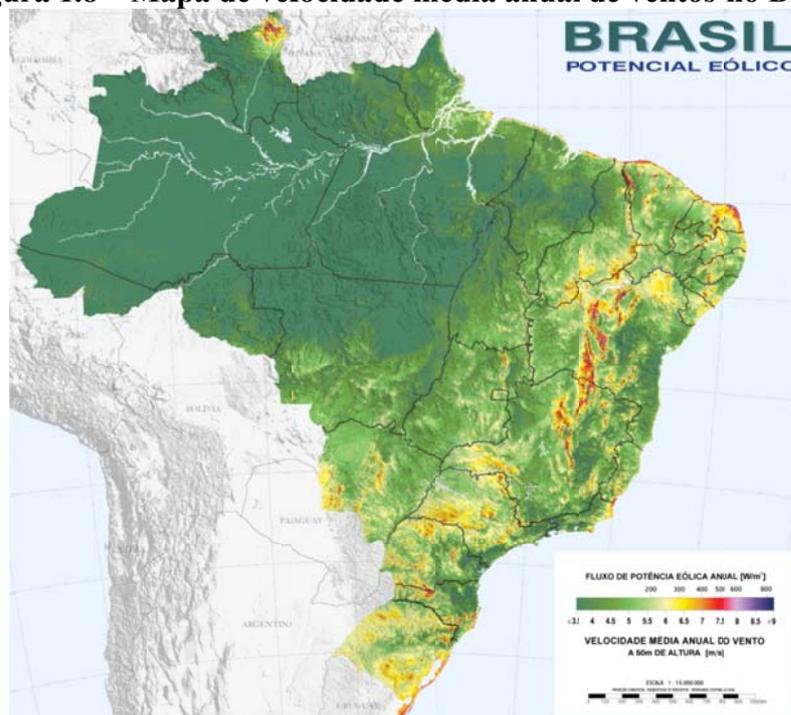


Fonte: Adaptada de BRASIL, 2014.

Um sistema de geração eólico é bastante seguro e confiável, necessitando apenas de manutenção regular a médio prazo. A grande dificuldade dessa tecnologia ainda é o seu custo de implantação.

No Brasil há uma abundância de potencial eólico em quase toda a costa que pode ser convenientemente explorada, conforme retrata a Figura 1.8.

Figura 1.8 – Mapa de velocidade média anual de ventos no Brasil.



Fonte: CRESEB, 2014.

Vale ressaltar que não existem dados significativos de medições realizadas no interior do país, especialmente nas regiões norte e centro-oeste, o que exige um estudo mais cuidadoso das potencialidades eólicas dessas regiões, especialmente em locais com relevo acidentado. De qualquer modo, o Brasil padece duplamente por não ter uma indústria consolidada para produção de aerogeradores adaptados às nossas características de recursos eólicos. Primeiramente, precisa importar, pagando caro e com inexpressivo desenvolvimento de mão-de-obra ou indústria especializada nacional. Em segundo lugar, os aerogeradores importados são produzidos para regimes com velocidades médias de vento elevadas, em geral, acima de 3,5 m/s para geração significativa e aproximadamente acima de 11 a 12 m/s para geração em regime nominal. Fica claro pela Figura 1.9 que apenas uma pequena parte do Território Brasileiro se enquadra nesta situação, mais notadamente o litoral norte, extremo sul e nordeste do país. É fundamental, portanto, o desenvolvimento de uma indústria de base que apresente produtos adaptados às necessidades e características de oferta de ventos da maior parte do Brasil.

Alguns fabricantes iniciaram a produção de aerogeradores e componentes para sistemas eólicos de grande porte no Brasil: a dinamarquesa Vestas em Maracanaú/CE, a americana GE Wind em Campinas/SP, a francesa Alstom e a espanhola Gamesa, ambas em Camaçari/BA. Entretanto, os modelos fabricados ainda não atendem adequadamente às condições de regime de vento locais, o que diminui a eficiência do sistema.

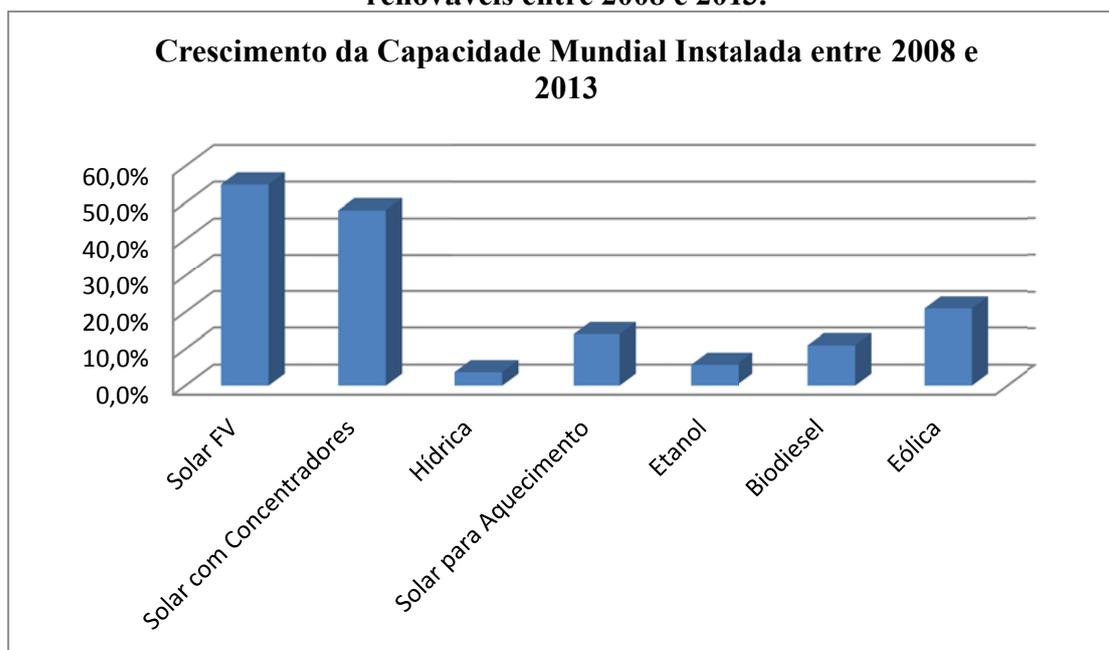
O conhecimento da real potencialidade eólica de uma região é o primeiro passo para se tomar a decisão sobre o aproveitamento da energia dos ventos. Um período de pelo menos um ano de medições de velocidade e direção dos ventos, em alturas específicas, faz-se necessário para que condições comerciais de vento sejam confirmadas. Ventos com alta velocidade média, pouca variação na direção e pequenas turbulências ao longo do ano são os indicados para utilização em sistemas eólicos.

1.3.3. A Energia Hídrica

A energia hídrica, que provém da energia cinética da água, alcançou em 2013 a marca histórica da capacidade instalada de 1 TW, correspondendo a aproximadamente 64 % de toda a capacidade mundial de geração das fontes renováveis de energia. No ano de 2013, o incremento de 4 % na sua capacidade de geração em relação ao ano de 2012, em valor absoluto cerca de 40 GW, dentre todas as fontes renováveis de energia, foi a que contribuiu com o maior acréscimo da capacidade mundial por fontes renováveis de energia. Os cinco países de maior capacidade instalada no mundo em 2013, por ordem decrescente, foram:

China, Brasil, Estados Unidos, Canadá e Rússia. Apenas no ano de 2013, o investimento mundial em novas hidrelétricas, com capacidades superiores a 50 MW, ficou na faixa de 35 bilhões de dólares (REN21, 2014). Apesar do relevante valor aplicado na construção de novas hidrelétricas, o crescimento percentual médio na capacidade instalada no período de 2008 a 2013 foi inferior aos de outras fontes renováveis, como indica a Figura 1.9.

Figura 1.9 – Crescimento percentual na capacidade instalada mundial das fontes renováveis entre 2008 e 2013.



Fonte: Adaptada de REN21, 2012; REN21 2013; REN21 2014.

Atualmente alguns países projetam metas a atingir na capacidade instalada em hidrelétricas, tais como: Japão (49 GW em 2020), China (290 GW até 2015 e 300 GW em 2020) e Etiópia (10,6 GW até 2015 e 22 GW em 2030) (REN21, 2012; REN21, 2013; REN21, 2014). Brasil, Estados Unidos e Canadá não possuem metas a cumprir quanto à capacidade instalada em geração hídrica.

O Brasil tem a meta de atingir 7,8 GW em pequenas e médias hidrelétricas até 2021 (REN21, 2014). No caso de grandes projetos hidrelétricos não há metas a cumprir, mas existem algumas grandes hidrelétricas em construção ou em projeto, como é o caso de Belo Monte (11.233 MW, em construção), São Luiz do Tapajós (8.381 MW, em projeto), Jirau (3.450 MW, em conclusão, mas já operando parcialmente com 25 turbinas), Santo Antônio (3.150 MW, em construção, mas operando parcialmente) e Jatobá (2.338 MW, em projeto).

Apesar de ser uma forma de energia limpa, a partir da geração, a energia hídrica apresenta algumas restrições associadas à área alagada necessária para formação dos lagos das

hidrelétricas e o conseqüente impacto na fauna, flora e núcleos urbanos atingidos pelo empreendimento.

A existência de muitos cursos d'água aproveitáveis e o baixo custo do kWh gerado, quando comparado com outras formas de energia renováveis, ainda apresenta-se como forte argumento para a primazia das hidrelétricas no Brasil e em outros países com recursos hídricos consideráveis. Entretanto, durante muitos anos, os empreendimentos na área foram maciçamente direcionados para a construção de grandes usinas hidrelétricas, deixando em segundo plano os investimentos em pequenas e médias centrais hidrelétricas, onde o benefício para diversas situações é inegável e o custo ambiental é consideravelmente menor que nos grandes projetos.

As exigências e justificadas precauções cada vez maiores, a dificuldade para captação de recursos internos e externos para a construção de grandes projetos, além do aprimoramento de técnicas eficientes e menos impactantes ao meio ambiente, são aspectos que devem ser considerados nos projetos de produção de energia elétrica via recurso hídrico. Portanto, investimentos em hidrelétricas de pequeno e médio portes e o aproveitamento de fontes alternativas de energia devem ser tomados como soluções viáveis para uso isolado ou integrado aos sistemas hídricos de geração de eletricidade.

1.3.4. A Energia da Biomassa

A biomassa é fonte de energia renovável de baixa emissão de carbono, conseqüentemente com reduzida colaboração para o efeito estufa, e relativamente pequenos impactos ambientais, além de seu uso permitir o aproveitamento do calor para cogeração de energia. A área equivalente para instalação de um projeto de biomassa é muito menor que aquela necessária para a implantação de uma usina hidrelétrica de mesma capacidade, por exemplo, o que minimiza seu impacto ao meio ambiente. Outras características importantes das usinas de biomassa são a diversidade de fontes para a produção de energia e a descentralização da geração, facilitando, assim, a universalização do acesso à energia elétrica com a finalidade de inserção no sistema produtivo e econômico local. Sua aplicação está, em geral, associada à produção de energia elétrica, calor para aquecimento de água e ambientes ou biocombustíveis.

No mundo, ao final de 2013, apenas com a produção de eletricidade, a biomassa proporcionou 405 TWh, além de 87,2 bilhões de litros de etanol e 26,3 bilhões de litros de biodiesel para o setor de transportes, correspondendo a um acréscimo aproximado naquele ano em relação a 2012 de 15,7 %, 5,6 % e 11,4 %, respectivamente. Os Estados Unidos

detinham, na mesma época, a maior capacidade instalada para transformação de biomassa em eletricidade com 15,8 GW, 19,5 % do total no mundo, seguidos pela Alemanha com 8,1 GW e China com 6,2 GW. O custo de produção de energia através de gaseificadores usando biomassa, por exemplo, é baixo e situando-se em torno de 0,06 – 0,24 US\$/kWh para plantas entre 1 – 40 MW, ao final de 2013 (REN21, 2014).

A China, com 43 milhões de biodigestores domésticos em 2011, se destaca no uso da biomassa para produção de biogás, liderando o mercado mundial na aplicação em residências. A Índia vem em seguida, com 4,4 milhões de biodigestores domésticos (REN21, 2012).

No Brasil há diversas possibilidades de matérias-primas que são ou podem ser utilizadas com sucesso na geração de energia e renda através da biomassa, como a cana-de-açúcar, a lenha, o carvão vegetal, os óleos vegetais, os resíduos sólidos de madeira, o lixo, etc.

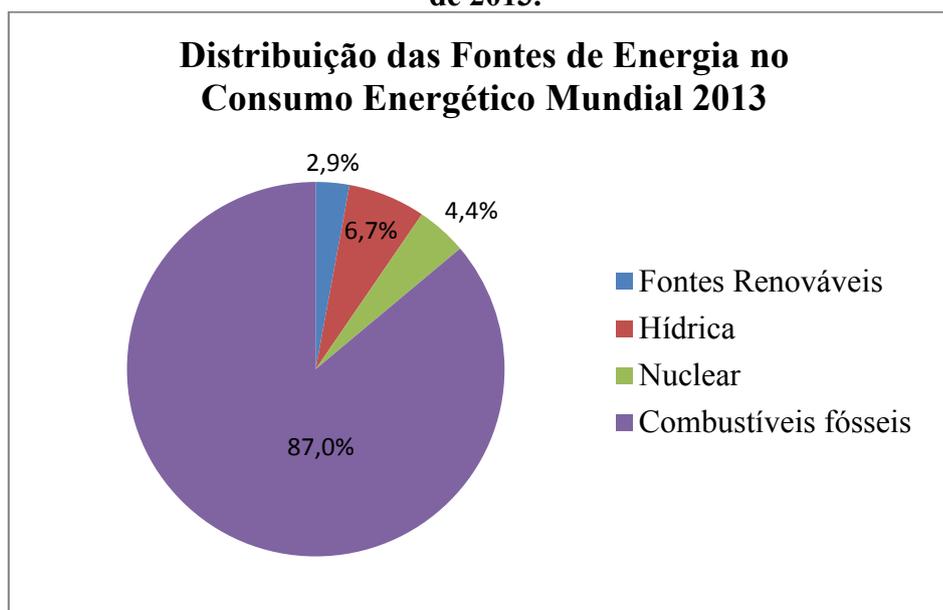
Destacam-se na área de biocombustíveis, em primeiro lugar, a produção de etanol, do qual o Brasil é o segundo maior produtor mundial, respondendo por aproximadamente 29,2 % do total global de 87,2 bilhões de litros, em 2013, atrás apenas dos Estados Unidos, que respondeu por 57,7 %, e o biodiesel, cujo líder é também os Estados Unidos com 18,3 % da produção mundial. O Brasil e os Estados Unidos, este último através do etanol derivado do milho, juntos foram responsáveis por 86,9 % da produção mundial de etanol em 2013 (REN21, 2014). O etanol vem recebendo forte incentivo do governo federal brasileiro para sua produção, exceção apenas nos anos de 2012 e 2013, reagindo à subida do preço do petróleo no mercado internacional. Em média, o custo de produção do etanol em 2013, mesmo sofrendo no Brasil um aumento de aproximadamente 15 % em relação ao preço praticado em 2012, é atrativo, girando em torno de 0,82 – 0,93 US\$/L para o etanol da cana-de-açúcar e 0,85 – 1,28 US\$/L para o etanol do milho (REN21, 2014). Esta política tem tido apoio no mercado consumidor brasileiro porque, em fevereiro de 2011, 90 % dos veículos leves fabricados no país já eram *flex-fuel*, com uma taxa de 25 % de etanol adicionado à gasolina. Já em setembro do mesmo ano, este percentual foi reduzido para 20 %, devido principalmente ao uso da cana-de-açúcar ter sido direcionado para a produção de açúcar, com preços mais atrativos no mercado externo, além da redução da área plantada da cana-de-açúcar no Brasil. Entretanto, vale salientar que o Brasil vem perdendo mercado internacional para o etanol de milho, devido ao forte subsídio do governo americano a seus produtores. A política de incentivos do governo federal brasileiro aos biocombustíveis permitiu um considerável crescimento de 71 % em 2010, considerando 2009 como base, na produção de etanol e 49 % na produção de biodiesel (BRASIL, 2011). Entretanto, ao final de 2011, comparando com a produção de 2010, verificou-se um decréscimo de 10,8 % na produção de

etanol no Brasil, enquanto que em 2012 a produção de etanol superou a de 2011 em 2,4 %. Já em 2013 a produção de etanol cresceu cerca de 18 % em relação ao ano anterior e projeções para 2014 indicam um acréscimo de cerca de 13 % na produção nacional (REN21, 2012; REN21, 2013; REN21, 2014). No caso do biodiesel, a primazia mundial da produção não está nas mãos de apenas dois países, como acontece com o etanol, mas pelo menos 4 nações respondem por aproximadamente 70,5 % da produção mundial. Do total de 26,3 bilhões de litros de biodiesel produzidos no mundo em 2013, os Estados Unidos responderam por 42 %, seguidos por Alemanha (10,6 %), Brasil (10 %) e Argentina (7,9 %) (REN21, 2014). O custo médio de produção de biodiesel nos Estados Unidos em abril de 2014 era cerca de 1,06 US\$/L para o B20 e aproximadamente 1,12 US\$/L para o B99 (UNITED STATES OF AMERICA, 2014).

1.4. – Aspectos Gerais do Desenvolvimento Mundial das Energias Renováveis

O incentivo ao uso das energias renováveis é uma questão discutida em todo o mundo. Muitos países buscam alternativas e executam ações que procuram ser eficazes nos aspectos de viabilidade técnica e econômica, além de pouco agressivas ao meio ambiente. Em países como Alemanha, Estados Unidos, Espanha, Dinamarca, Itália e Canadá, por exemplo, resultados animadores já foram conquistados na direção da diminuição da dependência de combustíveis fósseis e incremento na participação das energias renováveis nas suas matrizes energéticas. É fato, entretanto, que muito ainda precisa ser feito, pois, a nível mundial, a contribuição das energias renováveis, se já mobiliza diversos segmentos da sociedade, ainda é pouco significativa em valor absoluto na matriz energética primária mundial. A Figura 1.10 mostra que ao final de 2013 as energias renováveis, excetuando a hídrica, respondiam por apenas 2,9 % do consumo global de energia (BP, 2104).

Figura 1.10 – Participação das fontes de energia no consumo energético global ao final de 2013.



Fonte: (BP, 2014).

De todo modo, apesar da crise econômica internacional atual, da falta de consenso nos fóruns mundiais sobre questões climáticas e ambientais, em 2009 houve um investimento significativo a nível mundial, no que diz respeito ao aumento da capacidade instalada de fontes renováveis para geração de energia, se comparado com anos anteriores. Pode-se destacar, por exemplo, o crescimento no ano de 2009 em relação a 2008, nas seguintes áreas: solar conectado à rede (55 %), eólica (32 %), solar para aquecimento de água e calefação (21 %), geotérmica (4 %), hidráulica (7 %), produção de etanol (10 %) e biodiesel (9 %). Considerando a contribuição das energias renováveis na geração de eletricidade em 2013, esta chegou a 22,1 % no mundo, enquanto que os combustíveis fósseis supriram o restante da demanda com 77,9 % (REN21, 2014).

Em 2013 a China apresentou-se como o país com a maior capacidade instalada em fontes renováveis, respondendo por aproximadamente 24 % do total mundial (REN21, 2014).

Ao final de 2013 a penetração das energias renováveis na matriz energética de alguns países alcançou patamares importantes, como no caso da Itália, onde a energia fotovoltaica respondeu por 7,8 % da eletricidade gerada, a Dinamarca e a Espanha, que geraram 33,2 % e 20,9 %, respectivamente, do consumo de eletricidade através da energia eólica.

A Tabela 1.6 mostra alguns indicadores que detalham o aumento da capacidade instalada nos anos de 2007 a 2013, além do comprometimento de países em estabelecer metas para uso e investimento em energias renováveis.

Tabela 1.6 – Indicadores da evolução mundial da capacidade instalada para algumas fontes renováveis de energia, investimentos, políticas de comprometimento com metas e *feed-in*.

INDICADORES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Novos investimentos em fontes renováveis (excluindo hidrelétricas maiores que 50 MW) (bil US\$)	146	171	168	227	279	250	215
Hídrica (GW)	830	860	925	945	955	960	1000
Eólica (GW)	94	121	159	198	238	283	318
Solar conectado à rede (GW)	7,6	13,5	21	-	-	-	-
Solar isolado ou conectado à rede (GW)	-	16	23	40	71	100	139
Produção anual em módulos PV (GW)	3,7	6,9	10,7	24	34,8	35,5	47
Produção anual de etanol (bil L)	53	69	79	85	84,2	83,1	87,2
Produção anual de biodiesel (bil L)	10	15	17	19	22,4	22,5	26,3
Países com políticas de metas	68	75	89	109	118	138	144
Países com <i>feed-in</i>	-	71	82	87	92	97	98

Fonte: Adaptada de REN21, 2010; REN21, 2011; REN21, 2012; REN21, 2013 e REN21, 2014.

Ainda que entre os anos de 2007 e 2013, o investimento em fontes renováveis tenha sido expressivo, os subsídios concedidos no mundo para o desenvolvimento das mesmas não têm tido atenção compatível. O subsídio mundial concedido à produção de energia por combustíveis fósseis ainda superou em mais de quatro vezes aqueles concedidos à produção de energia através de fontes renováveis em 2013. A Tabela 1.7 apresenta a evolução dos subsídios concedidos a nível mundial.

Tabela 1.7 – Evolução dos subsídios mundiais à produção de energia por fontes renováveis e por combustíveis fósseis no período de 2009 a 2013.

SUBSÍDIO MUNDIAL ANUAL (bilhões US\$)		
ANO	Fontes Não Renováveis	Fontes Renováveis
2009	312	57
2010	409	66
2011	523	87
2012	544	100
2013	550	121

Fonte: Adaptada de WEO2010; WEO2011; WEO2012; WEO2013; WORSTALL, 2014.

A Tabela 1.8 mostra os países que mais investiram nos anos de 2009 a 2013 em energias renováveis, e onde ocorreram os investimentos.

Tabela 1.8 – Países que mais investiram em algumas áreas das energias renováveis nos anos de 2009 a 2013.

ÁREA	ANO	1º	2º	3º	4º	5º
Novos investimentos em fontes renováveis	2009	Alemanha	China	EUA	Itália	Espanha
	2010	China	Alemanha	EUA	Itália	Brasil
	2011	China	EUA	Alemanha	Itália	Índia
	2012	China	EUA	Alemanha	Japão	Itália
	2013	China	EUA	Japão	Reino Unido	Alemanha
Eólica	2009	China	EUA	Espanha	Alemanha	Índia
	2010	China	EUA	Espanha	Alemanha	Índia
	2011	China	EUA	Índia	Alemanha	Reino Unido/Canadá
	2012	EUA	China	Alemanha	Índia	Reino Unido
	2013	China	Alemanha	Reino Unido	Índia	Canadá
Solar fotovoltaico isolado ou conectado à rede	2009*	Alemanha	Itália	Japão	EUA	Rep. Tcheca
	2010	Alemanha	Itália	Rep. Tcheca	Japão	EUA
	2011	Itália	Alemanha	China	EUA	França
	2012	Alemanha	Itália	China	EUA	Japão
	2013	China	Japão	EUA	Alemanha	Reino Unido
Solar térmica	2009	China	Alemanha	Turquia	Brasil	Índia
	2010	China	Alemanha	Turquia	Índia	Austrália
	2011	China	Turquia	Alemanha	Índia	Itália
	2012	China	Turquia	Alemanha	Índia	Brasil
	2013	China	Turquia	Índia	Brasil	Alemanha
Produção anual de etanol	2009	EUA	Brasil	China	Canadá	França
	2010	EUA	Brasil	China	Canadá	França
	2011	EUA	Brasil	China	Canadá	França
	2012	EUA	Brasil	China	Canadá	França
	2013	EUA	Brasil	China	Canadá	França
Produção anual de biodiesel	2009	Alemanha/França	Alemanha/França	EUA	Brasil	Argentina
	2010	Alemanha	Brasil	Argentina	França	EUA
	2011	EUA	Argentina	Argentina	Brasil	França
	2012	EUA	Argentina	Alemanha/Brasil	França	Indonésia
	2013	EUA	Alemanha	Brasil	Argentina	França

Fonte: Adaptada de REN21, 2010; REN21, 2011; REN21, 2012; REN21, 2013 e REN21, 2014.

*Apenas sistemas conectados à rede.

A Tabela 1.9 mostra os cinco países que apresentavam a maior capacidade instalada no planeta, considerando algumas áreas das energias renováveis ao final de 2013.

Tabela 1.9 – Os cinco países que detinham a maior capacidade instalada em algumas áreas das energias renováveis ao final de 2013.

ÁREA	1º	2º	3º	4º	5º
Energias renováveis (excluindo hidráulica)	China	EUA	Alemanha	Espanha Itália	Índia
Energias renováveis (incluindo hidráulica)	China	EUA	Brasil	Canadá	Alemanha
Eólica	China	EUA	Alemanha	Espanha	Índia
Biomassa	EUA	Alemanha	China	Brasil	Índia
Geotérmica	EUA	Filipinas	Indonésia	México	Itália
Solar fotovoltaica	Alemanha	China	Itália	Japão	EUA
Solar térmica com concentradores	Espanha	EUA	Emirados A. Unidos	Índia	Argélia

Fonte: Adaptada de REN21, 2014.

Em 2013 o Brasil apresentou o seu menor investimento em energias renováveis, desde 2005, excetuando a fonte hídrica, saindo da lista dos 10 países que mais investiram no mundo em energias renováveis.

É importante destacar ainda o incremento na geração de empregos com as atividades relacionadas às energias renováveis. Ao final de 2012 eram estimados cerca de 5,7 milhões de postos de trabalho no mundo, associados às práticas com energias renováveis, subindo para quase 6,5 milhões ao final de 2013. Observa-se que os países que lideraram este quadro são os que mais investiram nas respectivas fontes de geração de energia, como mostra a Tabela 1.10.

Tabela 1.10 – Postos de trabalho diretos e indiretos associados às energias renováveis em 2013.

ÁREA	ESTIMATIVA MUNDIAL	PAÍSES LÍDERES
Biocombustíveis	1.453.000	Brasil (820.000 para produção de cana-de-açúcar e etanol) Estados Unidos (236.000)
Eólica	834.000	China (356.000) Alemanha (138.000) Estados Unidos (51.000) Índia (48.000)
Biomassa	782.000	China (240.000) Estados Unidos (152.000) Índia (58.000) Alemanha (52.000)
Solar fotovoltaica	2.273.000	China (1.580.000) Índia (112.000) Bangladesh (100.000) Alemanha (56.000)
Solar para aquecimento de água	503.000	China (350.000) Índia (41.000)

Fonte: Adaptada de REN21, 2014.

1.5 – Histórico do Desenvolvimento das Energias Renováveis em Alguns Países

1.5.1 - Alemanha

A Alemanha é um dos países que, a nível mundial, mais aposta nas energias renováveis como alternativa viável para atendimento de suas necessidades energéticas. Ao final do século XX, a Alemanha dependia grandemente de combustíveis fósseis, principalmente carvão, e usinas nucleares para geração de energia elétrica. Entretanto, com o advento de novas fontes de energia, técnica e economicamente viáveis e que proporcionam menores danos ao meio ambiente, a Alemanha passou a investir nesta área, tornando-se hoje

um dos países que mais contribuem para o desenvolvimento e o uso das energias renováveis. Ela destaca-se, não apenas como fabricante de produtos e materiais, nas áreas eólica e fotovoltaica, mas está na vanguarda dos programas de disseminação destas energias e das políticas regulatórias que as sustentam.

Em 1990 a Alemanha criou um mecanismo legal de remuneração pela energia gerada por fontes renováveis, que deveria ser obrigatoriamente paga pelas distribuidoras de energia aos produtores. O valor pago seria um percentual da tarifa cobrada pela distribuidora, garantido por 20 anos. O recurso para pagamento da remuneração seria através de uma taxa extra, cobrada na conta de energia de todos os consumidores do país. As distribuidoras eram obrigadas a ligar os sistemas produtores via energias renováveis, pagando o equivalente a 65 – 90 % da tarifa cobrada dos clientes de cada distribuidora (MENDONÇA, ____). Esta remuneração mostrou-se compensadora para os sistemas eólicos, porém insuficiente para que as plantas fotovoltaicas operassem sem prejuízo. Ainda assim, esta ação resultou em uma expansão no mercado de 20 MW em 1989 para 490 MW em 1995.

Na tentativa de consolidar as energias renováveis, subsídios concedidos a determinados tipos de energia em outros países também foram uma realidade na Alemanha. Neste sentido e para contribuir com o meio ambiente e com o desenvolvimento da indústria relacionada às energias renováveis, especialmente a de aerogeradores, a Alemanha criou em 2000 o Ato de Subvenção Prioritária para Fontes Renováveis de Energia (ALEMANHA, 2000), que estabelecia uma compensação financeira a ser paga pelas distribuidoras de energia aos produtores de eletricidade através das seguintes fontes renováveis: eólica, solar, hídrica, gases de depósitos sanitários, esgotos, geotérmica ou biogás. Não tinham direito à compensação as hidrelétricas com capacidade superior a 5 MW, as usinas de biomassa com capacidade superior a 20 MW, as usinas a gás com capacidade instalada superior a 5 MW ou os empreendimentos em que o Governo Alemão controlasse mais de 25 % do mesmo. Os sistemas fotovoltaicos instalados em edificações deveriam ter capacidade inferior a 5 MWp. Ressalte-se que o subsídio para a geração de eletricidade através de sistemas fotovoltaicos era o de maior remuneração dentre todas as outras formas de energia beneficiadas pela lei, chegando a 0,5062 €/kWh (KREWITT, W.; NITSCH, J., 2003; LAUBER, 2004). Este benefício, entretanto, seria reduzido paulatinamente, considerando que a sustentabilidade econômica seria atingida a médio prazo, e já em 2002 o valor da compensação sofreria uma redução anual de 5 % para novas instalações. No caso da energia fotovoltaica, esta lei abrangeria todas as instalações comissionadas até o dia 31 de dezembro do ano seguinte em que a capacidade instalada no país atingisse 350 MWp. A compensação seria paga por um

período mínimo de 20 anos para cada produtor, tomando como base o ano de 2000 para instalações anteriores a esse referido ano.

Em 2004 foi aprovada uma emenda ao Ato de Subvenção Prioritária para Fontes Renováveis de Energias de 2000, fixando metas para aumentar a participação das energias renováveis na geração de eletricidade na Alemanha. Fixou-se uma participação de pelo menos 12,5 % até 2010 e 20 % até 2015. Os valores de remuneração passaram na época para € 0,0539 e € 0,5935 o kWh para a energia gerada pelo vento e pelo sol, respectivamente. Sob a justificativa de encorajar a inovação técnica e a redução nos custos de produção de eletricidade através das fontes renováveis, uma redução anual no subsídio, entre 1 % a 6,5 %, foi aplicada. Com esta medida a Alemanha alcançou, já em 2006, uma participação de 11,8 % das energias renováveis na produção de eletricidade. No período de 2004 a 2006, a produção de eletricidade através de sistemas eólicos e biomassa dobrou, enquanto que o incremento na produção por sistemas fotovoltaicos foi da ordem de nove vezes (MENDONÇA, ____). Ao final de 2013, a participação das energias renováveis na produção de eletricidade já atingia 25 %, projetando chegar entre 40 e 45 % em 2025 (REN21, 2014).

Algumas medidas foram essenciais para o fortalecimento e desenvolvimento das energias renováveis na Alemanha, quais sejam:

- Obrigatoriedade de conexão dos sistemas de geração de eletricidade por fontes renováveis às redes das distribuidoras;
- Definição clara das tecnologias beneficiadas e as capacidades atingidas pela legislação;
- Atribuição de uma tarifa justa para remunerar a produção e incentivar novos investimentos;
- Estabelecimento de um período de tempo limitado para aplicação dos subsídios;
- Estabelecimento de um mecanismo de sustentação financeira para a remuneração aos produtores de energia;
- Progressiva redução na remuneração dos subsídios.

Em 2009 entrou em vigor o Ato de Subvenção Prioritária para Fontes Renováveis de Energia de 2009 (ALEMANHA, 2008), que nada mais era que um novo ajuste no Ato de 2000, com o intuito de incentivar ainda mais a política de *feed-in*. Fontes de energia do tipo solar, eólica, geotérmica, hídrica e biomassa, por exemplo, foram atingidas pela legislação e diversas medidas foram tomadas, tais como:

- Aumento do subsídio tarifário ao kWh produzido pelos novos sistemas eólicos *onshore*, durante os primeiros cinco anos de operação, de € 0,0803 para € 0,092, e posterior redução para € 0,0502 nos anos subsequentes. O subsídio diminuiria 1 % a cada ano para novas instalações, diferentemente dos 2 % de decréscimo aplicados antes do ajustamento de 2009. Para os sistemas *offshore* a garantia do incentivo seria de 20 anos com um *feed-in* de 0,13 €/kWh para o primeiro ano de operação.
- Redução no *feed-in* para sistemas fotovoltaicos de todos os tamanhos. Para instalações fotovoltaicas sobre os telhados, os valores estipulados para o kWh produzido foram reduzidos para € 0,4301 para sistemas inferiores a 30 kW, € 0,4091 para capacidades entre 30 e 100 kW, € 0,3958 para instalações entre 100 kW e 1 MW, e € 0,33 para sistemas com capacidade superior a 1 MW. Para instalações colocadas em estruturas fora de edificações, *free-standing*, a tarifa para o kWh produzido decresceu para € 0,3194. Este ajuste também eliminou o bônus financeiro para as instalações fotovoltaicas integradas às edificações, e o substituiu por uma tarifa de € 0,2501 pelo kWh produzido. Já em janeiro de 2010 houve um decréscimo de 9 % no *feed-in* para as instalações sobre os telhados para consumo local, enquanto que as outras categorias sofreram uma redução de 11 %. Considerando a diminuição crescente nos custos de investimento nas instalações fotovoltaicas, duas outras reduções ocorreram em 2010. Em julho a redução prevista de 8 % aumentou para 13 %, e em outubro foi acrescida de mais 3 %. Em janeiro de 2011 outros 13 % de redução no *feed-in* foram introduzidos. Ressalte-se que para as instalações fotovoltaicas nos telhados o valor da remuneração aplicada em janeiro de 2011 chegou a € 0,2873 para cada kWh produzido.

A legislação de 2009 foi revogada em 2012 pelo Ato de Subvenção Prioritária para Fontes Renováveis de Energia de 2012 (ALEMANHA, 2012), atualmente em vigor, que estabeleceu metas de participação das energias renováveis na produção de eletricidade na Alemanha. Deste modo, o patamar a ser alcançado é: 35 % em 2020, 50 % em 2030, 65 % em 2040 e 80 % em 2050. Além disso, a Tabela 1.11 apresenta o comportamento estabelecido na época para a estrutura tarifária de remuneração do *feed-in* na geração de eletricidade a partir de algumas fontes de energias renováveis.

Tabela 1.11 – Estrutura tarifária para *feed-in* na Alemanha em 2012.

FONTE	TARIFA <i>FEED-IN</i> (€/kWh)
Hídrica	≤ 500 kW: 0,127 > 500 e ≤ 2 MW: 0,083 > 2 MW e ≤ 5 MW: 0,063 > 5 MW e ≤ 10 MW: 0,055 > 10 MW e ≤ 20 MW: 0,053 > 20 MW e ≤ 50 MW: 0,042 > 50 MW: 0,034 Tarifas pagas por 20 anos, mas com redução de 1 % ao ano.
Eólica <i>Onshore</i>	0,0893 com redução anual de 1,5 % para as novas instalações
Eólica <i>Offshore</i>	0,015 para todos os sistemas. Os antigos sofrendo redução anual de 5 % na tarifa a partir de 2015 e os novos tendo redução anual de 7 % a partir de 2018. Para acelerar o retorno do investimento para novos sistemas, uma tarifa opcional de 0,019 por 8 anos também foi oferecida, além do padrão de 0,015 por 12 anos.
Fotovoltaica	0,2874 para os primeiros 30 kWp de capacidade instalada 0,2733 para capacidades instaladas entre > 30 e ≤ 100 kWp 0,2586 para capacidades instaladas entre > 100 kWp e ≤ 1 MWp 0,2156 para capacidades instaladas acima de 1 MWp.

Fonte: Adaptada de ALEMANHA, 2012.

As tarifas *feed-in* para várias fontes renováveis de energia vêm decrescendo regularmente na Alemanha. Em setembro de 2014, o *feed-in* para SFCRs já se encontrava em 0,1269 €/kWh para instalações sobre o telhado de até 10 kWp e 0,0918 €/kWh para capacidades superiores a 1 MWp também instaladas sobre os telhados (LANG, 2014). Ao longo do ano de 2014, a Alemanha passou a aplicar uma redução 0,5 % ao mês nas tarifas de *feed-in* para os SFCRs.

1.5.2 - Espanha

Desde 1998, através do Real Decreto 2818/1998 (ESPAÑA, 1998) e posteriormente com o Real Decreto 436/2004 (ESPAÑA, 2004), a Espanha incentivou a disseminação e a consolidação das energias renováveis no país, visando, de um modo geral, diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, aumentar a eficiência do uso da energia elétrica, promover o estabelecimento de uma indústria e um mercado voltado para as energias renováveis, criar condições para a geração de novos postos de trabalho, além de contribuir para a redução da emissão de gases nocivos ao meio ambiente.

As ações promovidas na Espanha buscaram desenvolver diversas formas de geração de energia através de fontes renováveis. Foram contempladas a geração hídrica, solar térmica e fotovoltaica, eólica *onshore* e *offshore*, biomassa, geotérmica, resíduos sólidos urbanos, oceanotérmica, das marés e das ondas. Para cada uma delas foram estabelecidos padrões e

normas de subsídios e incentivos, de modo a respeitar suas particularidades, especialmente no que concerne ao estágio de evolução tecnológica e ao custo de produção. Na época foi estabelecida uma meta de participação de 12 % das energias renováveis na produção de energia elétrica nacional até o ano de 2010. As medidas adotadas anteciparam esta meta e já em 2008 a Espanha apresentava uma participação de 21 % das energias renováveis na geração de eletricidade, projetando atingir 29,4 % ao final de 2010 (WEO, 2010). No fim de 2012, a participação das energias renováveis na geração de eletricidade já havia atingido 30 %, sendo 7,9 % devido apenas às fontes renováveis não hídricas, enquanto que a meta de participação para 2020 foi estabelecida em 38,1 % (REN21, 2014).

As marcas a serem alcançadas para capacidade instalada pela Espanha, estipuladas em 2009 foram: 20 GW em eólica (2020), 10 GW em solar fotovoltaica (2020), e 500 MW em solar térmica com concentradores em (2010). Ao final de 2013 duas destas metas já haviam sido superadas, com 23 GW em eólica e 2,3 GW em solar térmica com concentradores, enquanto que a solar fotovoltaica alcançou 5,6 GW (REN21, 2014), saindo de 3,4 GW ao final de 2009.

Para alcançar o patamar estabelecido ao final de 2013, a Espanha, a partir do Real Decreto 436/2004, adotou algumas ações mostradas na Tabela 1.12.

Tabela 1.12 – Estrutura tarifária para geração de energia por fontes renováveis em 2004.

SOLAR	Grupo b1.1 (até 100 kW)	Grupo b1.1 (acima de 100 kW)	Grupo b1.2
Tarifa (feed-in)	575 % nos primeiros 5 anos 476 % posteriormente	300 % nos primeiros 25 anos 240 % posteriormente	300 % nos primeiros 25 anos 240 % posteriormente
Prêmio	0	250 %	250 % nos primeiros 25 anos 200 % posteriormente
Incentivo	0	10 %	10 %
Revisão	Até alcançar 150 MW de capacidade instalada	Até alcançar 150 MW de capacidade instalada	Até alcançar 200 MW de capacidade instalada

EÓLICA	Grupo b2.1 e b2.2 (até 5 MW)	Grupo b2.1 e b2.2 (acima de 5 MW)
Tarifa (feed-in)	90 % nos primeiros 15 anos 80 % posteriormente	90 % nos primeiros 5 anos 85 % nos 10 anos seguintes 80 % posteriormente
Prêmio	40 %	40 %
Incentivo	10 %	10 %
Revisão	Até alcançar 13 GW de capacidade instalada	Até alcançar 13 GW de capacidade instalada

Fonte: Adaptada de ESPANHA, 2004.

onde:

Grupo b1.1 – sistemas fotovoltaicos;

Grupo b1.2 – sistemas solar térmicos;

Grupo b2.1 – sistemas eólicos *onshore*;

Grupo b2.2 – sistemas eólicos *offshore*;

Tarifa – percentual da tarifa média anual estabelecida pelo Real Decreto 1432/2002;

Prêmio - prêmio percentual pago pelo uso das energias renováveis;

Incentivo – valor percentual pago por participação no mercado.

Todos os percentuais acima têm como base a tarifa média cobrada pela distribuidora de energia local.

As medidas sobreaqueceram o mercado espanhol e, em setembro de 2008, também motivado pela crise econômica internacional, houve uma redução no *feed-in*, provocando abundância na oferta de módulos fotovoltaicos, redução nos lucros nas empresas do setor e um valor estimado de aproximadamente 26 bilhões de dólares, a ser coberto pelos contribuintes com as despesas associadas às medidas tomadas para alavancar a energia solar na Espanha.

A partir de 2010, em função da crise econômica mundial, a Espanha adotou uma nova legislação que limitava o número de horas anuais beneficiadas com o *feed-in*, ainda que mantendo este benefício aos valores de 2007, 0,42 €/kWh. Além disso, incertezas se mostraram claras no que concerne à redução de incentivos para sistemas já instalados.

Em resposta a grave crise econômica espanhola, que produziu um número enorme de desempregados, o Governo Espanhol decidiu suspender, por tempo indeterminado, todos os incentivos de *feed-in* para os novos sistemas fotovoltaicos instalados a partir de 2013. Alternativamente ao *feed-in* para os sistemas fotovoltaicos foi criado um sistema de remuneração para a energia injetada na rede via sistemas de até 100 kW, recebendo o produtor pelos kWh injetados o mesmo valor cobrado pela distribuidora de energia local. Antes da suspensão do *feed-in*, a tarifa de remuneração paga aos produtores era 0,28 €/kWh para sistemas conectados à rede de até 20 kW, e 0,15675 €/kWh para aqueles acima desse porte, pelo prazo de 30 anos em ambos os casos. A partir de 2014, a Espanha foi dividida em cinco zonas climáticas, definindo o máximo de horas que seriam remunerados os novos sistemas fotovoltaicos, como, por exemplo, na zona V: 1.753 h para instalações fixas, 2.279 h para instalações com rastreamento em um único eixo e 2.367 para aqueles com rastreamento em dois eixos (PV MAGAZINE, _____).

Observa-se que a política de incentivos na Espanha foi exitosa em valores absolutos e como propulsora do estabelecimento de uma indústria competitiva, em especial nas áreas eólica e solar, mas hoje paga um preço alto por ter estabelecido, na busca de rapidamente alcançar elevados patamares de capacidade instalada, um valor exagerado ao *feed-in*, sem mesmo fixar reduções progressivas aos incentivos concedidos.

1.5.3 - China

A China é o país mais populoso do mundo e o que cresce a taxas mais elevadas também. Nas últimas três décadas o crescimento do PIB chinês situou-se seguidamente em torno de 9,8 % ao ano. Esta realidade estimulou a China a produzir grandes quantidades de energia, em especial eletricidade. Nos últimos 10 anos o incremento médio anual na capacidade de geração de energia foi da ordem de 53 GW, atingindo 962 GW instalados em 2010.

Em 2010 a China foi o país que mais investiu em energias renováveis no mundo, 50 bilhões de dólares, superando pelo segundo ano consecutivo a Alemanha e os Estados Unidos, com 41 e 30 bilhões de dólares, respectivamente. Portanto, um enorme esforço foi e está sendo realizado para atender à forte demanda energética chinesa. Se por um lado este esforço gera riquezas, por outro compromete o meio ambiente, já que 70 % da eletricidade usada na China tem o carvão como matéria-prima. Apesar de, juntamente com os Estados Unidos, relutar em assinar os acordos internacionais para redução de emissão de partículas resultantes da queima de combustíveis fósseis, por exemplo, a China tem acenado com promessas de reverter este quadro, destacando-se como o país que mais investe em energias renováveis no mundo. Em 2007, a China estabeleceu um plano de desenvolvimento de metas a cumprir até 2020, tendo como base a capacidade instalada de 2005. A Tabela 1.13 mostra este plano de metas, onde todas as fontes de energia citadas apresentam consideráveis acréscimos percentuais. Acrescenta-se a Tabela 1.13 a situação das capacidades instaladas em 2005.

Tabela 1.13 – Metas chinesas estabelecidas para a capacidade instalada das energias renováveis, estabelecidas em 2007.

Fonte de Energia	<i>2005</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>	<i>Variação em 15 anos (%)</i>
Hídrica (GW)	117	180	300	156
Biomassa (GW)	2,0	5,5	30	1.400
Eólica (GW)	1,26	5,0	30	2.281
Solar Fotovoltaica (GW)	0,07	0,3	1,8	2.471
Bioetanol (milhões ton/ano)	1,02	2,0	10	880
Biodiesel (milhões ton/ano)	0,05	0,2	2,0	3.900

Fonte: Adaptada de SIANG, 2007.

As metas chinesas estabelecidas em 2007, se já eram ambiciosas, ainda foram revistas, em alguns casos, devido ao extraordinário crescimento obtido, muito além das previsões. Novas estimativas já projetam contar com 200 GW de geração eólica em 2020 (REN21, 2014), o que é excepcional, sabendo que ao final de 2004 havia apenas 0,8 GW instalados. Entretanto, a China já havia alcançado 25,8 GW em geração eólica em 2009 (REN21, 2010), o que representa um crescimento de mais de 30 vezes em um intervalo de 5 anos. Explica-se em parte este extraordinário impulso pelo entendimento do Governo Chinês de que a energia eólica é a mais adequada para aquele país.

No que concerne à geração solar fotovoltaica, esta tinha como meta para 2020, um total instalado de 1,8 GW, partindo de 0,14 GW existentes em 2009. Vale ressaltar que novos estudos foram realizados e uma nova projeção para 20 GW ao final de 2020 foi estabelecida (REN21, 2014).

Em 2005 o governo chinês determinou cinco princípios básicos para desenvolvimento das energias renováveis em seu território (CHINA, 2005), quais sejam:

- Estabelecer as energias renováveis como de importância estratégica para o país;
- Remover barreiras de mercado;
- Criar mercados para as energias renováveis;
- Estabelecer um sistema de garantia financeira para os investimentos;
- Estabelecer prêmios para os produtores, estimular a compreensão das diversas fontes de energias renováveis e promover a capacitação de mão-de-obra.

Dentre as ações concretas para fazer cumprir os cinco pontos citados, destaca-se aqui apenas as fontes solar fotovoltaica e eólica. O Governo Chinês incentivou o desenvolvimento das mesmas do seguinte modo:

1. Criou em 2009 o Programa Telhados Dourados (*Golden Roofs*) (CAMPBELL, 2010), que dotava um incentivo de US\$ 2,93 por kWp instalado para sistemas fotovoltaicos nos telhados ou integrados a edificações e com capacidade superior a 50 kWp, o que cobriria, na época, mais de 50 % dos custos iniciais de instalação. Paralelamente um *feed-in* de US\$ 0,16 foi acrescido aos sistemas beneficiados pelo programa. Vale ressaltar que edificações que suportem pelo menos 50 kWp em módulos fotovoltaicos não são muito comuns;
2. Criou em 2009 o Programa Sol Dourado (*Golden Sun*), que cobriria até 50 % dos custos iniciais, incluindo linhas de transmissão e distribuição para conexão à rede, e até 70 % dos custos iniciais, se o sistema estivesse localizado em áreas remotas não conectadas à rede. Este programa atendia sistemas fotovoltaicos com capacidade mínima de 300 kWp, devendo ser construídos em um intervalo de 1 ano e com operação mínima de 20 anos (CAMPBELL, 2010);
3. As taxas de juros praticadas pelos bancos para financiamento de projetos em todas as áreas de energias renováveis não excediam 2 %/ano;
4. Passou a cobrar, a partir de 2009, de todos os consumidores de energia, uma taxa para desenvolvimento das energias renováveis. Esta taxa variava de acordo com a classe do consumidor, 0,0145 centavos de dólar para residencial e 0,029 centavos de dólar para comercial e industrial. O valor arrecadado iria direto para a companhia de energia que adquirisse a energia renovável de um determinado produtor;
5. Possibilitou cada província chinesa estabelecer novas tarifas *feed-in* para a energia fotovoltaica. Em Beijing o *feed-in* foi estabelecido em 0,070 US\$/kWh (residencial), 0,074 US\$/kWh (rural), 0,109 US\$/kWh (indústria secundária) e 0,113 US\$/kWh (comercial). A província de Jiangsu estipulou 0,31 US\$/kWh (rural no solo), 0,54 US\$/kWh (telhado) e 0,63 US\$/kWh (integrados a edificações) (CAMPBELL, 2010);
6. Determinou em 2005 que 70 % dos equipamentos usados nos sistemas eólicos deveriam ser produzidos na China;
7. Concedeu, como doação, 50 % dos custos iniciais dos sistemas eólicos atendidos pelo Programa Sol Dourado;

8. Cortou, em 2001, 50 % dos impostos e taxas sobre o valor das tarifas de energia produzida pelos sistemas eólicos;
9. Criou a NDRC, *National Development and Reform Commission* (Comissão Nacional para Reforma e Desenvolvimento), como agência para regular preços e aprovar projetos de energia, além de controlar a política de desenvolvimento das energias renováveis na China.

Estas ações, e outras mais, explicam, em parte, a enorme evolução desse país na geração de energia elétrica através de fontes renováveis. É importante destacar que a China já vem reduzindo os subsídios para novas instalações fotovoltaicas amparadas pelo Programa Sol Dourado e que consomem a energia produzida. Em fevereiro de 2012, o subsídio era de 1,10 US\$/Wp e em maio chegou a 0,87 US\$/Wp (SHEN, 2012).

Em 2013, a NDRC instituiu uma política nacional de *feed-in* para sistemas fotovoltaicos de capacidade superior a 1,0 MWp, dividindo o país em três zonas, conforme a radiação solar incidente e o custo de instalação de um projeto. Assim, foram estabelecidas as tarifas de US\$ 0,147, US\$ 0,155 e US\$ 0,163 para o kWh nas zonas 1, 2 e 3, respectivamente. Sistemas de menor capacidade também são beneficiados, mas a tarifa é reduzida para 0,07 US\$/kWh (WOODS, 2013).

1.5.4 – Estados Unidos

Rigorosamente, os Estados Unidos não tem uma política nacional para desenvolvimento das energias renováveis. Existem, em geral, por determinados períodos, incentivos para eletricidade gerada por fontes renováveis, mas que carecem de legislação permanente e apropriada. Exceção se faz aos biocombustíveis, que recebem significativo suporte federal, já que precisam atender a metas de mistura com o diesel e a gasolina até 2022. O desenvolvimento e a capacidade instalada das energias renováveis em solo americano é resultado fundamentalmente de ações efetivas dos Estados e não do Governo Federal. Mais de 30 estados americanos contam com políticas locais de incentivo às energias renováveis. Alguns se destacam no uso da biomassa, como o Alabama, e outros na produção de energia eólica ou solar, como é o caso da Califórnia.

A preocupação americana com as energias renováveis teve início com a crise mundial do petróleo, o que provocou a instituição da Lei Nacional para Política de Conservação de Energia de 1978 (*National Energy Conservation Policy Act of 1978*), com o objetivo de promover a conservação de combustíveis fósseis, encorajando os consumidores a optarem por

equipamentos de menor consumo de energia. O aporte financeiro foi da ordem de 100 milhões de dólares(UNITED STATES OF AMERICA, 1978).

Dentre as ações federais, pode-se destacar a criação da Lei de Política Energética de 1992 (*Energy Policy Act of 1992*), que reformou o ato anterior, autorizando a concessão de subsídios para a energia eólica e outras fontes renováveis (UNITED STATES OF AMERICA, 1992a). Em 2011, este incentivo era da ordem de 0,022 US\$/kWh, indexado à inflação, para os produtores de energia em escala comercial através de aerogeradores (UNITED STATES OF AMERICA, 2011). Ainda em 1992, foi estabelecido o *Energy Star* (UNITED STATES OF AMERICA, 1992b), um programa nacional voluntário para promover o uso de equipamentos energeticamente eficientes e a boa prática de uso racional da energia. O *Energy Star* identifica os produtos energeticamente mais eficientes e disponibiliza a informação aos consumidores para tomarem uma decisão frente à situação.

Em 2008 foi criada a Lei de Autorização para Defesa Nacional para o Ano Fiscal de 2009 – Provisões de Energia (*Energy Provisions – National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2009*) (UNITED STATES OF AMERICA, 2009), que visava priorizar o uso das energias eólica e solar nas campanhas militares americanas, o que diminuiria a dependência do transporte de combustíveis fósseis para as zonas de combate.

Fica claro que as ações para desenvolvimento das energias renováveis nos Estados Unidos são prioritariamente voltadas para a redução do desperdício de energia e a cultura de eficiência energética. Os estados, com a adesão dos consumidores, são os responsáveis diretos pela prática destas ações, feitas segundo as conveniências dos primeiros.

Dentre todos os estados, vale destacar os programas de incentivo ao uso racional da energia, à eficiência energética, ao desenvolvimento das indústrias de equipamentos para a geração eólica e solar, além do incentivo à criação de um mercado consumidor na Califórnia. Nesse estado, subsídios outrora concedidos na tarifa de energia elétrica vêm sendo paulatinamente reduzidos para que o consumidor perceba o real valor da energia por ele consumida. Para operacionalizar esta ação, foi introduzido o conceito das redes inteligentes (*smart grids*), através da instalação de medidores inteligentes nas unidades consumidoras, o que favorece o controle do consumo por parte do consumidor, dentre outros benefícios. A redução dos subsídios na tarifa e o uso dos medidores inteligentes, com consequente crescimento nas despesas com energia elétrica para o consumidor, levaram a uma redução imediata no consumo californiano da ordem de 4 a 7 %.

A Califórnia priorizou as energias eólica e solar e adotou ações para desenvolvê-las e enfrentar a crise do petróleo em 1973. Em linhas gerais podem-se citar quatro princípios básicos adotados por esse estado americano:

- a) Redução da dependência do petróleo;
- b) Promoção de diversidade no uso das diversas formas de energia;
- c) Promoção de energias que não agredam o meio ambiente;
- d) Uso preferencial de recursos energéticos locais.

Uma das ações práticas adotadas pela Califórnia foi a adesão, em 1983, a Lei Pública Federal para Política Regulatória (PURPA - *Federal Public Utility Regulatory Policy Act*), que obrigava as distribuidoras a adquirir dos produtores de energias renováveis toda a energia produzida ao valor dos custos evitados para gerar aquela quantidade de energia pela forma convencional. A interpretação do PURPA e o valor dos custos evitados eram da alçada de cada estado. A Califórnia foi o estado americano mais generoso na aplicação do PURPA, concedendo contratos padrão de 15 a 30 anos de duração e com elevadas remunerações para a energia produzida nos primeiros 10 anos (UNITED STATES OF AMERICA, 1978).

Em 2006, foi aprovado a Lei da Iniciativa Solar na Califórnia (*California Solar Initiative - CSI*), onde o governo estadual reservava 3,2 bilhões de dólares para a instalação de um milhão de sistemas fotovoltaicos nos telhados californianos, em um período de 10 anos. Estes sistemas teriam, em média, capacidade igual a 3 kWp, resultando em um acréscimo de 3 GW à capacidade estadual instalada. Esta ação era complementada por uma lei estadual que colocava a energia solar como a principal fonte renovável nos 10 anos seguintes, e com meta de alavancar a indústria solar local, diminuindo pela metade os preços dos equipamentos no mesmo prazo de 10 anos. Isto vislumbraria, tomando o ano de 2005 como base, diminuir o custo do sistema fotovoltaico instalado, de 9,0 US\$/Wp para 4,5 US\$/Wp. Os primeiros sistemas contratados, com capacidade menor que 30 kWp, recebiam em 2007 um incentivo de 2,5 US\$/W a.c. para uso residencial e comercial, e 3,25 US\$/W a.c. para uso em edificações públicas e de instituições sem fins lucrativos. Estes incentivos seriam concedidos de modo decrescente, tão logo determinadas metas de capacidade instalada fossem alcançadas. Assim, foram estabelecidos dez níveis para essas metas. A primeira etapa estaria completada ao serem instalados novos 50 MW, a segunda ao alcançar 70 MW, a terceira 100 MW, e prosseguindo até ao décimo degrau, com 350 MW. Ao alcançar a última etapa, o incentivo recebido seria de 0,20 US\$/W para os sistemas residenciais e comerciais, e 0,70 US\$/W para as edificações públicas e de instituições sem fins lucrativos, o que poderia não ser atrativo

para seduzir novos produtores de energia. Esta anunciada redução paulatina no incentivo aos custos iniciais para instalação de sistemas fotovoltaicos poderia ser um entrave para o desenvolvimento de qualquer forma de produção de energia renovável, quando os custos iniciais e de produção, ao invés de diminuir, se mantivessem estáveis ou viessem a crescer. O resultado seria o desaparecimento de novos produtores. Em dezembro de 2014, oito anos após o início do programa, a meta de 3 GW estava quase completa, restando menos de 0,63 MW a contratar (UNITED STATES OF AMERICA, 2006).

Outro incentivo adotado na Califórnia é o *net metering*, algumas vezes confundido erroneamente com um tipo de *feed-in*. Enquanto os sistemas com *feed-in* possuem, de um modo geral, dois medidores, um para registrar a energia renovável produzida e outro para marcar a energia consumida da rede da distribuidora, o *net metering* dispõe, na maioria das vezes, de um único medidor de energia bidirecional, que registra valores em ambos os sentidos. No último caso, o medidor apresenta o balanço líquido entre o que foi injetado na rede da distribuidora e o que foi consumido pelo produtor de energia renovável. No *feed-in*, a tarifação nos medidores pode ser de valores diferenciados.

O *net metering* adotado na Califórnia é atrativo para o produtor que também consuma muita energia, já que a tarifa que o remunerará é a mesma que ele paga à distribuidora de energia local, ou seja, o valor do kWh por ele recebido é mais atrativo que o de outro produtor que tenha um baixo consumo e pague uma tarifa subsidiada à sua distribuidora de energia.

O subsídio global praticado na Califórnia para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede inclui *net metering*, incentivos federais e desconto no custo inicial do sistema. A situação para os subsídios aplicados na Califórnia em dezembro de 2014 é apresentada na Tabela 1.14 (UNITED STATES OF AMERICA, 2014).

Tabela 1.14 – Subsídio na Califórnia, em dezembro de 2014, para sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

SUBSÍDIOS AOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DA CALIFÓRNIA, EM DEZEMBRO DE 2014		
Categoria	Subsídio pago no início da operação aos sistemas que optaram pela expectativa de energia produzida em função da capacidade instalada (US\$/W)	Subsídio pago mensalmente aos sistemas que optaram pela quantidade de energia produzida (US\$/kWh)
Residencial	0,20	0,025
Comercial	0,20	0,025
Governamental e Instituições sem fins lucrativos	0,70	0,088

Fonte: Adaptada de UNITED STATES OF AMERICA, 2014.

1.5.5 - Brasil

O Brasil, apesar de seu enorme potencial em energias renováveis, apresenta uma posição destacada a nível mundial, apenas nas fontes hídrica, biomassa a partir do etanol da cana de açúcar, e produção de biodiesel. O desenvolvimento do uso de fontes renováveis de energia é pouco incentivado, como é o caso da eólica, ou sem qualquer incentivo significativo, como no caso da solar.

A participação das energias renováveis na produção de eletricidade no país deve-se, na sua grande parte, à hidroeletricidade. No âmbito mundial, o Brasil é o segundo maior produtor e também a segunda maior capacidade instalada, com 415 TWh/ano de produção e 85,7 GW de capacidade instalada (REN21,2014). Sua condição geográfica, com grandes cursos d'água, privilegiou a implantação de grandes hidrelétricas no país. Atualmente, o crescimento populacional e industrial exigem maior produção de energia e, em especial, de eletricidade. Se novas hidrelétricas podem ser construídas, as pressões nacionais e internacionais para a conservação do meio ambiente dificultam a execução de grandes projetos.

As fontes renováveis de energia, não apenas a hídrica, podem contribuir de modo decisivo na matriz energética nacional. Enquanto muitos países no mundo já se conscientizaram da necessidade de diversificar suas fontes de energia, o Brasil ainda caminha timidamente nesta direção. Se algumas ações foram iniciadas, ainda que importantes para inclusão social, pouco eficazes têm sido suas consequências. Pode-se citar algumas destas ações, tais como: PROINFA, CDE, PROGRAMA LUZ PARA TODOS, PDTI, PROCEL, CCC E LEILÃO DE ENERGIA.

Destacam-se agora os principais programas federais para, direta ou indiretamente, alavancar o desenvolvimento das energias renováveis e a melhoria da qualidade de vida da população.

PROINFA - Programa Nacional de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia

Lançado em 2002, através dos Decretos Lei 10.438, 10.762 e 10.848, foi a primeira ação para incentivar investimentos em energias renováveis, atendendo apenas projetos nas áreas de biomassa, eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). A remuneração paga aos produtores é dividida entre todos os consumidores do país, proporcionalmente ao consumo de cada um, excluindo os chamados consumidores da classe baixa renda. Na época da criação do programa, a Eletrobras esperava contar com 3,3 GW de capacidade instalada até 06/2004, divididos igualmente entre as três fontes, remunerando-as em (61,00, 52,00 e 43,00 US\$/MWh), respectivamente. Ao final de 2004 a Eletrobras havia contratado 3.242 MW.

Todos os projetos contratados têm garantia de compra da energia pela Eletrobras por um período de 20 anos. Entretanto, em agosto de 2009, segundo o relatório da ANEEL, de Acompanhamento de Expansão de Oferta de Geração, o PROINFA apresentava a situação mostrada na Tabela 1.15.

Tabela 1.15 – Situação dos projetos do PROINFA em agosto de 2009.

Situação 08/2009	PCH (MW)	Eólica (MW)	Biomassa (MW)	TOTAL (MW)
Em construção	249	446	36	731
Em operação	925	385	504	1.814

Fonte: Adaptada de MME, 2009.

Fica clara a distância entre o montante contratado e o efetivamente em operação. Dos 3,242 GW contratados ao final de 2004, apenas 1.814 MW estavam operando em agosto de 2009.

Até 2011 o PROINFA instalou 2,649 GW, divididos em 964 MW em usinas eólicas, 1.152 GW em PCHs e 533 MW em usinas térmicas a biomassa.

O custo do PROINFA aprovado para 2014 foi da ordem de 2,8 bilhões de reais, divididos em 60 PCHs, 52 usinas eólicas e 19 usinas térmicas a biomassa.

Para incentivar o desenvolvimento das energias renováveis, o Brasil adotou, a partir de 2010, a política de Leilões de Energia, modalidade de contratação já utilizada para hidrelétricas e termelétricas, onde foi lançado no mercado o mecanismo de concorrência pública para fornecimento de uma determinada quantidade de energia com geração renovável, sendo estipulado um preço máximo para o valor da energia contratada. Por exemplo, em agosto de 2011, o Leilão A-3 / 2011, apresentou o resultado final constante da Tabela 1.16. Leilão tipo A-3 exige entrega da energia após 3 anos da contratação do projeto, enquanto que o tipo A-5 concede 5 anos.

Tabela 1.16 – Resultado do Leilão de Energia A-3 / 2011.

Fonte Energética	Total de Projetos Contratados	Capacidade a ser Instalada (MW)	Garantia Física (MW médios)	Preço Médio (R\$/MWh)
Eólica	44	1.067,7	484,2	99,58
Biomassa	4	197,8	91,7	102,41
Hídrica	1	450	209,3	102,00
Gás Natural	2	1.029,1	900,9	103,26
TOTAL	51	2.744,6	1.686,1	102,27

Fonte: EPE, 2011.

Observa-se na Tabela 1.16 a contratação de projetos em gás natural, energia não renovável, correspondendo a 37,5 % do total contratado, sendo a fonte eólica a mais atrativa para o mercado.

Em dezembro de 2011 foi realizado o Leilão de Energia A-5 / 2011, cujo resultado é apresentado na Tabela 1.17. Verifica-se, uma vez mais, a predominância da fonte eólica dentre as demais, quanto à demanda do mercado. De todo modo, apenas as três fontes de energia mencionadas vem sendo contempladas nos leilões brasileiros de energia.

Tabela 1.17 – Resultado do Leilão de Energia A-5 / 2011.

Fonte Energética	Total de Projetos Contratados	Capacidade a ser Instalada (MW)	Garantia Física (MW médios)	Preço Médio (R\$/MWh)
Eólica	39	976,5	452,4	105,12
Biomassa (bagaço de cana)	2	100,0	21,0	103,06
Hídrica	1	135	81,8	91,20
TOTAL	42	1.211,5	555,2	102,18

Fonte: EPE, 2011.

Em dezembro de 2012 foi realizado o Leilão de Energia A-5 / 2012 para atendimento de demanda até 2017, com a contratação de 574,3 MW, sendo 292,4 MW de capacidade instalada em usinas hidrelétricas e 281,9 MW em parques eólicos, com preço médio de arremate de 93,46 e 87,94 R\$/MWh, respectivamente (EPE, 2012). É fato, contudo, que outras fontes de energias renováveis, como a solar, com seu primeiro leilão de energia ocorrido em 31/10/2014, ainda não encontram o incentivo necessário ao seu desenvolvimento no Brasil. Isto pode ser creditado ao impraticável preço máximo pago nos leilões de energia e à legislação pouco adequada ao cenário nacional que privilegia o uso de termelétricas no país.

Para dezembro de 2013 foi previsto o segundo Leilão de Energia A-5/ 2013, onde o maior número de projetos ofertados era o de parques eólicos (670), seguido pelo de geração solar fotovoltaica (152), mas acabou não acontecendo.

Em junho de 2014 foi realizado o Leilão de Energia A-3 / 2014 onde, de 6.159 MW eólicos habilitados, apenas 551 MW foram contratados a preço de R\$ 129,97 o kWh. Além disso, 418 MW da usina hidrelétrica de Santo Antônio também foram contratados (EPEa, 2014).

Em 31 de outubro de 2014 foi realizado o Leilão de Energia de Reserva que contratou 889,7 MW em geração fotovoltaica a um preço médio de 215,12 R\$/MWh e 769 MW em geração eólica a um preço médio de 142,34 R\$/MWh. A biomassa também participou do leilão, mas não houve qualquer contratação, tendo em vista que o valor máximo ofertado, 169

R\$/kWh, não se mostrou atrativo aos investidores. A energia contratada deverá ser entregue até 01 de outubro de 2017 (EPEb, 2014).

O Leilão de Energia A-5 / 2015 está marcado para 27 de abril de 2015, tendo cadastrado um total de 530 projetos eólicos que juntos somam 12.895 MW de potência instalada (EPEc, 2014).

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético

Criada em 04/2002 para promover o desenvolvimento energético nos estados da federação, apoiar os projetos de universalização dos serviços de energia elétrica, subvencionar os consumidores da classe baixa renda e colaborar com a expansão da rede de gás natural no país, a CDE é gerida pela Eletrobras com a supervisão do MME – Ministério de Minas e Energia. É usada também para promover a competitividade no mercado da energia produzida pelas seguintes fontes renováveis: biomassa, eólica, PCH, além do carvão mineral nacional.

Dentre as ações cobertas pela CDE está o PROGRAMA LUZ PARA TODOS – Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. Criado pelo Governo Federal em 2003, através do Decreto 4.873/2003 e alterado pelo Decreto 6.442/2008, visa prover o acesso à energia elétrica a 100 % da população brasileira. O programa, que privilegia o atendimento via extensão de rede, antecipou a meta de universalização de 2015 para 2010, o que não foi atingido na prática.

Em localidades isoladas e de difícil acesso, a extensão de rede é, em geral, economicamente inviável. Regiões como a Amazônica, com uma geografia peculiar, abundantemente entrecortada por grandes rios e com população dispersa, não encontram no Programa Luz para Todos a resposta adequada para suas necessidades. Fontes renováveis como a eólica, biomassa e solar, que poderiam minimizar significativamente a situação nessas regiões, não são devidamente exploradas pelo Programa.

PDTI – Programa de Gestão da Pesquisa & Desenvolvimento Tecnológico + Inovação

Este projeto, criado em 02/2003 pela Eletrobras para modernizar o sistema elétrico brasileiro e incentivar a nacionalização progressiva da produção de equipamentos e materiais. Dentre as atividades desenvolvidas pelo PDTI, destacam-se: o Programa de Qualificação de Materiais e Equipamentos para Redes de Distribuição de Energia Elétrica (Proquip II) e o Projeto NBR 19000, que busca melhorar a adoção de critérios da qualidade para fornecimento de produtos pelas empresas relacionadas ao ramo de energia.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Entendendo que o uso eficiente da energia pode protelar ou evitar a necessidade de novos investimentos, o Governo Federal criou em 1985 o PROCEL, para combater o desperdício e conseqüentemente reduzir os custos e investimentos no setor elétrico, melhorando a eficiência energética. É um programa, gerido pela Eletrobras, que ajudou a economizar, apenas em 2013, 9,74 milhões de MWh, o que corresponde ao abastecimento de 5 milhões de residências por um ano. Em 1993 foi criado o Selo PROCEL de Economia de Energia que orienta o consumidor a optar por produtos de melhor eficiência energética e induz os fabricantes a produzirem equipamentos elétricos energeticamente mais eficientes. Os recursos para o PROCEL são provenientes da RGR, Reserva Global de Reversão, e de entidades internacionais.

CCC – Conta de Consumo de Combustíveis

Criada em 1973 e alterada pela Lei 12.111/2009, a CCC reembolsa parte do custo total de geração para atendimento ao serviço público de energia elétrica nos sistemas isolados, mantida a cobertura para os empreendimentos sub-rogados. A receita da CCC vinha, até 2013, do recolhimento de cotas pelas empresas distribuidoras, permissionárias e transmissoras de todo o país. A partir desse ano, o recurso para a CCC passou a vir do fundo setorial da CDE. A validade do programa vem sendo sistematicamente renovada, não havendo prazo para sua descontinuidade. O subsídio da CCC procura aplicar uma tarifa semelhante aos consumidores de regiões isoladas servidos por termelétricas, onde a geração é mais cara, quando comparada àquela praticada para os consumidores do sistema interligado.

A CCC é um fundo setorial da Eletrobras aplicável a PCHs e empreendimentos de geração por fontes renováveis de energia, mas que, apesar de sua função social, na prática acaba por privilegiar as usinas térmicas a óleo diesel subsidiado, em detrimento de empreendimentos em fontes renováveis, por hoje serem mais caras, especialmente na instalação dos projetos. Não é considerado, contudo, o prejuízo ambiental causado e o elevado custo operacional das usinas térmicas. Não há obrigatoriedade, por parte das distribuidoras de energia, da migração do uso das termelétricas para o uso das fontes renováveis de energia, o que torna-se cômodo para essas últimas. Além disso, as fontes renováveis de energia enfrentam a desvantagem do risco do investimento, considerando o elevado custo inicial do empreendimento, ainda que a aquisição da energia produzida esteja garantida em contrato. As PCHs ainda precisam considerar que não contam com o serviço de despacho do Operador Nacional do Sistema.

REINFA – Projeto de Lei PLS 311/09

Projeto de lei aprovado no senado em outubro de 2009, estabelece um regime especial de tributação para incentivar o desenvolvimento e a produção de energia elétrica, a partir de fontes renováveis. A lei prevê isenção de PIS/PASEP e COFINS, redução de impostos de importação para empresas que operem com o desenvolvimento de equipamentos e acessórios voltados às energias renováveis, desde que não existam bens e materiais similares nacionais, bem como para produtores de eletricidade através de fontes renováveis. Em maio de 2013, o REINFA estava pronto para entrar em pauta na Comissão de Assuntos Econômicos do Congresso Nacional, porém, o projeto ainda aguarda no Congresso Nacional para aprovação e posterior assinatura do chefe do executivo.

Sejam quais forem os mecanismos adotados no Brasil para promoção das energias renováveis, estes devem zelar por:

- Acesso prioritário à rede;
- Aquisição prioritária da energia renovável por parte das distribuidoras;
- Aplicação de tarifa diferenciada baseada no custo de produção acrescida de um lucro compensador, ainda que por tempo determinado.

CAPÍTULO 2

EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES: ESTUDO DE CASO DO GEDAE

2.1. Aspectos Gerais

No projeto e construção de edificações energeticamente eficientes, busca-se primar pelo menor dispêndio de energia sem prejuízo do conforto, funcionalidade ou qualidade de vida dos usuários. Devem ser observados diversos fatores que influenciam no sucesso de seu propósito e de sua operação, tais como: localização e posicionamento geográfico da edificação; materiais empregados na sua construção; disponibilidade de fontes de energia; equipamentos elétricos alimentados; operação da edificação; aspectos econômico-financeiros; monitoração e gerenciamento das energias gerada e consumida; curva de carga; manutenção regular; aspectos culturais associados; fator humano; clima local; padrão arquitetônico; conforto ambiental; segurança e confiabilidade da proposta.

No Brasil, o hábito de investir em conservação de energia e eficiência energética, se por uma lado é ajudado por programas como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e o CONPET (Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural), além de contar com recursos financeiros consideráveis como os oriundos dos programas de Eficiência Energética e de Pesquisa e Desenvolvimento das distribuidoras de energia, por outro lado ainda se ressentem de ações práticas de gestão coordenada entre os protagonistas da aplicação destes programas. O balanço desta situação aponta para um Brasil ainda muito tímido nos resultados obtidos, quando comparado com outros países.

2.2. Uso Racional de Energia

O uso racional de energia é um fator de grande importância em qualquer edificação energeticamente eficiente e que, portanto, requer uma atenção especial desde a concepção do projeto do prédio até a construção e utilização do mesmo.

Segundo (La ROVERE, 1985) e (DIAS, 1999), existem seis níveis de intervenção quando se deseja implementar algum mecanismo para o uso racional de energia que preserve o conforto, a qualidade de vida e as necessidades dos meios de produção, a saber:

- eliminação de desperdícios;

- aumento da eficiência das unidades consumidoras;
- aumento da eficiência das unidades geradoras;
- reaproveitamento dos recursos naturais, pela reciclagem e redução dos conteúdos energéticos dos produtos e serviços;
- rediscussão das relações centro/periferia, no que tange ao transporte e à localização de empresas produtoras e comerciais;
- mudança dos padrões éticos e estéticos, a partir dos quais a sociedade poderia penalizar os produtos e serviços mais energointensivos em favor de sua cidadania.

As medidas a serem consideradas em qualquer edificação energeticamente eficiente devem atender fundamentalmente os quatro primeiros itens apresentados, já que estes englobam as ações de planejamento, construção e operacionalização do prédio. O primeiro e o quarto itens estão ligados ao uso racional de energia, enquanto que o segundo e o terceiro dizem respeito especificamente à efficientização energética.

As formas de ação dos usuários, também importantes quanto à conservação de energia, constituem-se nas mais elementares, como desligar os equipamentos quando não estiverem sendo utilizados, apagar as lâmpadas quando ninguém estiver presente no ambiente, limpar periodicamente as lâmpadas, luminárias e condicionadores de ar, etc.

Usar racionalmente a energia, mais que simples associação para combater o desperdício, pressupõe educação e mudança de hábitos dos usuários. Não se pode pensar em uso racional de energia presumindo racionamento ou privação, o que, em geral, colabora com a redução de produtividade, mas o ideal é buscar uma gestão eficiente da energia, no que é traduzido em boas práticas de uso, ganho de bem-estar e de produção dos usuários.

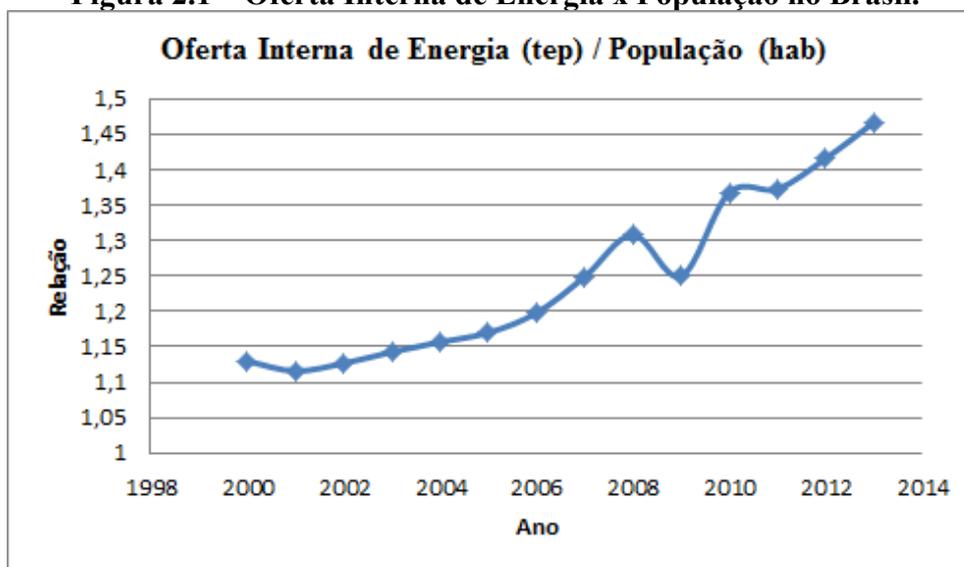
2.3. Eficiência Energética

Na sociedade moderna, o uso de algum tipo de energia é sempre necessário para a realização das mais diversas atividades. A utilização de eletricidade, óleo diesel, gasolina e biomassa são algumas das possibilidades para acionamento de lâmpadas, motores, engrenagens, etc. Todas elas transformam ou são resultantes da transformação de formas de energia e sempre apresentam algum tipo de perda. Garantir que sejam mínimas as perdas associadas à operação de qualquer equipamento ou sistema é uma preocupação mundial, cada vez maior nos dias de hoje. Quanto menor for a diferença entre a energia consumida por um determinado equipamento e a energia que ele disponibiliza para a execução de sua tarefa, maior será sua eficiência energética.

A escolha dos materiais e equipamentos utilizados para geração e consumo da energia em qualquer edificação deve ser bem planejada, sob pena de, ainda que atendendo às necessidades de trabalho e harmoniosa convivência dos vários ambientes, prevalecer o desperdício e a ineficiência no uso dos recursos energéticos. Assim, a aquisição de equipamentos com tecnologias mais eficientes é primordial. Além disto, a escolha dos locais de instalação dos equipamentos também é importante, pois, quando desconsiderada, pode aumentar o consumo de energia desnecessariamente. Condicionadores de ar instalados, por exemplo, próximo de locais aquecidos ou que tenham incidência direta dos raios solares, são fontes de ineficiência energética, já que para cada 5 °C de elevação de temperatura, no equipamento corresponde, em média, a um aumento no consumo de energia da ordem de 1 %.

Projeções indicam, por exemplo, que a taxa de aumento de consumo de eletricidade deve superar a de crescimento populacional nos Estados Unidos nos próximos 20 anos, atingindo 40 % e 25 %, respectivamente (McLEAN-CONNER, 2009). Esta situação é preocupante, porque é similar ao que deve ocorrer na maioria das nações desenvolvidas e em desenvolvimento. A Figura 2.1 apresenta a relação Oferta Interna de Energia x População no Brasil, no período de 2000 a 2013. Observa-se um crescimento na relação entre os anos de 2003 e 2008, que pode ser atribuído à folga na oferta de energia e ao discreto crescimento econômico do período. A partir de 2008 a situação começa a mudar, exigindo maiores investimentos na área de geração de energia, pois houve aumento da população e de seu poder aquisitivo e um conseqüente crescimento da demanda por energia. Já no período 2009 a 2013, a relação cresce novamente, menos pelo crescimento da oferta e mais pela fraca atividade econômica mundial no período.

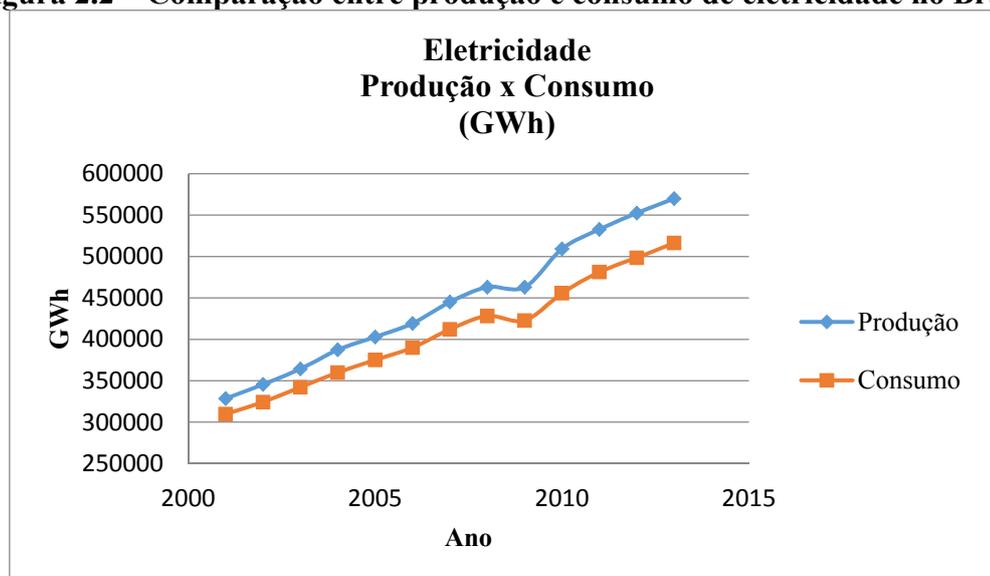
Figura 2.1 – Oferta Interna de Energia x População no Brasil.



Fonte: Adaptada de BRASIL, 2014.

A Figura 2.2 mostra uma comparação do crescimento na produção de eletricidade e o consumo de energia elétrica no Brasil. Observa-se que, apesar da contida atividade econômica mundial na última década, o crescimento do consumo de eletricidade seguiu uma tendência similar ao do crescimento da geração. Esta realidade, entretanto, possibilita admitir que em um período de aquecimento econômico a demanda por energia aumentará, e associado a um consequente e esperado crescimento do PIB brasileiro, a média de consumo de eletricidade por habitante também aumentará. Neste caso, novos investimentos em geração de eletricidade serão necessários, o que pode ser, em parte, evitado com maior incentivo à conservação de energia e à eficiência energética. É válido destacar que a construção de grandes hidrelétricas, apoiada na abundância de grandes cursos d'água e vontade política do Governo Federal, exige amplo estudo de impacto econômico e ambiental, o que leva tempo e enorme volume de recursos financeiros, mas que pode ser mitigado, em menor espaço de tempo, com o investimento em eficiência energética e o uso racional da energia.

Figura 2.2 – Comparação entre produção e consumo de eletricidade no Brasil.



Fonte: Adaptada de BRASIL, 2014.

2.4. Conceituação do Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE/UFPA

O Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE/UFPA é um espaço direcionado para a capacitação de mão-de-obra especializada no conhecimento de diversas formas de energias renováveis, com destaque para as energias solar e eólica. Sua utilização também é destinada à pesquisa conjunta com outros centros de estudo e desenvolvimento em energias renováveis, além de servir de apoio para a disseminação das tecnologias associadas entre os alunos de escolas de ensino fundamental e médio, bem como

para prestação de serviços à comunidade empresarial que pretenda investir em energias renováveis, uso racional de energia e eficiência energética.

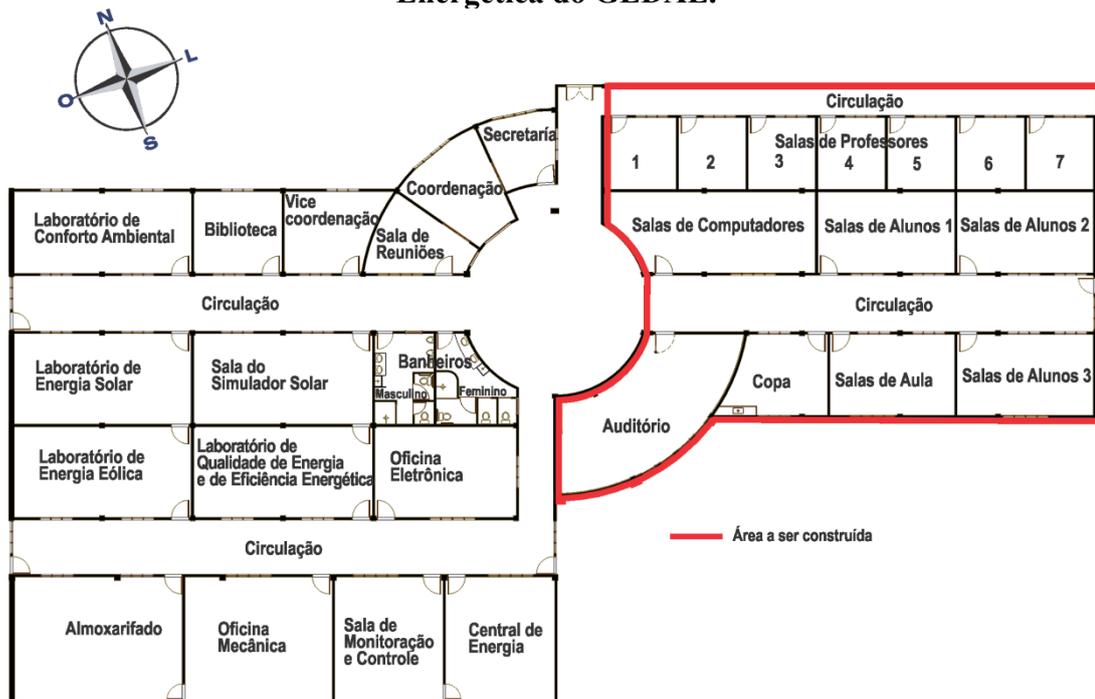
O Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética é constituído de diversos espaços, quais sejam: salas de professores, salas de alunos, salas de aula, sala de computadores, auditório, copa, estes ainda a construir, além de banheiros, sala da coordenação, laboratórios, oficinas, almoxarifado, sala de monitoração e controle, sala de reuniões, secretaria, biblioteca, área de testes e central de energia.

Há cinco laboratórios, Energia Eólica, Qualidade de Energia, Eficiência Energética, Energia Solar e Conforto Ambiental, todos relacionados com energias renováveis e com espaços específicos para suas atividades.

A altura da cobertura dos diversos espaços (pé direito) varia de 3,0 a 4,5 m, enquanto que a área central do prédio e corredores têm cobertura transparente com aberturas para a circulação de ar, visando facilitar a passagem da luz solar e oferecer um melhor conforto térmico aos usuários do prédio. As paredes que recebem diretamente o sol da tarde são duplas, para melhor isolar termicamente o interior dos respectivos ambientes. A cobertura possui uma manta de lã de vidro entre o telhado e o forro, para diminuir a temperatura interna nas salas.

A Figura 2.3 apresenta a planta baixa para a referida construção. Destaca-se, a esquerda da figura, a área atualmente construída. O restante da planta são os espaços que aguardam recursos financeiros para construção.

Figura 2.3 – Planta baixa do Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE.



Fonte: Elaboração do autor.

O prédio apresenta as salas de professores e de alunos localizadas na ala leste, onde nasce o sol, evitando assim a radiação direta e as temperaturas mais elevadas no período vespertino, especialmente no período de escassez de chuvas.

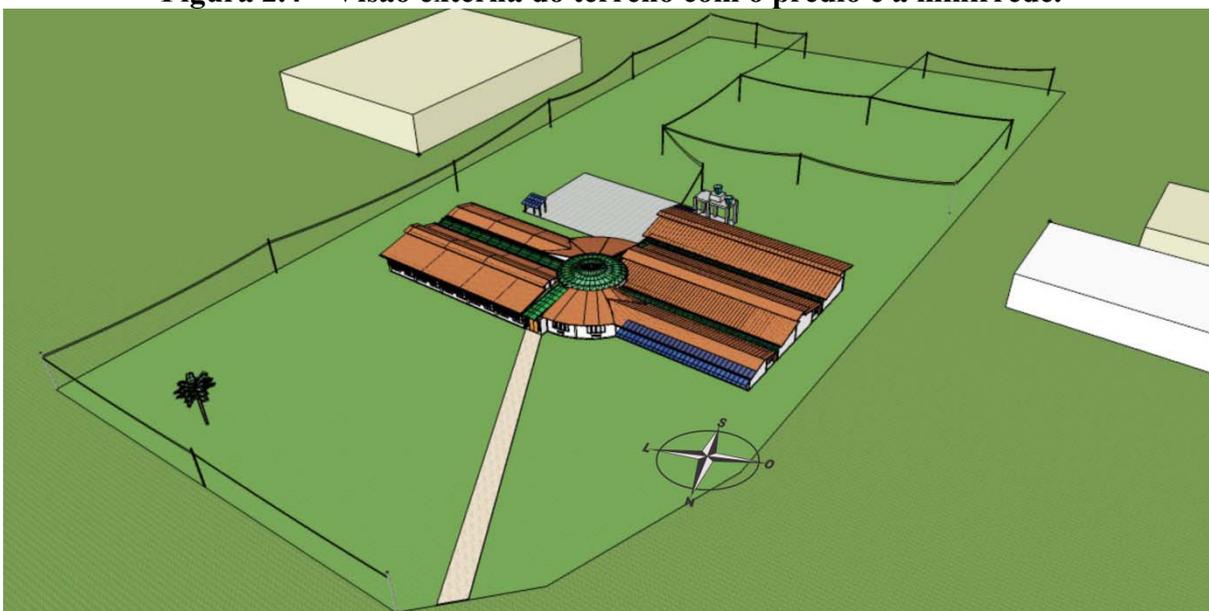
Todos os compartimentos do prédio foram projetados de modo a utilizar o mínimo possível de iluminação artificial e o máximo de ventilação natural, tornando o ambiente agradável para os usuários e com adequado aproveitamento da energia por ele consumida.

A climatização do prédio é preferencialmente natural, através do uso de técnicas passivas; entretanto, em função do clima quente e úmido da região, o uso de climatização artificial não é totalmente dispensado. Centrais de ar tipo *split* são adotados em todas as salas como solução nos períodos onde a elevada temperatura causa desconforto aos usuários.

A área externa do prédio conta com um ambiente onde está instalado um grupo gerador a diesel cabinado de 12 kVA, duas estações meteorológicas para medição de parâmetros climáticos, radiação solar e velocidade e direção de vento. Além deles, na mesma área do terreno, uma minirrede com aproximadamente 1 km de extensão permite simulações diversas da operação com geração fotovoltaica conectada à rede, eólica, diesel, biomassa ou hidrocínética, em conjunto ou alternadamente. Está previsto ainda a instalação de um aerogerador de pequeno porte, usado para capacitação de mão-de-obra em sistemas eólicos.

A Figura 2.4 mostra a maquete eletrônica com a visão externa de todo o terreno, destacando o prédio e a minirrede.

Figura 2.4 – Visão externa do terreno com o prédio e a minirrede.



Fonte: Elaboração do autor.

2.5. Levantamento da Carga

A definição das cargas atendidas nas áreas interna e externa do prédio é de fundamental importância para o projeto do sistema de geração de energia elétrica. A escolha de equipamentos e materiais que contribuam para o processo de efficientização energética e o atendimento das necessidades dos usuários são prioritários.

Considerando todos os ambientes do prédio e utilizando o Método dos Lumens estima-se a carga de iluminação interna para o prédio. A Tabela 2.1 mostra a carga de iluminação estimada para cada ambiente. Alguns parâmetros são tomados iguais em todos os ambientes, a saber: fator de depreciação igual a 0,85; pé direito útil igual a 2,7 m; refletância do teto igual a 80 %; refletância das paredes igual a 50 % e refletância do piso igual a 30 %. Ambientes a partir de 23 m² utilizam lâmpadas T5 de 54 W com fluxo luminoso de 4.450 lm, enquanto que os ambientes menores são iluminados com lâmpadas T5 de 28 W com fluxo luminoso de 2.600 lm. Neste caso, a carga de iluminação projetada atinge 13.996 W.

Tabela 2.1 – Cálculo luminotécnico das áreas internas do prédio.

Ambiente	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>E</i>	<i>h</i>	<i>K</i>	<i>NL</i>	<i>NR</i>	<i>IP</i>
SALA DE PROFESSORES (7)	3,91	3,64	500	0,46	0,70	7,0	8	570,5
SALA DE ALUNOS (2)	4,42	7,41	500	0,58	1,03	7,5	8	532,3
SALA DE AULAS (2)	4,42	7,37	500	0,58	1,02	7,5	8	534,7
AUDITÓRIO	5,06	10,32	300	0,63	1,26	6,6	8	365,8
SECRETARIA	3,6	3,89	500	0,46	0,69	6,9	8	577,0
COORDENAÇÃO	4,04	5,45	500	0,52	0,86	9,6	10	522,7
COPA	4,42	5,0	250	0,52	0,87	4,8	6	314,5
BANHEIRO (2)	3,25	5,0	150	0,47	0,73	2,3	4	256,7
SALA DE COMPUTAÇÃO	4,4	10,5	500	0,61	1,15	10,1	12	595,0
ALMOXARIFADO	6,72	9,09	200	0,66	1,43	4,9	6	244,8
OFICINA ELETRÔNICA	4,95	7,67	1000	0,60	1,11	16,8	18	1071,3
OFICINA MECÂNICA	6,74	7,97	1000	0,65	1,35	22,0	22	1001,4
BIBLIOTECA	4,47	4,77	500	0,52	0,85	9,3	10	538,1
HALL	2,9	5,8	150	0,47	0,72	2,4	4	245,1
SALA DE REUNIÕES	4,5	3,8	500	0,49	0,76	8,0	8	501,7
LAB. CONFORTO TÉRMICO	4,47	9,6	500	0,60	1,13	9,4	10	529,8
LAB. SOLAR	4,95	9,69	500	0,62	1,21	10,2	12	587,9
LAB. EÓLICO	4,95	9,69	500	0,62	1,21	10,2	12	587,9
LAB. EFIC. ENERGÉTICA	4,95	9,69	500	0,62	1,21	10,2	12	587,9
LAB. QUALID. ENERGIA	4,95	9,69	500	0,62	1,21	10,2	12	587,9
MONITORAÇÃO E CONTROLE	6,72	5,87	500	0,61	1,16	8,6	10	583,5
CENTRAL DE ENERGIA	6,72	5,92	200	0,61	1,17	3,4	4	231,9
CORREDOR 1	3,02	24,77	150	0,57	1,00	5,2	6	172,9
CORREDOR 2	1,97	6,96	150	0,39	0,57	1,4	2	215,2
CORREDOR 3	2,97	29,4	150	0,57	1,00	6,1	8	197,5
CORREDOR 4	3,08	24,48	150	0,57	1,01	5,2	6	172,5
ÁREA CENTRAL	10,1	10,1	150	0,71	1,87	4,4	6	202,4
VICE-COORDENAÇÃO	4,47	4,91	500	0,52	0,87	7,6	8	523,9

Fonte: Elaboração do autor.

onde,

C – comprimento do ambiente, m;

L – largura, m;

E – iluminância desejada, lux;

h – fator de utilização;

K – fator de área;

NL – número de lâmpadas calculado;

NR – real número de lâmpadas;

IP – iluminância projetada, lux.

O prédio conta ainda com outras cargas como tomadas, aparelhos de condicionamento de ar, lâmpadas de emergência, computadores, impressoras, aparelhos de televisão, DVD e ferramentas elétricas das diversas oficinas. A potência instalada prevista para a edificação é de 93,816 kW. Considera-se que a obra civil privilegie a economia de energia em iluminação.

A Tabela 2.2 apresenta cinco possíveis padrões de potência instalada e consumo de energia utilizados na edificação, quais sejam:

1. Consumo otimista – preocupação com o uso racional da energia e atendendo a carga integralmente;
2. Consumo realista – moderado zelo com o uso racional da energia e atendendo integralmente a carga;
3. Consumo pessimista – nenhuma preocupação com o uso racional da energia e atendendo integralmente a carga;
4. Consumo prioritário – preocupação com o uso racional da energia, mas atendendo apenas iluminação e computadores;
5. Consumo prioritário reduzido - preocupação com o uso racional da energia, mas atendendo apenas iluminação e computadores em quantidade e número de horas semanais mínimos.

Tabela 2.2 – Padrões de consumo e potência instalada utilizada para a edificação.

	OTIMISTA	REALISTA	PESSIMISTA	PRIORITÁRIO	PRIORITÁRIO REDUZIDO
Potência (kW)	93,816	93,816	93,816	27,596	12,786
Consumo (kWh/dia)	164,791	257,681	455,213	57,645	27,975

Fonte: Elaboração do autor.

Uma sexta possibilidade de padrão de consumo seria o atendimento de cargas prioritárias, apenas aquelas relativas à iluminação e computadores, mas em até uma hora por dia, com geração por fontes renováveis de energia. Se for tomada apenas uma única luminária, com duas lâmpadas, uma única impressora e um único computador por ambiente, totaliza-se 8,364 kW de carga a ser atendida, o que corresponderia a um consumo associado de 18,264 kWh/dia.

No dia-a-dia da edificação pretende-se que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede supram, por pelo menos 3 dias, a demanda das cargas prioritárias, ainda que a rede e o grupo gerador estejam inoperantes.

O Apêndice A contém os seis padrões de consumo propostos para a edificação, com as quantidades e especificações de lâmpadas, respeitada a aplicação do Método dos Lumens, além do resultado do dimensionamento dos condicionadores de ar de cada ambiente através da NBR 5858.

É importante destacar que a quantidade efetivamente usada em cada ambiente da edificação é inferior ao calculado pelo Método dos Lumens. A própria NBR 5413 recomenda, com maior detalhamento a iluminância, em lux, por tipo de atividade realizada, a qual se encontra em (CREDER, 1995). Para salas de aula e de trabalhos manuais onde poderia ser enquadrada a sala da coordenação, já tomada como exemplo, uma iluminância de 200 lux seria aceitável. Nesta situação, seguindo o procedimento executado anteriormente seria encontrado um total de 4 lâmpadas de 28 W, dispostas em duas luminárias, garantindo uma iluminância mínima de 208 lux em qualquer ponto da sala. Ressalte-se ainda que esta redução no total de lâmpadas por sala, de modo algum comprometeu o desenvolvimento das atividades executadas.

Para efeito de dimensionamento do SFCR, entretanto, os valores utilizados para determinação da carga a ser atendida, serão aqueles primeiramente calculados pelo Método dos Lumens.

2.6. Levantamento da Geração

A oferta de energia elétrica para o prédio é fruto de um sistema híbrido interligado à rede de distribuição da UFPA, mas que pode ser operado de modo independente desta última. Esse sistema já tem instalado o gerador fotovoltaico e o grupo gerador a diesel.

2.6.1. Fotovoltaica

A localização geográfica da edificação, próxima à linha do equador, privilegia o uso da tecnologia fotovoltaica. No mês menos favorável, a média de horas de sol pleno em Belém no ano de 2013 foi da ordem de 3,89 em março, chegando a 6,28 no mês de outubro.

O aproveitamento da energia solar para produção de energia elétrica em regime de corrente contínua requer fundamentalmente a utilização de sistemas que contenham três componentes: os módulos fotovoltaicos, os controladores de carga e as baterias, esta última para sistemas autônomos. Os módulos fotovoltaicos são construídos a partir de lâminas de silício e são responsáveis pela conversão da energia luminosa em eletricidade. O segundo elemento, o controlador de carga, é o dispositivo que serve para preservar as baterias contra sobrecargas e descargas profundas, aumentando a vida útil das mesmas. As baterias são os elementos que armazenam a energia fotogerada disponibilizando-a para uso no momento oportuno. Elas permitem o uso da energia em períodos noturnos, períodos nublados ou chuvosos, além de manter o funcionamento do sistema fotovoltaico, por um período limitado, compatível com a autonomia desejada para o caso. A utilização das baterias no projeto conectado à rede no prédio do GEDAE, também objetiva contornar a, pouco provável, situação conjunta de falta de energia da rede convencional e de insuficiência na geração das fontes renováveis, que possibilitem o atendimento das cargas prioritárias.

Em situações em que as cargas atendidas operem com corrente alternada é necessária ainda a utilização de inversores antes das mesmas. Eles são os responsáveis pela transformação da corrente contínua para regime alternado. No caso de SFCRs o inversor também controla a conexão e desconexão entre gerador fotovoltaico e rede.

Os sistemas fotovoltaicos da edificação visam atender minimamente as cargas prioritárias, iluminação, impressoras e computadores, estando conectado à rede e integrado ao telhado da edificação. O dimensionamento de um dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede é realizado no Capítulo 3 deste trabalho.

2.6.2. Eólica

O prédio está localizado a pouco mais de 100 m da margem do rio Guamá. Sua proximidade do rio, em um primeiro momento, indicaria uma possibilidade de aproveitamento eólico. Entretanto, considerando as condições de vento locais, antes mesmo de qualquer tipo de medição, pode-se afirmar que a contribuição de um sistema eólico para o conjunto de geração não seria significativa. Portanto, quando instalado estiver, sua participação estará principalmente associada ao treinamento de mão-de-obra especializada na instalação,

operação e manutenção de um sistema eólico, levantamento de dados de desempenho de um sistema eólico na orla de Belém, bem como o estudo do efeito da interligação da energia por ele gerada na rede da UFPA.

2.6.3. Grupo Gerador a Diesel

A oferta da fonte solar fotovoltaica, não supre completamente as necessidades da edificação, sendo imprescindível a utilização de outra alternativa quando da falta dessa e inoperância do suprimento pela rede da UFPA. Nesse sentido, a complementação, em caso emergencial, é feita através de um grupo gerador a diesel de 12 kVA, o que é suficiente para atender, quase plenamente, a carga prioritária do prédio. O grupo gerador a diesel também é utilizado para simulações de geração híbrida.

2.6.4. Conexão à Rede

O sistema híbrido de geração própria do prédio, solar fotovoltaico – diesel, está parcialmente interligado à rede de distribuição da UFPA, permitindo o estudo da operação de sistemas híbridos e propiciando uma melhor estimativa para instalação de projetos similares em outras localidades. A fonte eólica ainda não instalada.

2.7. Aproveitamento de Ventilação e Iluminação Naturais

O prédio é construído com materiais que levam em consideração as características climáticas locais, respeitando, da melhor maneira possível, a distribuição de espaços, posicionamento de janelas e portas, alturas dos telhados, etc.

É prioritária a utilização de aberturas para iluminação e ventilação naturais, de modo a minimizar a utilização de lâmpadas e climatização artificial de ambientes.

A iluminação e a ventilação naturais, quando insuficientes na edificação, serão compensadas através de lâmpadas e climatização eficientes. A utilização desta estratégia é monitorada permanentemente para garantir o melhor desempenho em termos de consumo de energia e conforto do ambiente. As lâmpadas são atendidas preferencialmente pelo sistema fotovoltaico, enquanto que a climatização é feita com alimentação da rede da UFPA.

2.7.1. Sensores

A utilização dos recursos renováveis de energia deve ser feita de maneira criteriosa, com racionalidade e eficiência. O emprego de sensores de presença em todos os ambientes do prédio permite que as lâmpadas e o sistema de climatização sejam automaticamente

desligados quando da ausência de pessoas. Além deles, sensores fotoelétricos, que controlam a intensidade da iluminação artificial em função da iluminação natural, são boa opção para a necessidade de um menor consumo com iluminação. Minuterias e *dimmers* também se apresentam como ações complementares, especialmente em áreas de circulação, de um bom projeto luminotécnico. Estas medidas contribuem para o uso eficiente e racional da energia, diminuindo conseqüentemente o custo operacional e de instalação do sistema de geração da edificação.

O uso de sensores influencia diretamente no controle da climatização dos diversos ambientes, colaborando para tornar mais agradável a habitação de cada espaço. Lâmpadas mais potentes, salas muito frias não são sinônimos de recintos melhor iluminados ou melhor climatizados, mas podem ser locais de desperdício energético e menor produtividade dos usuários.

Nas salas de coordenação, vice coordenação, laboratórios e corredores já construídos, unidades de aquisição de dados HOBO modelo U12-012 foram instalados para acompanhar a evolução da temperatura, iluminância e umidade em cada um dos ambientes mencionados. Os dados coletados foram periodicamente transferidos para um computador para posterior tratamento. A Figura 2.5 apresenta uma foto do equipamento utilizado.

Figura 2.5 – Unidade de aquisição de dados HOBO modelo U12-012.

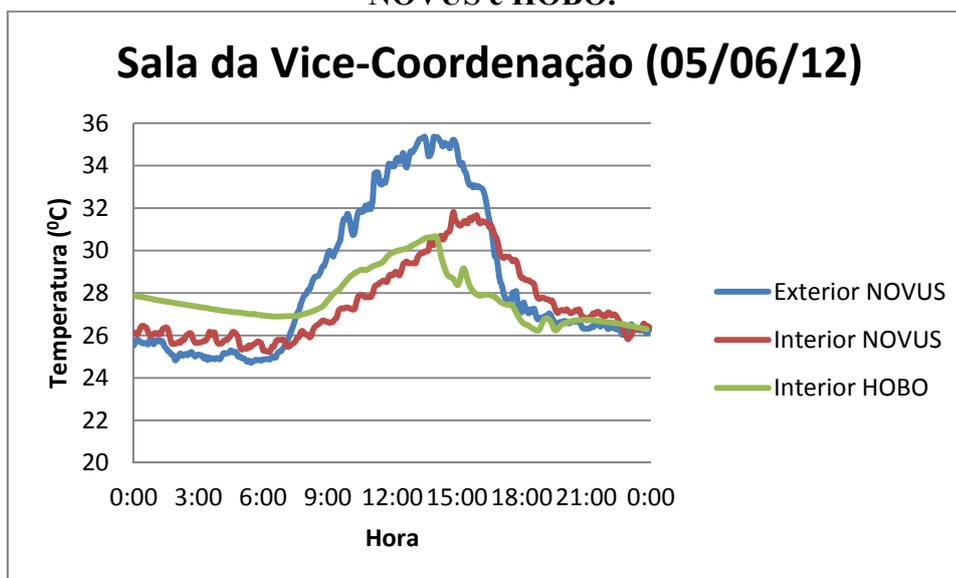


Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados mostraram que as estratégias de ventilação naturais e cobertura dos telhados foram exitosas. O uso da manta térmica como subcobertura, segundo o fabricante, proporciona uma refletividade de 95 % da radiação solar no telhado e 5 % na emissividade do calor para o interior de um ambiente. Na sala da vice coordenação, por exemplo, além da unidade de aquisição HOBO já citada, uma outra unidade de aquisição de dados, *Field Logger Virtual Recorder* da NOVUS, também foi instalada para registrar as temperaturas no interior da sala, no exterior da sala e no corredor que dá acesso a ela, além da umidade relativa do ar

no interior da referida sala. A Figura 2.6 apresenta a temperatura no exterior do prédio e no interior da sala da vice coordenação no dia 05/06/12, medidas pelas unidades de aquisição de dados NOVUS e HOBO. No primeiro caso, verifica-se uma substancial diminuição da temperatura no recinto, chegando, em média a 3,2 °C no período de 7 às 17 h, alcançando a máxima diferença de 5,49 °C às 12h15 em relação à temperatura externa ao prédio.

Figura 2.6 – Dados de temperatura coletados pelas unidades de aquisição de dados NOVUS e HOBO.



Fonte: Elaboração do autor.

No mesmo período a unidade de aquisição da HOBO também registrou valores próximos para as temperaturas no interior da sala da vice coordenação. Muito embora as formas das curvas sejam parecidas, a discrepância observada pode ser atribuída à menor precisão da unidade da NOVUS, já que este necessitava do uso de termopares tipo K, com grande extensão de cabo, função da distância entre o módulo de armazenamento de dados e os pontos de medição.

2.8. Monitoração e Controle

O funcionamento cotidiano do prédio é monitorado, de modo que toda a energia gerada nos sistemas renováveis e a demanda energética da edificação sejam registradas, e assim seja permitido o controle e consequente uso eficiente dos recursos energéticos.

A monitoração e o controle automático dos gastos de energia, além de favorecer a funcionalidade de cada ambiente do prédio e o bem estar dos usuários, ainda permite um acompanhamento do consumo de energia em todas as áreas da edificação. Esta monitoração facilita a mensuração ao longo do tempo dos gastos com energia, identificando os ambientes onde pode estar acontecendo algum tipo de desperdício.

2.8.1. Geração

Toda a geração de energia elétrica do prédio é monitorada e registrada, permitindo que se conheça a real contribuição de cada fonte energética para a oferta de energia.

O conhecimento do desempenho de cada sistema permite identificar com precisão a contribuição dos mesmos e, a partir de uma série histórica de medições, redimensionar os recursos renováveis para melhor atender às necessidades do prédio e dos usuários.

A monitoração é realizada através da instalação de transdutores de corrente e tensão no barramento de entrada de energia proveniente dos diversos recursos energéticos utilizados no prédio. Os valores apurados são coletados por unidades de aquisição de dados para análise posterior.

2.8.1.1. Fotovoltaica

O registro do desempenho dos sistemas fotovoltaicos permite que se planeje uma futura expansão e o melhor aproveitamento da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, além do dimensionamento do banco de baterias, função da autonomia que as atividades do prédio demandam. Esse acompanhamento ajuda na aplicação dessa fonte renovável de energia em futuros projetos para a região. A monitoração desses dados proporciona uma gama de informações que podem ser analisadas em trabalhos científicos, contribuindo não apenas para o conhecimento do desempenho do sistema instalado, como também para o desenvolvimento de equipamentos, controladores de carga, inversores, etc, além de *software* apropriado aos sistemas renováveis de geração de energia elétrica.

Sensores de tensão e corrente monitoram permanentemente o comportamento dos sistemas fotovoltaicos. Os dados coletados retratam a contribuição dos sistemas fotovoltaicos na geração total. Eles são armazenados em um microcomputador situado na Sala de Monitoração e Controle, para realização de análises posteriores.

Hoje o laboratório conta com quatro SFCRs independentes, além de um SIGFI13, um SIGFI45 e um outro sistema fotovoltaico instalado em dezembro de 2007, precursor dos SFCRs na Amazônia, formado por 21 módulos de 75 Wp, totalizando uma capacidade de 1.575 Wp (MACÊDO, 2008) e que alimenta um sistema de bombeamento fotovoltaico. O último sistema citado não mais está conectado à rede, mas a Figura 2.7 o mostra sobre o telhado da edificação. Atualmente este gerador fotovoltaico alimenta um sistema de bombeamento de água.

Figura 2.7 – Vista do primeiro SFCR instalado na Amazônia.



Fonte: Elaboração do autor.

O primeiro dos quatro SFCRs independentes, com capacidade de 1,21 kWp, é composto por 10 módulos silício amorfo DA121 de 121 Wp. O inversor usado é de 1 kW da CP Eletrônica.

O segundo SFCR independente, com capacidade de 1,68 kWp, é formado por 14 módulos KC120 conectados em série. O inversor utilizado neste sistema é um Xantrex de 2,8 kW. Este sistema chegou a contar com o dobro da capacidade de geração, 3,36 kWp, mas por problemas em um dos *strings* que o compunha, foi reduzido em sua geração ao final de 2013.

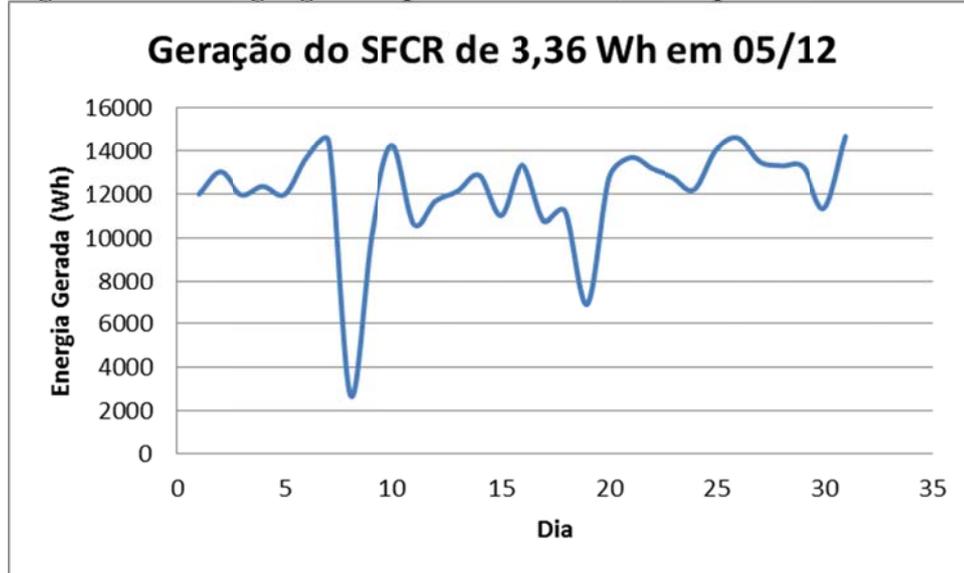
O terceiro SFCR independente de 1,47 kWp é composto por 6 módulos Yingli Solar de 245 Wp e opera com um inversor Sunny Boy de 1,2 kW.

O quarto SFCR independente de 3,125 kWp é formado por dois subsistemas de conjuntos com 5 módulos de 220 Wp e um inversor Sunny Boy de 700 W cada, além de um terceiro subsistema de 925 Wp com 5 módulos de 185 Wp conectado a um inversor Sunny Boy de 700 W.

Todos os SFCRs já apresentados são monitorados na totalidade da geração de energia elétrica de cada um deles.

Vale ressaltar que a Figura 2.8 apresenta a geração do segundo SFCR independente, quando ainda operava com 3,36 kWp, no mês de maio de 2012. Verifica-se uma média diária de 12,141 kWh e um total de 376,383 kWh no período.

Figura 2.8 – Energia gerada pelo SFCR de 3,36 kWp em maio de 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que nos dias 08 e 19 de maio a geração do SFCR foi muito abaixo do esperado, devido à desconexão temporária do sistema pela falta de energia na rede.

2.8.1.2. Eólica

O sistema eólico, previsto inicialmente para ser composto por um aerogerador de 7,5 kW, será monitorado por sensores que indicam o total da geração de energia elétrica dessa fonte renovável. O acompanhamento do comportamento desse sistema contribuirá para que se conheça no futuro, o padrão real de ventos na região que margeia a Universidade Federal do Pará.

Não espera-se que o sistema eólico contribua significativamente para a matriz de geração de energia elétrica do prédio, já que a característica climática da região indica um tímido potencial eólico local. De todo modo, este é um campo propício para formação de mão-de-obra especializada em sistemas eólicos, o que poderá alavancar a difusão da tecnologia em outras localidades da região.

Analogamente ao sistema fotovoltaico, sensores de tensão e corrente monitorarão o desempenho do sistema eólico. Os valores obtidos serão também armazenados para futuras análises do sistema.

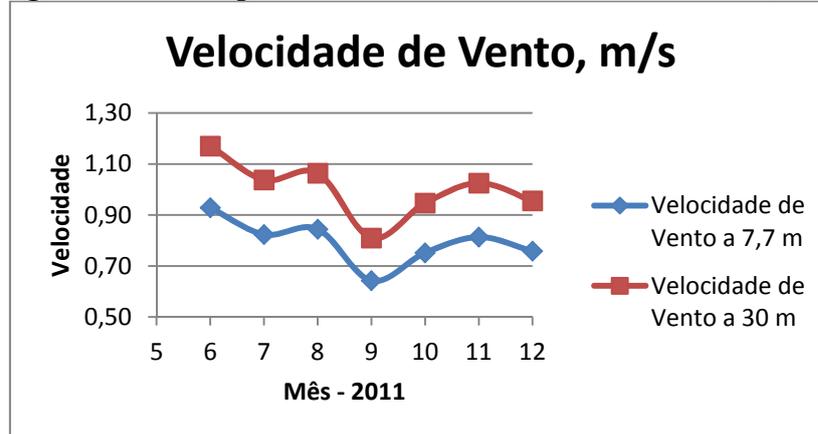
A Figura 2.9 apresenta os dados coletados pela estação meteorológica Onset U30-GSM com anemômetro instalado a 7,70 m e a velocidade extrapolada para 30 m retratando a característica de velocidade de vento local, confirmando o inexpressivo potencial eólico. Utilizou-se a expressão definida pela lei da potência de Hellman, com expoente de Hellman igual a 0,17. Este último valor é apresentado por (DALMAZ, 2007) através da equação (2.1).

$$\text{Expoente de Hellman} = 0,096 \log_{10}(z_0) + 0,016 [\log_{10}(z_0)]^2 + 0,24 \quad (2.1)$$

onde,

Z_0 – coeficiente de rugosidade local. Neste caso tomado como 100 mm, considerando o prédio localizado em área com poucas árvores.

Figura 2.9 – Comportamento da velocidade de vento a 7,70 m.



Fonte: Elaboração do autor.

Na realidade, o uso de outro tipo de aerogerador, com regime de trabalho compatível com o padrão de ventos local, seria mais adequado para o propósito do laboratório.

2.8.1.3. Diesel

Em função da geração eólica e fotovoltaica não suprirem totalmente a demanda energética do prédio, o grupo gerador a diesel pode complementar esta necessidade, ainda que parcialmente, quando a energia da distribuidora não estiver disponível. Especialmente nos meses de janeiro a maio, quando a incidência de chuvas é maior na região e a ação dos ventos é menor, o grupo gerador apresenta-se como importante *backup* ao sistema, para o atendimento de cargas prioritárias.

Vale salientar que o grupo gerador a diesel permanecerá a maior parte do tempo desligado. Apenas operará quando da estrita necessidade de abastecimento de cargas prioritárias e da realização de testes para levantamento de dados do sistema.

Estudos de sistemas híbridos, destacando o desempenho e o impacto dos mesmos quando interligados à rede convencional, podem ser realizados a qualquer tempo. O grupo gerador a diesel, estimado inicialmente para 12 kVA, poderá atender quase plenamente a carga prioritária reduzida do prédio.

Os dados de corrente e tensão podem ser monitorados por sensores de corrente e tensão, enquanto que o consumo de combustível é acompanhado por um medidor de vazão

(fluxômetro). Esses dados também estarão disponíveis no microcomputador da sala de monitoração e controle e, ajudarão na análise de desempenho do sistema de geração a diesel.

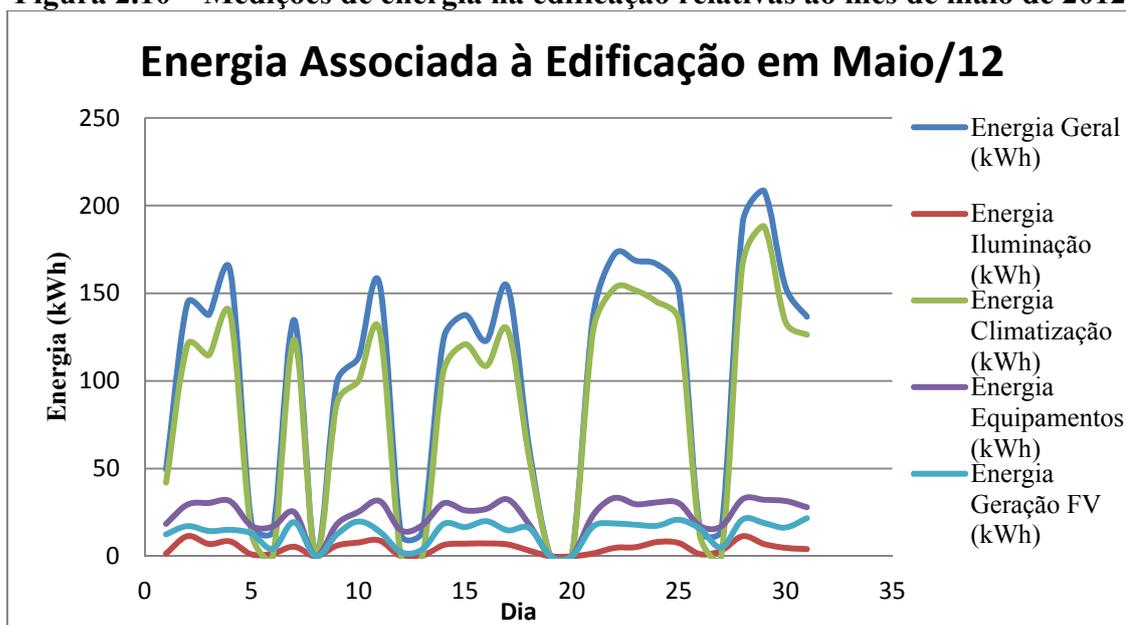
2.8.1.4. Conexão à Rede

A rede elétrica da UFPA também está interligada ao sistema de geração próprio do prédio, garantindo a oferta de energia necessária na época de baixa geração das fontes renováveis. No período de excesso de oferta dos recursos renováveis, este excedente poderá ser injetado na rede da UFPA, permitindo que esta última e a própria edificação, a partir da monitoração dos dados de energia permutada entre sistema autônomo e rede da UFPA, analisem o efeito da interligação na qualidade da energia oferecida.

As medições a serem realizadas para monitoração da contribuição da rede da UFPA na alimentação do prédio são efetuadas por medidores de energia dispostos nos quadros de distribuição do prédio.

A Figura 2.10 apresenta o consumo de energia na edificação, identificando as parcelas associadas aos equipamentos, iluminação e climatização, conjuntamente fornecida via rede da UFPA e produzida pelo SFCR em maio de 2012. Neste mês as medições dos dias 07, 08, foram incompletas ou não foram realizadas por problemas técnicos na edificação ou no sistema de aquisição de dados. Observa-se que a geração fotovoltaica foi suficiente para atender, em quase todos os dias, a demanda de iluminação. Isto deve-se ao tipo de arquitetura da edificação, com pé direito elevado, grandes janelas nas salas de ocupação permanente e cobertura de policarbonato nas áreas de circulação, que privilegiam a iluminação natural.

Figura 2.10 – Medições de energia na edificação relativas ao mês de maio de 2012.



Fonte: Elaboração do autor.

2.9. Ambiente

O uso eficiente e otimizado da iluminação natural em edificações, substituindo, ainda que apenas em parte, a iluminação artificial, pode contribuir de modo significativo para a diminuição do consumo de energia elétrica, bem como acentuar o conforto visual, o bem-estar e a produtividade dos usuários.

O conforto térmico é outro fator que muito contribui para o bem-estar dos ocupantes das edificações. O uso de aberturas e cores bem escolhidas são aliadas deste requisito e reduzem a necessidade do uso de ventiladores, exaustores e sistemas de condicionamento de ar.

Nesta situação, um sistema de monitoração e controle das condições ambientais – iluminação, temperatura e umidade – é um item da maior importância no processo de efficientização energética, suporte para o aumento de produtividade dos usuários do prédio e melhoria do conforto térmico no interior da edificação.

No prédio em questão, todos os ambientes, no futuro, serão dotados de sensores de presença e de intensidade de iluminação no recinto, definindo a necessidade de iluminação artificial no local. Verificada a ausência de movimento no ambiente, por um período pré-determinado, a iluminação será reduzida ou desligada automaticamente. O mesmo ocorrerá quando a iluminação natural percebida pelo sensor for suficiente para realização das tarefas pertinentes àquele ambiente.

2.9.1. Iluminação

A luz natural que incide no ambiente construído é composta basicamente pela luz direta do sol e pela luz difusa.

A disponibilidade de luz natural está associada à quantidade de luz em um determinado local, considerando suas características geográficas e climáticas ao longo das horas do dia.

Ao definir um projeto, é importante considerar a maneira como varia a quantidade de luz durante o dia e épocas do ano, quanto dura essa iluminação ao longo do dia e os motivos pelos quais os locais dispõem de mais ou menos luz, face aos parâmetros que influem no cálculo da disponibilidade da luz natural, tais como: os dados relativos à posição do sol; as épocas da determinação, como o dia e o mês do ano; a latitude e a longitude geográficas; e o tipo do céu.

A iluminação utilizada, portanto, deve estar em acordo com as condições climáticas locais (épocas de sol e fortes chuvas, umidade elevada e períodos de tempo nublados) e posicionamento geográfico da edificação (afastamento da linha do Equador).

Um ambiente balanceado entre a iluminação natural e artificial possibilita uma iluminação eficiente, com redução no consumo de energia e melhoria da produtividade no ambiente de trabalho. De qualquer modo, é prioritário o uso da iluminação natural à artificial. Ambientes com amplas janelas, elevado pé direito, claraboias nas salas centrais e corredores com cobertura de policarbonato translúcido, são soluções naturais usadas para diminuir a necessidade de iluminação artificial no prédio do GEDAE.

As lâmpadas propostas para os diversos ambientes são fluorescentes eficientes T5 de 28 W ou 54 W, dispostas em luminárias duplas, tipo TBS 262228 C6, proporcionando, no conjunto, um consumo reduzido, sem comprometimento da qualidade das atividades desenvolvidas nos diversos ambientes da edificação.

2.9.2. Temperatura

O conforto térmico da edificação e o bem-estar dos usuários estão diretamente relacionados com a temperatura do ambiente. A utilização de materiais adequados nas paredes, pisos e tetos, cores e tipos de revestimentos, aberturas e sistemas de ventilação, exaustão e climatização afetam diretamente a temperatura interna da construção e, conseqüentemente, o grau de conforto das pessoas.

Esses fatores devem, portanto, ser levados em conta quando do projeto de qualquer edificação que se proponha a ser energeticamente eficiente e busque propiciar um agradável nível de conforto térmico a seus ocupantes.

A temperatura de um ambiente também é função da iluminação utilizada. Quanto maior a temperatura, melhor deve ser a climatização e/ou a ventilação local, o que afeta diretamente o dispêndio de energia.

2.9.3. Umidade

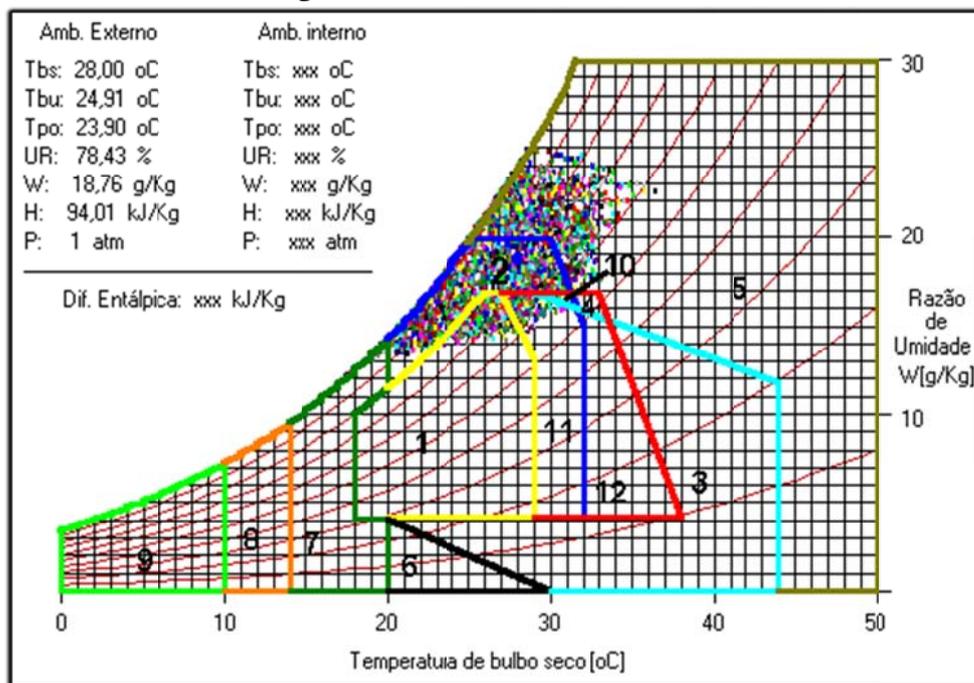
A alta umidade relativa do ar da cidade de Belém contribui de modo acentuado para a sensação de desconforto térmico. A monitoração e o conseqüente controle dessa grandeza no interior do prédio são importantes na efficientização energética e no grau de conforto dos usuários.

Em Belém, a sensação de desconforto térmico é quase que permanente, atingindo aproximadamente 99,2 % das horas do ano.

A Figura 2.11 apresenta uma carta bioclimática com as estratégias indicadas para Belém.

Observa-se que, em apenas 0,7 % das horas do ano, Belém encontra-se em zona de conforto térmico (zona 1). Não há, portanto, qualquer dúvida da necessidade de um cuidado especial com as estratégias a serem usadas na arquitetura do prédio. Aberturas que facilitem a circulação de ar e a penetração da iluminação natural são de fundamental importância. Contudo, estas aberturas não devem prejudicar o isolamento dos compartimentos com relação ao meio externo, nos períodos de uso da climatização artificial.

Figura 2.11 – Carta bioclimática de Belém.



- | | |
|---|---|
| 1- Conforto | 2- Zona de Ventilação |
| 3- Resfriamento Evaporativo | 4- Massa Térmica para Resfriamento |
| 5- Ar Condicionado | 6- Umidificação |
| 7- Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo | 8- Aquecimento Solar Passivo |
| 9- Aquecimento artificial | 10- Vent./massa térmica para resfriamento |
| 11- Vent./massa térmica para resf. e resf/evaporativo | 12- Massa para resf. e resf. evaporativo. |

Fonte: LAMBERTS, 1997.

O uso de ventilação natural ou artificial em 85,6 % e de ar condicionado em 9,2 % das horas do ano resolve quase que completamente o problema do desconforto térmico. A possibilidade do uso combinado das estratégias de ventilação e condicionamento de ar, entretanto, pode trazer maiores benefícios à climatização de um ambiente. Portanto, a combinação de estratégias naturais e artificiais para controle de temperatura é a maneira mais adequada e energeticamente eficiente para tornar o ambiente mais confortável em edificações na cidade de Belém.

Em sua dissertação de mestrado, (BRITO, 2002) mostra o desconforto ambiental em Belém. Os resultados atestam a predominância da estratégia de ventilação como a mais adequada na maior parte das horas do ano. A Figura 2.12 apresenta as percentagens de cada uma das estratégias adequadas para Belém. Os dados apresentados foram obtidos a partir do programa computacional, EDEN.

Figura 2.12 – Percentagem das estratégias de climatização para Belém.

<i>ANÁLISE BIOCLIMÁTICA PARA UM ANO TÍPICO</i>	
<i>Estratégias isoladas</i>	
<i>Conforto:</i>	<i>06,06 %</i>
<i>Ventilação:</i>	<i>67,09 %</i>
<i>Resfriamento evaporativo:</i>	<i>00,00 %</i>
<i>Massa térmica para resfriamento:</i>	<i>00,05 %</i>
<i>Ar condicionado:</i>	<i>23,24 %</i>
<i>Umidificação:</i>	<i>00,00 %</i>
<i>Massa térmica para aquecimento:</i>	<i>00,39 %</i>
<i>Aquecimento solar passivo:</i>	<i>00,00 %</i>
<i>Aquecimento artificial:</i>	<i>00,00 %</i>
<i>Estratégias combinadas</i>	
<i>Ventilação/Massa ter. resf.:</i>	<i>01,05 %</i>
<i>Vent./Massa ter. resf/Resf. Evap.:</i>	<i>02,12 %</i>
<i>Massa ter. resf/Resf. Evap.:</i>	<i>00,00 %</i>

Fonte: BRITO, 2002.

A diferença entre os casos apresentados deve-se, possivelmente, aos dados de partida utilizados para os cálculos, por exemplo, a umidade relativa do ar. No primeiro caso a umidade relativa considerada é tomada como sendo acima de 50 %, enquanto que no segundo caso é superior a 70 %. De todo modo, em ambos os casos, a estratégia de ventilação é a que melhor se adapta ao bioclima de Belém.

2.10. Tipos de Consumo

A atual tendência mundial em desenvolver sistemas, procedimentos e técnicas que reduzam o consumo e o desperdício de energia, permite que o prédio conte com um sistema de controle do uso da energia em todos os seus ambientes. A necessidade da utilização de equipamentos e acessórios que minimizem o desperdício de energia é uma preocupação permanente neste empreendimento.

2.10.1. Iluminação

No prédio proposto, a iluminação dos ambientes em níveis adequados e pelo tempo que seja realmente necessário é um fator a ser totalmente monitorado e controlado por um sistema “inteligente”. A presença de pessoas nos diversos espaços do prédio indica a necessidade de iluminação nos respectivos locais. A ausência de movimento ou atividade nos ambientes instrui o sistema de monitoração a interromper ou minimizar temporariamente o gasto de energia com iluminação.

A monitoração e o controle das variáveis que afetam a qualidade e o consumo da iluminação em um ambiente (nível necessário de iluminância), presença ou não de usuários, disposição das luminárias, é um item ao qual nem sempre é dada a devida atenção, mas que merece ser cuidadosamente avaliado em qualquer projeto elétrico. Um controle eficiente dos níveis de iluminação em um ambiente contribui positivamente para o aumento da produtividade, já que a iluminação, muito mais que um item de beleza ou valorização da construção, é um instrumento de trabalho, assim como máquinas e equipamentos.

Considerando os dados da Figura 2.10, observa-se que o consumo médio mensal com iluminação na edificação atingiu cerca de 5,2 % da energia total consumida. Este valor pode ser consideravelmente reduzido com o emprego de técnicas de eficiência energética e uso racional da energia.

2.10.2. Tomadas Livres

A existência de tomadas em cada ambiente é determinada conforme a necessidade do trabalho ali executado e o número de pessoas que lá atuem simultaneamente. Há uma atenção especial na quantificação das tomadas em um recinto, de modo que o uso de “benjamins” e extensões seja minimizado.

Inicialmente, todos os espaços contam com pelo menos uma tomada livre e é considerada, no projeto da edificação, uma previsão média de 100 W de potência para cada uma delas. O total de pontos livres flexibiliza a utilização simultânea de um número maior de outros equipamentos e máquinas na realização de tarefas eventuais que precisem de energia.

2.10.3. Lâmpadas

A eficiência de um sistema de iluminação artificial está intimamente ligada à eficiência energética da fonte de luz, que é caracterizada pela quantidade de lumens gerados por watts consumidos. A prévia escolha do tipo de lâmpada que melhor atenda às

necessidades de um determinado ambiente, o uso de lâmpadas eficientes e a monitoração e o controle do uso destas, permitem a redução do consumo de energia em todo o prédio.

Ao definir o tipo de lâmpada usada, deve-se sempre considerar a eficiência, o rendimento, o grau de reprodução de cores e a vida útil, já que estes aspectos contribuem para a eficiência de um sistema de iluminação. Na edificação em questão, todos os ambientes internos contam com lâmpadas fluorescentes tubulares de 28 e 54 W, todas elas de excelente fluxo luminoso e elevado tempo de vida útil.

2.10.4. Luminárias

A busca por um ambiente que seja eficiente no uso da energia passa necessariamente pelo uso de luminárias eficientes. Cuidados com relação ao ofuscamento e à reflexão das luzes das luminárias em telas de vídeo e superfícies espelhadas são importantes no desempenho do conjunto usado na iluminação do recinto.

A simples escolha de lâmpadas eficientes e bem dimensionadas para a aplicação desejada não garante a melhor eficiência da iluminação e, conseqüentemente, do uso da energia. Necessário se faz a utilização de luminárias adequadas àquela aplicação.

Uma luminária eficiente melhora o desempenho de um sistema de iluminação artificial. A eficiência de uma luminária pode ser mensurada pela fração de emissão de luz (FEL), ou rendimento, e pode ser escrita como a razão entre a luz emitida pela luminária e a luz emitida pela lâmpada.

Ao se avaliar a distribuição de luz de uma luminária, deve-se atentar para a proporção de lumens que chegam da lâmpada ao plano de trabalho e o modo como ela controla e direciona o brilho.

2.10.5. Equipamentos

Os equipamentos presentes em cada ambiente devem ser permanentemente monitorados através do consumo de energia total em cada recinto, permitindo que haja um melhor aproveitamento dos recursos energéticos nas diversas áreas do prédio.

Este artifício pode indicar um possível desbalanceamento nas cargas do prédio, permitindo sua conseqüente correção.

Cuidado especial deve ser tomado com os equipamentos responsáveis pela ventilação, exaustão e climatização dos ambientes. A presença de elementos como ventiladores, exaustores e condicionadores de ar é uma necessidade no Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética, face ao clima local, temperatura média e umidade relativa elevadas.

Um acompanhamento permanente do desempenho destes, especialmente dos condicionadores de ar, pode representar uma acentuada redução no consumo de energia global. Paralelamente, devem ser realizadas inspeções para limpeza e manutenção desses sistemas.

2.11. Meteorologia

As condições climáticas locais - direção e velocidade de vento a 10 e a 30 m de altura, radiação solar (global, direta e difusa), temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e pluviosidade - são monitoradas através de um conjunto de equipamentos instalados na área externa do prédio.

A análise das medições executadas permitem não apenas o desenvolvimento de métodos eficazes de tratamento dos dados, como também o estabelecimento de informações confiáveis sobre o clima da região no entorno da UFPA.

2.12. Segurança

A segurança para os usuários, bem como para o prédio, é um item de grande importância. A entrada e a saída de pessoas deverá ser monitorada por meio de cartões magnéticos hierarquizados, onde o acesso aos diferentes ambientes seja liberado conforme a função de cada pessoa. A área externa e os ambientes de uso coletivo, tais como, salas de aula, salas de alunos, auditório, laboratórios, biblioteca, corredores, acessos do prédio, etc., já são permanentemente acompanhados por câmeras de circuito interno de TV.

Toda a área, interna e externa, do prédio deverá ser provida de dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas e incêndio (para-raios, extintores e hidrantes).

2.13. Central de Energia

Na área interna do prédio está localizada a central de energia contendo baterias, inversores e equipamentos para monitoração. Por questões de ruído e fumaça, o grupo gerador a diesel está abrigado em um espaço externo ao prédio.

Os equipamentos de condicionamento de potência pertinentes a cada um dos sistemas de geração de energia elétrica estão todos abrigados das intempéries e isolados do contato de pessoal não autorizado.

2.14. Dimensionamento do SFCR

2.14.1. Horas Diárias de sol pleno (*HSP*)

O prédio do GEDAE, em Belém, está situado às coordenadas geográficas 1°27'21" S e 48°30'16" O. As médias de horas diárias de sol pleno, *HSP*, ao longo do ano de 2013, são apresentadas na Tabela 2.3. Destacam-se o menor valor, 3,89, e o valor médio ao longo do ano, 5,13 de *HSP*.

Tabela 2.3 – Média mensal de horas de sol pleno em Belém no ano de 2013.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MIN	MED
3,97	4,02	3,89	4,88	5,31	5,41	5,84	5,62	5,90	6,28	5,43	4,97	3,89	5,13

Fonte: Medições locais no GEDAE.

2.14.2. Dimensionamento do Gerador fotovoltaico

A determinação do número de módulos fotovoltaicos necessários ao atendimento das cargas prioritárias é feita a partir das equações (2.2) a (2.5), considerando o *HSP* mínimo como referência.

A equação (2.2) determina a capacidade de geração diária do módulo fotovoltaico a ser utilizado, já considerando a correção necessária diante de perdas associadas no sistema como um todo.

$$G_M = P.HSP.\eta_I.\eta_B.\eta_O.\eta_M \quad (2.2)$$

onde,

G_M – geração diária por módulo (Wh/dia);

HSP – horas diárias de sol pleno (h/dia);

P – potência nominal do módulo (W);

η_I – eficiência do inversor;

η_B – fator de perdas associado ao banco de baterias (se existente);

η_O – fator de perdas associado aos cabos e conexões;

η_M – fator de perdas associado a dispersão, sujeira e sombreamento do módulo.

A equação (2.3) quantifica o total de módulos fotovoltaicos associados em paralelo para suprir a demanda de corrente do sistema.

$$N_{MP} = \frac{C_{MD}}{G_M} \quad (2.3)$$

onde,

N_{MP} – número de módulos em paralelo;

C_{MD} – consumo médio diário (Wh/dia).

A equação (2.4) quantifica o total de módulos fotovoltaicos associados em série para atender a tensão de entrada do inversor utilizado.

$$N_{MS} = \frac{T_{SIS}}{T_M} \quad (2.4)$$

onde,

N_{MS} – número de módulos em série;

T_{SIS} – tensão de entrada do inversor (V);

T_M – tensão de operação dos módulos (V).

A equação (2.5) totaliza o número de módulos fotovoltaicos usados no SFCR.

$$N_M = N_{MP} \cdot N_{MS} \quad (2.5)$$

onde,

N_M – número de módulos do SFCR.

2.14.3. Dimensionamento do Inversor

Em geral, o inversor é dimensionado com a mesma potência do gerador. Entretanto, diversos autores (MACÊDO, 2006; PINHO, 2014; RAMPINELLI, 2013) apresentam o conceito de fator de dimensionamento do inversor, FDI , onde a potência do inversor que garante a melhor relação custo x benefício está situada entre 70 % e 120 % da potência nominal do gerador fotovoltaico.

Neste trabalho, o inversor é dimensionado de acordo com a potência nominal do conjunto de módulos, usando o conceito de FDI e estabelecendo-se um valor de 80 % da potência do gerador fotovoltaico, como valor padrão. Assim, busca-se uma operação mais eficiente do inversor, gastando menos em sua aquisição e reposição, além de contribuir favoravelmente para um menor custo da energia produzida pelo SFCR e com um maior valor presente ao final da vida útil do sistema. O valor 0,8 para o FDI , no presente trabalho, é aquele estabelecido em alguns dos subsistemas do SFCR do GEDAE, a serem posteriormente apresentados. A equação (2.6) determina a capacidade do inversor.

$$C_I = FDI \cdot P \cdot N_M \quad (2.6)$$

onde,

C_I – capacidade do inversor (W).

2.14.4. Dimensionamento do Banco de Baterias

Em um SFCR, em geral não há banco de baterias convencional como nos sistemas autônomos, pois a própria rede funciona como “armazenador” de energia. O banco de baterias proposto, além de servir para capacitação de mão-de-obra e aulas práticas, deve prover a energia necessária à carga quando o SFCR estiver inoperante pela ausência da rede convencional. Esta opção é utilizada em situações onde a carga deve ser permanentemente alimentada, com risco mínimo de interrupção no fornecimento de energia. O dimensionamento do banco de baterias pode ser realizado através das equações (2.7) a (2.10).

$$C_B = \frac{A.C_{MD}}{PD} \quad (2.7)$$

$$N_{BP} = \frac{C_B}{C_{TB}} \quad (2.8)$$

$$N_{BS} = \frac{T_{SIS}}{T_B} \quad (2.9)$$

$$N_B = N_{BP} \cdot N_{BS} \quad (2.10)$$

onde,

- C_B – capacidade total do banco de baterias (Wh);
- A – autonomia do banco de baterias (dia);
- PD – profundidade de descarga do banco de baterias;
- C_{TB} – capacidade do tipo de bateria utilizado (Wh);
- T_B – tensão nos terminais das baterias utilizadas (V);
- N_{BP} – número de baterias em paralelo;
- N_{BS} – número de baterias em série;
- N_B – número total de baterias.

2.15. Análise de Desempenho do SFCR

O desempenho de um sistema de geração de energia elétrica pode ser quantificado através de algumas figuras de mérito, tais como: a produtividade anual, $Prod$, ou o fator de capacidade do sistema, FC .

2.15.1. Produtividade do SFCR ($Prod$)

A produtividade indica quanta energia é produzida por cada kWp instalado no SFCR. A equação (2.11) mostra como obter esse parâmetro.

$$Prod = \frac{E_P}{P_{ins}} \quad (2.11)$$

onde,

$Prod$ – produtividade (kWh/kWp/ano);

E_P – energia produzida anualmente pelo SFCR (kWh/ano);

P_{ins} – potência total instalada em módulos fotovoltaicos (kWp).

2.15.2. Fator de Capacidade (FC)

O fator de capacidade indica qual a real produção de energia de um sistema quando comparada com a produção do mesmo em condição de regime nominal. A equação (2.12) quantifica o fator de capacidade percentual de um sistema.

$$FC = \frac{E_P}{P_{ins} \cdot \Delta t} \cdot 100 \quad (2.12)$$

onde,

FC – fator de capacidade anual percentual (%);

Δt – período de tempo considerado.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ECONÔMICA E DE RISCO PARA SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VIA MÉTODO DE MONTE CARLO: ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO GEDAE/UFPA

A edificação proposta é atendida, em suas necessidades de eletricidade, via rede da UFPA. Entretanto, parte de sua carga, especificamente cargas prioritárias, são alimentadas preferencialmente pelos sistemas fotovoltaicos conectados à rede existentes.

3.1. Análise Econômica de um Sistema de Geração de Energia Elétrica

A análise econômica de qualquer projeto de geração de energia é imprescindível para identificar a viabilidade do mesmo, proporcionando argumentos para o investidor avaliar sua sustentabilidade e seu retorno econômico. Dentre os índices que permitem essa análise destacam-se: o fator de recuperação de capital, *FRC*, o custo do ciclo de vida útil, *CCV*, o custo do ciclo de vida útil anualizado, *CCVA*, o custo da energia produzida, *C_{EN}*, e o valor presente líquido, *VPL*.

3.1.1. Fator de Recuperação de Capital (*FRC*)

O *FRC* anualiza o valor de um determinado investimento feito no presente, levando em consideração a taxa de desconto aplicada e o total de anos de vida útil de um projeto. A equação (3.1) quantifica o *FRC*. Quanto maior for o *FRC*, mais difícil será a sustentabilidade econômica de um sistema ao longo de sua vida útil.

$$FRC = \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.1)$$

onde,

i – taxa de desconto (%);

N – número de anos de operação do sistema.

3.1.2. Custo do Ciclo de Vida Útil (CCV)

O custo do ciclo de vida útil quantifica o saldo financeiro do sistema, balanço entre receitas e despesas, considerando o valor do dinheiro no tempo para todas as despesas realizadas e o *salvage* estabelecido durante a execução do projeto. A equação (3.2) mostra como obtê-lo. As equações (3.2) a (3.10) foram adaptadas de (BERNAL-AGUSTÍN, 2006).

$$CCV = CI + R + C_{O\&M} - Ptm \quad (3.2)$$

onde,

CCV – custo do ciclo de vida útil;

CI – investimento inicial do projeto, incluindo instalação;

R – despesas com reposição de equipamentos, corrigida com o valor do dinheiro no tempo;

$C_{O\&M}$ – custo com operação e manutenção ao longo da vida útil do sistema;

Ptm – *salvage* ao final da vida útil do projeto.

3.1.3 Custo do Ciclo de Vida Útil Anualizado (CCVA)

O $CCVA$ indica o custo do sistema por cada ano, enquanto o CCV concentra todos os gastos efetuados e o *salvage* alcançado na data zero. O $CCVA$ transforma o CCV em uma série de valores uniformemente distribuídos ao longo dos N anos de vida útil do projeto. A equação (3.3) caracteriza o $CCVA$.

$$CCVA = CCV.FRC \quad (3.3)$$

3.1.4. Custo da Energia Produzida (C_{EN})

O C_{EN} permite comparar o custo da energia produzida por um determinado sistema de geração com o custo da energia comercializada ou produzida por outras fontes. A equação (3.4) calcula o valor desse custo.

$$C_{EN} = \frac{CCVA}{E_P} \quad (3.4)$$

3.1.5. Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido, VPL , é uma figura de mérito que ajuda a caracterizar a viabilidade econômica de um investimento. Ele é um dos índices mais utilizados no mercado, porque evidencia de modo simples a noção de lucro ou perda do projeto analisado, convertendo para a “data zero”, todos os gastos e receitas ocorridos durante a vida útil do mesmo. As equações (3.5) a (3.8) são gerais e podem ser usadas para obtenção do valor

presente líquido, não apenas para SFCRs, mas para outros sistemas como os eólicos, os solar térmicos e os híbridos, por exemplo.

$$S = C_{gen} + C_{scp} + C_{arm} + R + C_{inst} - C_{sub} = C_{sis} - C_{sub} \quad (3.5)$$

$$C_{O\&M} = \sum_{j=1}^N \frac{0,01(C_{gen} + C_{scp})(1+g)^j}{(1+i)^j} \quad (3.6)$$

$$Q_j = \frac{p_s \cdot E_{inj} \cdot (1+g)^j}{(1+i)^j} - C_{O\&M} \quad (3.7)$$

$$VPL = -S + Ptm - C_{fin} + Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = -S + Ptm - C_{fin} + \sum_{j=1}^N Q_j \quad (3.8)$$

onde,

S – custo total do sistema instalado, incluindo reposições;

C_{gen} – custo dos equipamentos de geração de energia (módulos fotovoltaicos, aerogeradores, grupos geradores de eletricidade, etc.);

C_{scp} – custo dos equipamentos de condicionamento de potência;

C_{arm} – custo dos equipamentos de armazenamento de energia;

R – custo com reposição de equipamentos;

C_{inst} – custo de instalação do sistema;

C_{sub} – valor de possível subsídio ao projeto;

C_{sis} – custo total com equipamentos e instalação do sistema;

$C_{O\&M}$ – custo anual com operação e manutenção;

g – inflação anual (%);

i – taxa de desconto anual (%);

Q_j – remuneração líquida do projeto no ano j ;

p_s – valor de venda da energia produzida pelo sistema;

E_{inj} – energia anual produzida pelo sistema;

VPL – valor presente líquido;

C_{fin} – custo com financiamento do projeto.

Observa-se que tanto a inflação anual quanto a taxa de desconto praticada pelo mercado são consideradas na contribuição de $C_{O\&M}$ e no cálculo de VPL .

O valor de $C_{O\&M}$ não é único na literatura corrente. Para (BERNAL-AGUSTÍN, 2006), por exemplo, $C_{O\&M}$ foi tomado como sendo 0,25% das despesas com o SFCR instalado, mas

neste trabalho é usado 1% do custo de aquisição dos módulos fotovoltaicos e inversores utilizados, corrigindo os valores com a inflação ao longo do tempo. Esta consideração é concordante com a dos SFCRs já instalados no GEDAE.

3.1.6. *Payback* Simples e *Payback* Descontado (*PBS* e *PBD*)

O *payback* simples, *PBS*, revela o tempo necessário para recuperar o investimento, sendo um índice de fácil interpretação, proporcionando uma visão simplificada da liquidez e do risco na execução de um projeto. Por outro lado, este índice apresenta o problema de não considerar os fluxos de caixa após o ano de recuperação do investimento ou o valor no tempo dos fluxos de caixa ao longo da vida útil, o que, para projetos de longa duração, é um inconveniente. A equação transcendental (3.9) determina o valor de *PBS*.

$$0 = -S + Ptm - C_{fin} + \sum_{j=1}^{PBS} Q_j \quad (3.9)$$

Para minimizar o problema do valor do dinheiro no tempo, todos os fluxos de caixa, positivos e negativos, são levados para o tempo presente. Neste caso, o tempo necessário para igualar o fluxo de caixa total e os investimentos é chamado de *payback* descontado, *PBD*. Nos sistemas de geração de energia, o *PBD* corrige no tempo o valor dos fluxos de entrada devidos ao valor da energia produzida e dos gastos com reposição, operação e manutenção.

3.1.7. Taxa Interna de Retorno e Taxa Interna de Retorno Modificada (*TIR* e *TIRM*)

A *TIR*, taxa interna de retorno, identifica a taxa de desconto que, ao final da vida útil de um projeto, iguala as receitas e despesas nesse período. A interpretação da *TIR* é direta e de fácil entendimento, porém pode conduzir a conclusões equivocadas quando o fluxo de caixa total em cada período analisado alterna mais de uma vez entre valores positivos e negativos, o que pode produzir mais de uma *TIR* (BARBIERI et al, 2007).

A *TIRM* tem a mesma interpretação da *TIR*, porém minimiza a deficiência desta última, deslocando todas as despesas para a “data zero” e as receitas para a “data final” do projeto. Deste modo, não há qualquer possibilidade de existência de mais de uma taxa interna de retorno.

Quanto maior for a *TIRM* em relação à taxa de desconto praticada, menor será o risco de insucesso do projeto. Se, entretanto, a *TIRM* for menor que a taxa de desconto praticada, o projeto deverá ser rejeitado.

3.2. Análise de Risco de um Sistema de Geração de Energia Elétrica

É fato que a análise econômica apresentada considerou valores reais, porém fixos, no mercado brasileiro para o custo dos equipamentos, taxa de inflação, taxa de desconto, valor da energia vendida pela distribuidora e custo daquela produzida pelo SFCR, além da produtividade do sistema. Entretanto, todos eles estão sujeitos às variações do próprio mercado, condições climáticas, política de incentivos do governo, etc. Portanto, há um grau de incerteza nos dados utilizados, refletindo-se em risco associado à tomada de decisão no que diz respeito à viabilidade econômica do sistema.

Para efetuar a análise de viabilidade econômica de qualquer sistema de geração de energia pode-se recorrer a diversos procedimentos que poderiam ser divididos em dois grandes grupos: Métodos Determinísticos e Métodos Probabilísticos. O primeiro grupo engloba análises que tomam como fixos os dados de entrada, desprezando as variações que estes possam sofrer ao longo da vida útil do projeto, o que contribui para imprecisões nos resultados encontrados. Já o segundo grupo privilegia a variabilidade dos dados de entrada, o mútuo relacionamento entre eles e a consequente influência sobre os resultados obtidos, o que confere uma maior transparência na tomada de decisão quanto à viabilidade econômica de um projeto.

3.2.1. Métodos Determinísticos para Análise de Investimentos

A análise de qualquer investimento é fundamentada em valores expressos por índices econômicos que revelam de diversas maneiras a viabilidade econômica do projeto em foco. Índices como *VPL*, valor presente líquido, *TIR*, taxa interna de retorno, *TIRM*, taxa interna de retorno modificada, *IBC*, índice custo-benefício, *PBS* e *PBD*, *payback simples e descontado*, dentre outros, são alguns dos parâmetros que quantificam a viabilidade econômica e indicam ao investidor se a execução do projeto é economicamente favorável. De um modo geral, mais de um destes índices são usados simultaneamente para auxiliar na tomada de decisão do investidor.

O *VPL* atualiza a valores de hoje a diferença entre os ganhos e os desembolsos ao longo do período do investimento. A grande dificuldade no uso do *VPL* está na escolha da taxa de desconto a utilizar, já que esta varia com o risco atribuído pelo mercado ao investimento e com a duração do projeto. Em geral, a taxa de desconto cresce com a inflação e os juros de mercado. Contudo, por sua simplicidade no processo matemático e por sua consistência, o *VPL* é um dos índices econômicos mais usados na avaliação de projetos. Por

sua vez, o *IBC* identifica o ganho por unidade de capital investido ao longo da vida útil do projeto. Ambos os índices são utilizados como indicadores de retorno de um investimento.

A *TIR* representa a taxa de retorno que anula o *VPL* ao final de um projeto. Seu entendimento é simples, porém sua aplicação pode ser dificultada quando se obtém mais de uma *TIR* em um projeto.

O *payback* identifica o tempo necessário para que o investimento realizado seja recuperado. O *payback* tem o inconveniente de não considerar o fluxo de caixa após a recuperação do investimento inicial. Estes índices, *TIR* e *payback*, são interessantes na análise de risco de investimento, pois se o *payback* é próximo, ainda que ligeiramente menor, do tempo de vida útil do projeto, o risco de executá-lo é certamente grande. Com relação à *TIR*, quanto mais próxima, mesmo sendo superior, da taxa de atratividade do projeto, maior será o risco em efetivar o investimento.

Um inconveniente adicional a todos os índices citados está no fato de considerarem fixos todos os gastos futuros e que as condições de mercado não se alterarão ao longo do projeto (SMART, 2004; PUTTEN, 2004). Esta situação se agrava ainda mais quanto maior for o tempo de vida útil para o projeto, o que pode acarretar em erro de avaliação, recomendando-se a execução de um projeto quando, na verdade, deveria ser rejeitado (BLOCK, 2007).

Para calcular estes índices pode-se recorrer a um Método Determinístico, como a Análise de Sensibilidades, que permite a obtenção de um determinado índice econômico, a partir da consideração de uma incerteza em um dado de entrada específico. Na realidade, esta análise já preconiza, ainda que de forma rudimentar, a situação de risco de um investimento. O resultado obtido revela o grau de influência de um determinado parâmetro no índice econômico analisado.

Outro Método Determinístico, a Análise de Cenários, considera a possibilidade de situações distintas de evolução de um investimento, onde, em geral verifica-se o comportamento do índice econômico sob análise, segundo três prováveis cenários, quais sejam: Pessimista, Realista e Otimista. O cenário realista aponta a situação mais provável de ocorrência dos dados de entrada. Os dois outros cenários apontam para valores possíveis, porém pouco prováveis, de dados de entrada, que conduzem ao pior ou ao melhor resultado esperado para o índice econômico analisado, respectivamente. Em qualquer dos cenários, a quantificação da incerteza nos dados de entrada ou de saída não é possível de ser obtida. De todo modo, as análises de sensibilidades e a de cenários já podem vislumbrar o risco assumido ao executar determinado projeto, desde que se tenha uma boa previsibilidade em relação ao

comportamento dos dados de entrada, caso contrário os Métodos Probabilísticos deverão ser utilizados para a avaliação econômica do investimento.

No âmbito comercial vários programas computacionais estão disponíveis, como *Reno* (RENO, 2011), *RetScreen* (RETSCREEN, 2010) e *Homer* (HOMER, 2010), que utilizam a Análise de Sensibilidades em suas simulações, podendo ser aplicados à análise econômica de sistemas de geração de energia por fontes renováveis. Entretanto, o alcance e o grau de precisão de seus resultados quanto ao risco envolvido no projeto está diretamente ligado à precisão dos dados de entrada; quanto menor for a incerteza associada aos valores dos dados de entrada, maior é a precisão na avaliação do risco para o investimento analisado. Atualmente o *RetScreen* já auxilia os tomadores de decisão na análise de viabilidade econômica de um projeto, considerando preliminarmente o risco envolvido pelo cálculo da Taxa Interna de Retorno e do *Payback* Simples, através de uma abordagem probabilística, o Método de Monte Carlo.

3.2.2. Métodos Probabilísticos para Análise de Investimentos

Na análise econômica de qualquer investimento, o uso de informações precisas sobre os dados de entrada pode levar a resultados confiáveis e também precisos. Isto porque a precisão dos resultados é, em geral, dependente do comportamento dos parâmetros de entrada ao longo do tempo de vida útil do projeto. Neste sentido, as análises determinísticas de investimentos, ainda que simples e muitas vezes diretas na sua obtenção e interpretação, devem ser encaradas com alguma reserva, pois as incertezas associadas à ação dos parâmetros de entrada nos resultados podem conduzir a interpretações e conseqüentes decisões equivocadas.

Os métodos probabilísticos avançam em relação aos determinísticos, porque consideram o comportamento não constante dos parâmetros que interferem nos índices de avaliação econômica de um projeto. O risco em executar determinado investimento torna-se possível de ser quantificado com relativa precisão, auxiliando significativamente o investidor na tomada de decisão.

A medição ou estimativa do risco em um investimento pode ser realizada através de diversos métodos, tais como:

Método da Probabilidade de Ocorrência (MUN, 2006). É bastante simples, porém eficaz. O comportamento das variáveis de entrada é estabelecido por informações de especialistas da área do projeto, energias renováveis, se for o caso, baseadas em experiências próprias ou mesmo por séries históricas de dados medidos,

ou ainda, frutos de pesquisas científicas que indiquem o referido comportamento ao longo da vida útil do projeto. Posteriormente, estes dados são correlacionados e usados para cálculo das variáveis de saída, por exemplo, o *VPL*, através de um método numérico como o Método de Monte Carlo. Ao final do processo de simulação tem-se um conjunto de probabilidades relacionadas com as variáveis de saída, que permitem ao investidor avaliar o grau do risco assumido na execução de determinado projeto.

Método do Desvio Padrão e da Variância (MUN, 2006). O desvio padrão é uma medida do afastamento de cada amostra em relação à média, e, ao mesmo tempo, é a raiz quadrada da variância. Quanto maior o desvio padrão ou a variância, dos resultados obtidos, maior é o risco associado ao investimento. Neste caso, as informações de entrada são representadas por valores ou funções para o desvio padrão e a variância, que, depois de utilizadas na determinação dos parâmetros de saída, produzem nestes últimos uma faixa de valores que indicam o provável comportamento da resposta. Com esta informação o investidor pode avaliar o risco associado à execução do projeto.

Os métodos probabilísticos não produzem um resultado único, mas uma faixa de possíveis valores, o que algumas vezes não responde diretamente à pergunta do investidor, como: qual o custo da energia produzida pelo SFCR? Neste sentido, a medição ou estimativa do risco deverá ser feita através de questões como, por exemplo, na área de energias renováveis:

Qual a probabilidade do custo da energia produzida por um SFCR ser inferior ao preço da energia vendida pela distribuidora local?

Qual a probabilidade do projeto apresentar um *VPL* positivo ao final de sua vida útil?

Qual a probabilidade das perdas econômicas excederem um determinado valor ao longo da vida útil do SFCR?

Os métodos probabilísticos, mesmo os mais simples, exigem um número elevado de operações matemáticas, já que os resultados são obtidos após um grande número de iterações. O Método de Monte Carlo é usado como ferramenta numérica auxiliar para a avaliação do risco econômico na execução de um determinado projeto.

3.2.3. O Método de Monte Carlo (MMC)

O Método de Monte Carlo (MMC) foi desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial por John Von Neumann e Stanislaw Ulam, para solucionar problemas de blindagem em reatores nucleares (VOSE, 2008). Sua difusão, entretanto, só ganhou impulso com o desenvolvimento dos computadores, devido ao grande número de iterações necessárias para melhor precisão do método.

O MMC é uma técnica estatística de amostragem, que opera com componentes aleatórios como variáveis de entrada sujeitas a incertezas e apresenta, após várias iterações, um conjunto de resultados em termos de probabilidades. A aplicação do MMC é bastante geral e pode ser encontrada, por exemplo, na física médica, para cálculos de dose absorvida e outras grandezas de interesse nas áreas de terapêutica e diagnóstico (YORIYAZ, 2009), na medicina para planejar o tratamento radioterápico em pacientes com câncer (MODE, 2011) ou para diagnóstico de glaucoma (BORDIN, 2005), na agricultura, para análise de risco decorrente de incertezas próprias das atividades agrícolas, como o regime de chuvas ou o preço das *commodities* no mercado (BORGES JÚNIOR, 2004), na engenharia mecânica, para resolução de problemas de transferência de calor por radiação (MAURENTE, 2007), na economia, para análise de risco aplicada à modelagem financeira de empresas (SOARES, 2006), etc.

A execução do MMC exige algumas etapas básicas, quais sejam:

1. Elaboração do modelo matemático que define os parâmetros sob análise (variáveis dependentes);
2. Seleção das variáveis que influenciam os resultados, definindo os limites das mesmas (variáveis independentes);
3. Definição das distribuições de probabilidade para as variáveis independentes;
4. Obtenção das variáveis dependentes através do modelo matemático escolhido;
5. Repetição do item 4 até a convergência dos resultados;
6. Análise dos resultados obtidos;
7. Tomada de decisão.

A definição das distribuições de probabilidade é um ponto chave na execução do MMC, porque do seu grau de fidelidade à realidade das variáveis independentes depende a

precisão dos resultados obtidos e a tomada de decisão por parte do analista do processo ou do investidor de um determinado projeto. Segundo (KELLIHER, 2000), existem alguns passos para se determinar qual distribuição se enquadra mais perfeitamente para cada variável. O primeiro passo é identificar e listar tudo o que se sabe sobre cada variável de entrada. Para estes autores, muita informação pode ser conseguida em publicações de pesquisas de levantamento de marketing sobre taxas de retorno e índices de operações. Informações valiosas podem ser ainda inferidas a partir de dados históricos tanto internos quanto externos. No caso de existirem dados históricos válidos, existe a possibilidade de que seja encontrada a distribuição que mais se adequa àquela variável, utilizando o auxílio de *software* específico de simulação. Contudo, mesmo com dados históricos à disposição, grande parte da seleção de distribuições de frequências é dirigida pela subjetividade e experiência do analista.

Qualquer simulação do MMC é realizada através de amostragens das funções distribuição de probabilidade, o que se traduz no uso de geradores de números aleatórios para efetuar essas amostragens. Portanto, a necessidade de um bom gerador de números aleatórios é uma exigência para melhorar a confiabilidade dos resultados obtidos (YORIYAZ, 2009).

Outro ponto importante no MMC é a definição do número de iterações que garanta a confiabilidade dos resultados. Quanto maior o número de iterações, segundo o Teorema do Limite Central, mais a média e o desvio padrão das amostras tendem para a média e o desvio padrão populacional (MUN, 2006). Empiricamente pode-se identificar qual seria o total razoável de iterações, executando o método com um valor crescente de simulações. Após cada simulação seria verificada a média, ou outro parâmetro de avaliação dos resultados de saída, e quando esta passasse a apresentar variação desprezível, o número razoável de iterações teria sido atingido. A necessidade de um grande número de iterações postergou a disseminação do MMC. Entretanto, com o avanço no que concerne à capacidade de memória e velocidade de processamento dos computadores, esta situação deixou de ser um entrave.

O MMC possui também várias vantagens na sua aplicação, tais como: permite modelar a correlação entre as diversas variáveis dependentes do problema; a matemática envolvida no MMC é muito simples; todo o trabalho para determinação da função distribuição resposta é realizado pelo computador; existência de diversos programas comerciais que utilizam o MMC; tratamento de modelos lineares e não-lineares, dos mais simples aos mais complexos, sem grandes dificuldades; mudanças no modelo podem ser executadas com facilidade e rapidez; o comportamento do modelo pode ser verificado com facilidade; admite a existência de diversas variáveis independentes simultaneamente e resulta em uma função

distribuição de probabilidade para a variável de saída, proporcionando a decisão de assumir ou não o risco de determinada ação (VOSE, 2008).

3.2.4. O MMC Aplicado à Análise de Risco de Sistemas de Geração de Energia Elétrica

A metodologia adotada segue o roteiro usado para aplicação do MMC em um sistema de geração de energia elétrica qualquer, o qual é desenvolvido a seguir.

3.2.4.1. Definição do Modelo Matemático

Na definição do modelo matemático, deve-se escolher de que modo será avaliado o sistema de geração de energia. Será feita uma análise para identificar o risco de que determinado desempenho técnico do projeto desejado não seja alcançado? Será feita uma análise do risco do sistema não ser economicamente viável? Qualquer que seja o objetivo da análise de risco é necessário qualificar matematicamente, através de um ou mais índices, a decisão do investidor em executar ou não determinado projeto.

Em grande parte das aplicações, o modelo utilizado na simulação usa o *VPL* como parâmetro que auxiliará na tomada de decisão do investidor. Sua obtenção é realizada a partir do fluxo de caixa ao longo da vida útil do projeto. As Eqs. (3.5) até (3.8) estabelecem a formulação matemática que define o modelo geral para a obtenção do *VPL*.

Além do *VPL*, o custo da energia produzida, C_{EN} , é um parâmetro que muito interessa ao investidor e que baliza sua decisão. O C_{EN} é calculado a partir do Custo do Ciclo de Vida Útil Anualizado (*CCVA*) através das equações (3.1) a (3.6) e (3.10).

3.2.4.2. Escolha das Variáveis Independentes

As variáveis independentes são os principais parâmetros que influenciam nos índices escolhidos para analisar o projeto. Inicialmente, *CCV*, p_s e i foram as variáveis independentes escolhidas, por serem aquelas que, na maioria das vezes, mais influenciam nos índices econômicos dos sistemas de geração de energia. A paridade tarifária, *Par*, e a produtividade, *Prod*, foram posteriormente incluídas porque podem ter contribuição significativa para o *VPL* e para C_{EN} . A inflação também poderia ser tomada como uma variável independente, mas considerando uma economia estável ela pode ser feita constante na análise.

3.2.4.3. Escolha das Variáveis Dependentes

VPL e C_{EN} são escolhidos, por serem índices que permitem ao investidor qualificar o projeto quanto à sua viabilidade econômica. Eles dependem diretamente do comportamento de CCV e i , além do valor de venda da energia produzida pelo sistema de geração por fontes renováveis também contribuir para o valor de VPL .

3.2.4.4. Escolha das Funções Distribuição de Probabilidade

A definição das funções distribuição de probabilidade aplicadas a cada variável independente deve ser feita com base em critérios como: dados preliminares do comportamento dessas variáveis, a partir dos quais se pode construir a função distribuição de probabilidade mais fiel à realidade; informações do comportamento das mesmas junto a técnicos especializados, ou mesmo coleta de dados históricos que mostrem a tendência do comportamento das variáveis sob análise. Além disso, a própria experiência daquele que aplicará o MMC poderá balizar a escolha das distribuições de probabilidade mais adequadas.

Os programas comerciais, como o *Model Risk* (VOSE SOFTWARE, 2010) e o *Cristal Ball* (ORACLE, 2010), já disponibilizam bancos de distribuições de probabilidade que podem ser utilizadas para estabelecer o comportamento das variáveis independentes.

3.2.4.5 Execução e Resultados do MMC

A execução do MMC resulta em um conjunto de valores para o VPL e C_{EN} , os quais são representados por suas respectivas distribuições de probabilidade. Quanto maior o número de iterações efetuadas, melhor a precisão do método. Entretanto, uma breve análise, variando o total de iterações e observando o comportamento das variáveis dependentes, mostrará o mínimo aceitável de iterações para convergência dos resultados.

3.2.4.6. Análise e Decisão

Efetuada as simulações, montam-se todos os gráficos e planilhas que demonstrem o comportamento do VPL e C_{EN} e, em seguida, analisam-se todas as informações obtidas, que orientarão o investidor na sua tomada de decisão, se vale a pena ou não assumir o risco da execução do projeto.

3.3. Estudo de Caso: Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE

3.3.1. Localização e Características

O Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE está situado em Belém/PA, nas coordenadas geográficas 1°27'21" S e 48°30'16" O. Sua utilização é dedicada fundamentalmente às atividades de pesquisa, disseminação dos conceitos de aproveitamento das energias renováveis, além de capacitação de mão-de-obra especializada local para o referido setor. Para realização destas ações o prédio conta com um SFCR próprio para atendimento de parte de suas necessidades de energia elétrica. As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam uma visão parcial do SFCR instalado no telhado do prédio e uma vista frontal do prédio com destaque para o SFCR, respectivamente.

Figura 3.1 – Visão parcial do prédio do GEDAE.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 3.2 – Vista frontal do prédio com destaque para parte do SFCR.



Fonte: Elaboração do autor.

O estudo de caso apresenta o dimensionamento do SFCR necessário para atendimento das cargas prioritárias e as análises de desempenho e de viabilidade econômica correspondentes. Todas as análises são realizadas a partir dos dados de utilização da edificação e dos recursos de radiação solar locais e das equações (2.2) a (2.12) e (3.1) a (3.11), tendo como base as características do SFCR instalado de 3,125 Wp. Este sistema inclui um banco de baterias de 96 kWh, projetado para atender às cargas prioritárias com uma autonomia de três dias, considerando que atividades essenciais não podem sofrer descontinuidades de operação.

3.3.2. Cargas Prioritárias

As cargas prioritárias atendidas pelo SFCR são descritas na Tabela 3.1 e consideram a existência apenas de cargas AC. O uso de duas horas diárias para uso da maioria das lâmpadas deve-se ao privilégio da iluminação natural na concepção da edificação. Todas as lâmpadas são do tipo eficiente para minimizar o consumo de energia sem prejudicar as atividades desenvolvidas no laboratório. Os resultados consideram o prédio completamente construído e seus ambientes em operação.

Tabela 3.1 – Cargas prioritárias atendidas pelo SFCR.

Cargas AC	Qtd.	Potência (W)	Horas / dia	Dias / semana	Consumo médio diário AC (Wh)
Lâmpadas Sala de Professores	7	28	2	5	280,00
Lâmpadas Hall	1	28	2	5	40,00
Lâmpadas Secretaria	1	28	2	5	40,00
Lâmpadas Sala de Reuniões	1	54	1	5	38,57
Lâmpadas Vice Coordenação	1	28	1	5	20,00
Lâmpadas Coordenação	1	28	2	5	40,00
Lâmpadas Banheiros	2	28	2	5	80,00
Lâmpadas Lab. Conforto Térmico	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Lab. Energia Solar	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Lab. Energia Eólica	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Monitoração e Controle	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Lab. Qualidade de Energia	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Lab. Eficiência Energética	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Almoxarifado	1	28	1	5	20,00
Lâmpadas Oficina Mecânica	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Oficina Eletrônica	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Central de Energia	1	28	1	5	20,00
Lâmpadas Corredor 1	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Corredor 2	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Corredor 3	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Corredor 4	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Área de Circulação	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Sala de Computação	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Copa	1	28	2	5	40,00
Lâmpadas Auditório	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Biblioteca	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Sala de Aulas	1	54	2	5	77,14
Lâmpadas Sala de Alunos	3	54	2	5	231,43
Computadores	23	200	4	5	13.142,86
Impressoras	15	20	2	5	428,57
Consumo Médio Total AC (Wh)					15.732,81
Potência total AC (W)					6.482

Fonte: Elaboração do autor.

3.3.3. Horas Diárias de Sol Pleno (*HSP*)

Em Belém, as médias de horas diárias de sol pleno ao longo do ano já foram apresentadas na Tabela 2.7. Destacam-se o menor valor, 3,89, e o valor médio ao longo do ano, 5,13 de *HSP*.

3.3.4. Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

A geração de energia elétrica diária por módulo é calculada pela equação (2.2). Consideram-se a eficiência do inversor igual a 0,85, os fatores de perdas associados ao banco de baterias, 0,85, aos cabos, conexões, etc., 0,99 e a sujeira iguais a 0,80.

É importante destacar que o SFCR em estudo ainda não está completamente ligado à rede. Para efeito de dimensionamento do sistema para posterior aplicação do MMC, e como no subsistema em estudo há dois tipos de módulos fotovoltaicos, 10 unidades de 220 Wp e 5 unidades de 185 Wp, adotou-se o primeiro valor como padrão único de referência. Portanto, a geração diária por cada módulo, G_M , é:

$$G_M = 220 * 3,89 * 0,85 * 0,85 * 0,99 * 0,80 = 489,71 \text{ (Wh / dia)}$$

Ressalte-se que o uso do banco de baterias deve-se à necessidade de realização de estudos para futuras aplicações, já que um SFCR pode operar sem este *backup*.

O número total de módulos, N_M , é calculado, considerando o consumo médio para as cargas prioritárias de 15.732,81 (Wh/dia). Nesta situação não é considerado o modo de arranjo dos módulos, série e paralelo, mas apenas a energia por eles gerada, resultando em:

$$N_M = \frac{15.732,81}{489,71} = 32,12$$

Neste caso arredonda-se N_M para o número inteiro seguinte. Assim N_M assume o valor 33.

3.3.5. Dimensionamento do Inversor

Utilizando o padrão admitido na equação (2.6) encontra-se a capacidade do inversor, C_I , igual a:

$$C_I = 0,8 * 220 * 33 = 5.808 \text{ (W)}$$

3.3.6. Dimensionamento do Banco de Baterias

Para prover a energia necessária à carga, por pelo menos três dias, quando o SFCR estiver inoperante o banco de baterias deve apresentar uma capacidade mínima, C_B , calculada pela equação (2.7). Neste caso toma-se a profundidade de descarga do banco de 50%.

$$C_B = \frac{3 * 15.732,81}{0,5} = 94.397,00 \text{ (Wh)}$$

Optando-se por baterias OPZs de 1.000 Ah, 2 V e usando a equação (2.8) determina-se o número de baterias em paralelo, N_{BP} , resultando em:

$$N_{BP} = \frac{94.397,00}{48 * 1.000} = 1,97$$

Que deve ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior, alcançando $N_{BP} = 2$.

O número de baterias em série, N_{BS} , é calculado pela equação (2.9), resultando em:

$$N_{BS} = \frac{48}{2} = 24$$

Portanto, o total de baterias, N_B , necessárias para atender as cargas prioritárias com uma autonomia de três dias, calculado pela equação (2.10) é de:

$$N_B = 2 * 24 = 48$$

Na realidade o banco de baterias, disposto em duas fileiras com 24 baterias cada, proporciona uma capacidade de 96 kWh, podendo alimentar uma carga de 16 kWh por três dias no lado c.c., limitando a profundidade de descarga a 50%, o que atende às necessidades das cargas prioritárias do prédio, em regime reduzido de trabalho.

3.3.7. Análise de Desempenho do SFCR

3.3.7.1. Produtividade do SFCR

Levando em consideração que foi medida a energia anual produzida pelo SFCR de 1,575 kWp já instalado, $E_p = 1.893,15$ kWh/ano, pode-se estimar a produtividade, $Prod$, usada no SFCR sob estudo, a partir da equação (2.11), resultando em 1.202 kWh/kWp/ano.

$$Prod = \frac{1.893,15}{1,575} = 1.202 \text{ (kWh/kWp/ano)}$$

3.3.7.2. Fator de Capacidade

O fator de capacidade, FC, é obtido a partir da equação (2.12), resultando em:

$$FC = \frac{1202 * 220 * 33}{220 * 33 * 24 * 365} * 100 = 13,72 \text{ (\%)}$$

3.3.8. Análise Econômica do SFCR

3.3.8.1. Fator de Recuperação de Capital

O fator de recuperação de capital, FRC , é calculado pela equação (3.1). Considerando que a taxa de desconto anual é de 10% e o tempo de vida útil estimado para o projeto é 25 anos, obtém-se um FRC de 0,1102. Este valor está diretamente relacionado com o custo de vida útil anualizado do sistema. Quanto maior a taxa de desconto anual, mantido o tempo de

vida útil do projeto, mais o *FRC* se aproxima da unidade e, conseqüentemente maior é o *CCVA*.

$$FRC = \frac{0,1 * (1 + 0,1)^{25}}{(1 + 0,1)^{25} - 1} = 0,1102$$

3.3.8.2. Custo do Ciclo de Vida Útil

O custo do ciclo de vida útil, *CCV*, é calculado pela equação (3.2), a partir dos valores de mercado para os equipamentos e despesas correntes ao longo da vida útil do SFCR. A Tabela 3.2 quantifica os valores usados no cálculo de *CCV*. O banco de baterias OPZs deve ser trocado, segundo seu fabricante, para uma perda de capacidade de até 10 %, no máximo, a cada seis anos, considerando uma temperatura de trabalho de 25 °C, e o inversor e o controlador de carga a cada dez anos. Neste trabalho considerou-se a reposição do banco de baterias a cada 6 anos. Os valores de reposição dos equipamentos consideram uma taxa de desconto anual de 10 % e uma inflação anual de 6,5 % (teto da meta estabelecida pelo Governo Federal). Todas as trocas seguem a equação (3.10) que leva para o ano zero os valores a serem desembolsados no ano da reposição.

$$R_j = \frac{(VCE + (VCE * g * j / 100))}{(1 + i)^j} \quad (3.10)$$

onde,

R_j – custo no ano zero da reposição do equipamento realizada no ano j ;

VCE – custo inicial do equipamento.

Para a primeira troca do banco de baterias, considerando que o Ah custa US\$ 0,55, a equação (3.10) conduz a um valor de reposição igual a:

$$R_6 = \frac{(26.400,00 + (26.400,00 * 6,5 * 6 / 100))}{(1 + 0,01)^6} = US\$ 20.713,94$$

O valor usado para VCE , no ano 6, foi determinado considerando o custo de US\$ 0,55 o Ah para 48 baterias OPZs de 1000 Ah.

O mesmo procedimento é usado para todas as trocas do banco de baterias, em um total de quatro, levando aos valores de reposição apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Custos dos equipamentos e serviços ao longo da vida útil do SFCR.

Equipamento ou Serviço	Capacidade	Custo Unitário	Custo Total (US\$)
Custos Iniciais			43.198,43
Módulos Fotovoltaicos	33 unidades de 220 Wp	1,40 US\$/Wp	10.164,00
Bateria Solar 1000 Ah / 2 V	Banco com 48 baterias	0,55 US\$/Ah	26.400,00
Inversor	5.808 W	0,96 US\$/W	5.575,68
Controlador de Carga	151,25 A	7,00 US\$/A	1.058,75
Reposição de Equipamentos			59.340,94
I Troca do Banco de Baterias	-	-	20.713,94
II Troca do Banco de Baterias			14.973,10
III Troca do Banco de Baterias			10.303,75
IV Troca do Banco de Baterias			8.861,51
I Troca do Inversor	-	-	3.546,95
II Troca do Inversor	-	-	1.906,22
I Troca do Controlador de Carga	-	-	673,52
II Troca do Controlador de Carga	-	-	361,97
Custos de instalação	7.260 Wp	0,3 US\$/Wp	2.178,00
Custos com O&M	-	-	2.655,33
<i>Salvage</i>	-	-	3.987,04
Custo do Ciclo de Vida Útil (CCV)	-	-	103.385,66

Fonte: Elaboração do autor.

Portanto, usando a equação (3.2) encontra-se o valor do *CCV* dado por:

$$CCV = 43.198,43 + 59.340,94 + 2.178,00 + 2.655,33 - 3.987,04 = US\$ 103.385,66$$

O *salvage* é calculado somando-se os custos iniciais da Tabela 3.2 e considerando o valor dos mesmos ao longo da vida útil do projeto a uma taxa de desconto anual de 10 %. Ele é resultado dos bens adquiridos e que, após a vida útil do projeto, passaram a incorporar o capital ativo desse último. A equação (3.11) determina o valor do *salvage*, *Ptm*.

$$Ptm = \frac{CI}{(1+i)^N} \quad (3.11)$$

onde,

CI – custos iniciais (US\$).

No presente caso, o *salvage* calculado é:

$$Ptm = \frac{43.198,43}{(1+0,1)^{25}} = US\$ 3.987,04$$

3.3.8.3. Custo do Ciclo de Vida Útil Anualizado

O custo do ciclo de vida útil anualizado, $CCVA$, é calculado pela equação (3.3) resultando em:

$$CCVA = 103.385,66 * 0,1102 = US\$ 11.389,80$$

Assim, 25 desembolsos anuais uniformes de US\$ 11.389,80, trazidos para o ano 1 do projeto, amortizariam completamente o CCV calculado anteriormente.

3.3.8.4. Custo da Energia Elétrica Produzida

O custo da energia elétrica produzida pelo SFCR, C_{EN} , é determinado pela equação (3.4) resultando em:

$$C_{EN} = \frac{11.389,80}{(33 * 220 * 1202) / 1000} = 1,305 \text{ (US\$ / kWh)}$$

Vale ressaltar que o C_{EN} obtido é aproximadamente 393 % acima da tarifa de energia elétrica cobrada pela distribuidora local que é de 0,2647 US\$/kWh (0,6789 R\$/kWh, conforme tarifa CELPA com impostos em 11/2014), o que certamente desencoraja qualquer investidor. Cotação US\$ 1,00 = R\$ 2,565.

3.3.8.5. Valor Presente Líquido

A determinação do valor presente líquido é feita com o auxílio das equações (3.5) a (3.11). Portanto, com a equação (3.5) encontra-se:

$$S = C_{gen} + C_{scp} + C_{arm} + C_{rep} + C_{inst} - C_{sub} = C_{sis} - C_{sub}$$

$$S = 10.164,00 + 6.634,43 + 26.400,00 + 59.340,94 + 2.178,00 - 0 = US\$ 104.717,37$$

Considera-se que não há qualquer tipo de subsídio para o projeto.

A remuneração líquida pela energia produzida, descontados os custos com operação e manutenção, é determinada pela equação (3.6). Neste há correção no valor da energia vendida pelo SFCR e no custo da operação e manutenção com a inflação anual fixa de 6,5%, e uma taxa de desconto anual de 10 %. Chega-se ao final de 25 anos a uma remuneração líquida de US\$ 36.313,52.

A energia produzida pelo SFCR é vendida à rede pelo mesmo valor praticado pela distribuidora local e $C_{fin} = 0$.

Assim, o VPL é obtido pela equação (3.8) resultando em:

$$VPL = -104.717,37 + 3.987,04 + \sum_{j=1}^{25} Q_j$$

$$VPL = -104.717,37 + 3.987,04 + 36.313,52 = - US\$ 64.416,81$$

Se o *salvage* não fosse considerado, o *VPL* chegaria a um déficit de US\$ 68.403,85 ao final de 25 anos.

Este valor negativo de *VPL* ao final da vida útil do projeto em questão é desanimador para qualquer investidor, ficando claro que sem qualquer tipo de incentivo na tarifa de venda da energia, no custo dos equipamentos ou mesmo nas taxas financeiras de mercado, o desenvolvimento de SFCRs com as características apresentadas, mesmo que eventualmente exitosos no exterior, no Brasil, ainda que com abundância de recursos solares, encontrará sérias dificuldades de progresso.

Entretanto, se situações favoráveis para o uso de SFCRs forem criadas, ainda que de modo temporário, o quadro desfavorável poderá mudar radicalmente.

No caso apresentado, grande parte do custo da energia ofertada pelo SFCR do GEDAE e do *VPL* obtido deve-se à inclusão do banco de baterias. A Tabela 3.3 faz um comparativo do caso analisado com o mesmo sistema sem o uso do banco de baterias, funcionando a própria rede da distribuidora como outra fonte para atendimento das cargas prioritárias. A Tabela 3.3 apresenta apenas os parâmetros que sofreram alteração de valor com a retirada do banco de baterias.

Tabela 3.3 – Comparativo do SFCR do GEDAE com e sem o banco de baterias.

	SFCR com Baterias	SFCR sem Baterias
η_B	0,85	1
Total de Módulos	33	28
Total de Baterias	48	0
Cap. Controlador (A)	151,25	0
Cap. Inversor (W)	5.808	4.928
Custo PV (US\$)	10.164,00	8.624,00
Custo Baterias (US\$)	26.400,00	0
Custo Troca Baterias (US\$)	52.852,29	0
Custo Inversor (US\$)	5,575,68	4.730,88
Custo Trocas Inversor (US\$)	5.453,16	4.626,93
Custo Controlador de Carga (US\$)	1.058,75	0
Custo Trocas Controlador de Carga (US\$)	1.035,49	0
Custo Instalação (US\$)	2.178,00	1.848,00
Custo O&M (US\$)	2.655,33	2.253,01
<i>Salvage</i> (US\$)	3.987,04	1.232,60
<i>CCV</i> (US\$)	103.385,66	20.850,21
<i>CCVA</i> (US\$)	11.389,80	2.297,03
Percentual do Custo Inicial das baterias sobre <i>CCV</i> com <i>Salvage</i> (%)	25,54	-
Percentual do Custo de reposição das baterias sobre <i>CCV</i> (%)	51,12	-
Percentual do Custo Inicial do inversor sobre <i>CCV</i> (%)	5,39	22,69
Percentual do Custo de reposição do inversor sobre <i>CCV</i> (%)	5,27	22,19
Percentual do Custo Inicial do controlador de carga sobre <i>CCV</i> (%)	1,02	-
Percentual do Custo de reposição do controlador sobre <i>CCV</i> (%)	1,00	-
Percentual do Custo dos módulos sobre <i>CCV</i> (%)	9,83	41,36
Percentual do custo com O&M sobre <i>CCV</i> (%)	2,57	10,81
Percentual do custo com Instalação sobre <i>CCV</i> (%)	2,11	8,86
Percentual do <i>Salvage</i> sobre <i>CCV</i> (%)	3,86	5,91
Custo da Energia Produzida (US\$/kWh)	1,305	0,310
<i>VPL</i> (US\$)	- 64.416,81	12.214,27

Fonte: Elaboração do autor.

Comparando as duas situações, observa-se que o uso de um banco de baterias no SFCR padrão eleva o custo da energia produzida em mais de 320 % e reduz o *VPL* em mais

de 6 vezes, tornando-o negativo. O valor da energia produzida no caso do SFCR sem o banco de baterias ainda supera o valor vendido pela distribuidora de energia local em 17 %, que somado ao desestímulo pelo alto investimento inicial e nenhum tipo de subsídio para apoiar a nova tecnologia, em um primeiro momento, não propicia sua difusão no Brasil. É oportuno destacar que esta última análise considera o valor da energia praticada pela distribuidora para os consumidores classe B com alimentação trifásica, o que pressupõe uma energia mais cara que a praticada para os consumidores industriais e conseqüentemente levando a um resultado menos desfavorável para o uso do SFCR. Portanto, se fosse considerada a tarifa para consumidores classe A, a diferença entre o custo da energia produzida pelo SFCR e o valor da energia cobrada pela distribuidora seria ainda maior.

Outro item a destacar é a consideração do *salvage* constituído após a vida útil do SFCR. Em algumas situações isto pode ser impraticável, quando o sistema estiver, por exemplo, situado em regiões de meio ambiente agressivo, como próximo do mar. Nestes casos, é irreal o aproveitamento das estruturas de suporte e cabeamento devido à oxidação das partes metálicas do SFCR, o que torna a situação ainda mais desfavorável. Considerando o caso apresentado, com a inclusão do banco de baterias e com *salvage* nulo, o *VPL* alcançaria um déficit de US\$ 68.403,85 e a energia seria gerada a um custo de 0,329 US\$/kWh, um acréscimo que supera 6 % em relação ao caso com *salvage*, o que é considerável.

A participação do custo com o banco de baterias no *CCV* é mais significativa, chegando a 76,66 % entre aquisição e reposições, superando até mesmo a influência dos módulos fotovoltaicos que fica em 9,83 %. Sem a inclusão do banco de baterias, os módulos fotovoltaicos passam a ser responsáveis pela maior parte do *CCV*, 41,36 %.

3.3.9. O MMC Aplicado à Análise de Risco do SFCR do GEDAE

O MMC é utilizado neste trabalho para inicialmente analisar vinte e oito situações distintas do SFCR do GEDAE. Em cada situação, o comportamento das variáveis de saída, *VPL* e C_{EN} , é apresentado. Todos os casos tomam por base os dados de dimensionamento do SFCR calculados na análise determinística. A diferença entre os casos apresentados reside nas variáveis de entrada escolhidas e no fato de admitirem ou não um banco de baterias. Os casos terminados com CB ou SB indicam, respectivamente, o uso ou não de banco de baterias. Em geral, os SFCRs não contemplam banco de baterias, mas usam a própria rede da distribuidora de eletricidade para entregar a energia não consumida pelo produtor. Entretanto, o uso de um banco de baterias poderia ser utilizado em um SFCR em horários de maior tarifa, especialmente para consumidores de porte considerável, como *shoppings* e indústrias, onde o

preço da energia cobrada pela companhia distribuidora é maior. Por este motivo a consideração inicial do banco de baterias na análise posterior. Assim, os casos propostos e suas respectivas variáveis de entrada são os seguintes:

1. MMC1CB – taxa de desconto com baterias;
2. MMC1SB - taxa de desconto sem baterias;
3. MMC2CB – custo do ciclo de vida com baterias;
4. MMC2SB – custo do ciclo de vida sem baterias;
5. MMC3CB – taxa de desconto + custo do ciclo de vida com baterias;
6. MMC3SB – taxa de desconto + custo do ciclo de vida sem baterias;
7. MMC4CB – valor da energia vendida com baterias;
8. MMC4SB – valor da energia vendida sem baterias;
9. MMC5CB – montante de energia produzida anualmente com baterias;
10. MMC5SB - montante de energia produzida anualmente sem baterias;
11. MMC6CB - taxa de desconto + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente com baterias;
12. MMC6SB - taxa de desconto + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente sem baterias;
13. MMC7CB - taxa de desconto + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente + valor da energia vendida com baterias;
14. MMC7SB - taxa de desconto + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente + valor da energia vendida sem baterias;
15. MMC8CB - taxa de desconto + custo do ciclo de vida + valor da energia vendida com baterias;
16. MMC8SB - taxa de desconto + custo do ciclo de vida + valor da energia vendida sem baterias;
17. MMC9CB – paridade US\$ x R\$ com baterias;

18. MMC9SB - paridade US\$ x R\$ sem baterias;
19. MMC10CB - paridade US\$ x R\$ + taxa de desconto com baterias;
20. MMC10SB - paridade US\$ x R\$ + taxa de desconto sem baterias;
21. MMC11CB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida com baterias;
22. MMC11SB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida sem baterias;
23. MMC12CB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente com baterias;
24. MMC12SB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente sem baterias;
25. MMC13CB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente + valor da energia vendida com baterias;
26. MMC13SB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente + valor da energia vendida sem baterias;
27. MMC14CB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente + valor da energia vendida + taxa de desconto com baterias;
28. MMC14SB - paridade US\$ x R\$ + custo do ciclo de vida + montante de energia produzida anualmente + valor da energia vendida + taxa de desconto sem baterias.

3.3.9.1. Definição do Modelo Matemático

O modelo matemático escolhido utiliza as equações (3.1) a (3.11). A simplicidade das equações facilita a execução dos cálculos.

3.3.9.2. Escolha das Variáveis Independentes

As variáveis independentes, CCV , $Prod$, p_s , Par e i , foram as escolhidas. O parâmetro Par , que representa a paridade US\$ x R\$, também foi incluído entre as variáveis independentes, considerando uma possível variação no valor da moeda brasileira em relação ao dólar americano.

3.3.9.3. Escolha das Variáveis Dependentes

VPL e C_{EN} são escolhidos por serem índices que permitem ao investidor qualificar o projeto quanto à sua viabilidade econômica. O VPL depende diretamente do comportamento de CCV , $Prod$, Par e i , além do valor de venda da energia produzida pelo sistema de geração por fontes renováveis, p_s . Já C_{EN} é influenciado apenas pelos quatro primeiros parâmetros. Em todas as 28 situações estudadas, g foi considerada estável e igual a 6,5 %/ano ao longo do projeto.

3.3.9.4. Escolha das Funções Distribuição de Probabilidade

Em todas as situações abordadas, buscou-se usar funções densidade de probabilidade que melhor expressassem o comportamento de cada uma das variáveis independentes. Para tanto, as tendências dos mercados nacional e internacional para o custo dos equipamentos, as condições atuais e futuras de políticas de desenvolvimento para o setor, além da oferta de recursos naturais para geração de energia elétrica, foram os aspectos que fundamentaram as escolhas.

Para o custo do ciclo de vida útil, CCV , optou-se por uma função densidade de probabilidade do tipo Bradford (VOSE SOFTWARE, 2010), pois permite controlar o grau de decaimento de CCV ao longo do tempo, e cuja expressão matemática é:

$$f(x) = \frac{\theta}{(\theta(x - \min) + \max - \min) \log(\theta + 1)} \quad (3.11)$$

onde,

$f(x)$ – função densidade de probabilidade;

θ – é positivo e indica quanto a função decai a partir de min . Quanto menor for o valor de θ , mais lento é o decaimento da função;

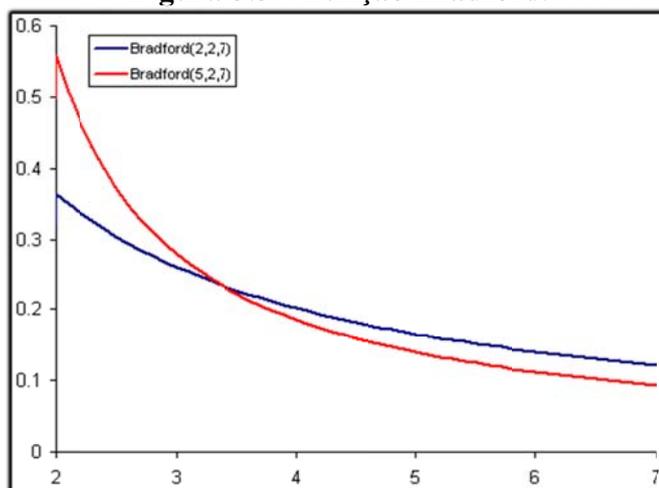
min – limite inferior do domínio;

max – limite superior do domínio.

A função densidade de probabilidade do tipo Bradford permite o controle da variável independente CCV , através de θ e dos limites em que ela atua. Pode-se dirigir CCV , por exemplo, para uma faixa de valores possíveis de acontecer, estipulando uma maior ou menor probabilidade de ocorrência para eles.

A Figura 3.3 mostra o comportamento da função Bradford, $f(\theta, min, max)$. Observa-se na legenda, os valores 2 e 7 para min e max , concordantes com os limites da curva. A curva com maior θ apresenta um decrescimento mais acentuado.

Figura 3.3 – Função Bradford.



Fonte: VOSE SOFTWARE, 2010.

Nas simulações realizadas, onde CCV é uma variável de entrada, utilizou-se:

$max = CCV$ utilizado em cada caso, não admitindo, portanto, elevação nos custos do SFCR acima de max . Presume-se cenário favorável para diminuição dos custos para o SFCR ao final de sua vida útil;

$min = 70\%$ de max , implicando em diminuição máxima de 30% para CCV .

$\theta = 1$, garantindo que aproximadamente 50% dos valores da função estejam abaixo da média da mesma.

Nos casos onde a taxa de desconto, i , é uma variável de entrada, a função normal foi a escolhida, apresentando sempre uma média 10 e desvio padrão igual a $0,88$, com limites máximo e mínimo de 12 e 8 , respectivamente. Esta opção permite que aproximadamente 50% dos valores considerados apresentem i entre 10 e 12% /ano e menos de 5% dos dados usados para i sejam inferiores a $8,5\%$ /ano, o que é bastante realista para programas subsidiados no Brasil.

A produtividade, $Prod$, foi simulada com a função do tipo mínimo valor extremo, da família da função exponencial. Tomou-se para construí-la o limite mínimo de 1.202 kWh/kWp/ano, valor medido no prédio do GEDAE, e 1.450 kWh/kWp/ano como valor máximo a ser alcançado, o que é perfeitamente possível nesta, e em outras regiões do Brasil, como a nordeste. Nesta situação a moda é 1.398 kWh/kWp/ano enquanto que a média é 1.308 kWh/kWp/ano.

A função mínimo valor extremo apresenta as seguintes características (VOSE SOFTWARE, 2010).

$$f(x) = \left(-\frac{1}{b}\right)e^{-\left(\frac{x+a}{b}\right)} e^{\left[-e^{-\left(\frac{x+a}{b}\right)}\right]} \quad (3.12)$$

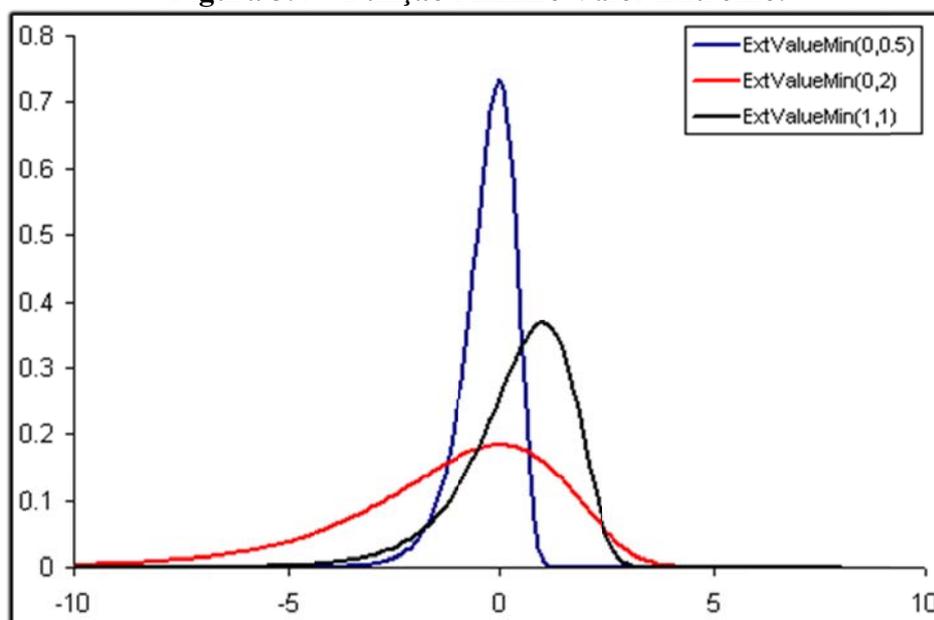
onde,

a – indica o valor de x onde se encontra a moda da função;

b – parâmetro que quanto maior for, menor será a amplitude máxima da função e maior será o espalhamento da mesma.

A Figura 3.4 mostra o comportamento da função mínimo valor extremo, $f(\mathbf{a}, \mathbf{b})$. Observa-se que a curva em preto está centrada na abscissa igual a 1, enquanto que as demais estão centradas em 0, pois o valor de \mathbf{a} é nulo. A curva com $\mathbf{b} = 0.5$, menor valor de \mathbf{b} , é a de menor espalhamento e maior amplitude. Esta é uma característica interessante para a definição de *Prod*, pois permite concentrar a maior probabilidade de ocorrência desta variável em torno de um determinado valor. No caso, manteve-se uma probabilidade de ocorrência superior a 50 % para *Prod* acima de 1.300 kWh/kWp/ano.

Figura 3.4 – Função Mínimo Valor Extremo.



Fonte: VOSE SOFTWARE, 2010.

O valor de venda da energia produzida pelo SFCR, p_s , é um parâmetro usado como variável de entrada, já que pode variar de acordo com a política de incentivos adotada para o setor e com o valor da energia praticado pela distribuidora de energia local. Considera-se que toda a energia produzida é comercializada com a distribuidora local por um valor do kWh, nunca inferior a US\$ 0,2647. O valor máximo admitido é de 0,3176 US\$/kWh, o que corresponde a um subsídio nunca superior a 20 % da tarifa local da distribuidora. Vale ressaltar que em outros países este subsídio poderia chegar a 575 %, como no caso da Espanha no início de seu programa de desenvolvimento do uso da energia fotovoltaica. Assim, optou-se por uma função Bradford para representá-lo em todas as simulações em que p_s esteve presente. A função usada apresenta:

max - 0,3176;

min - 0,2647;

θ - 25.

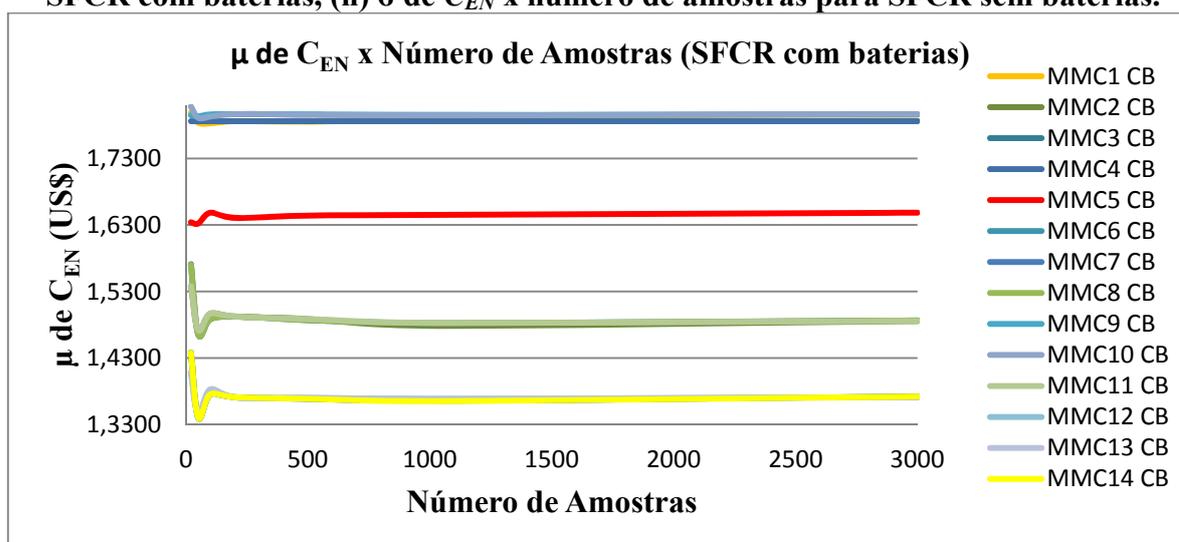
Estes números produzem uma função com moda 0,2647 e média 0,2788 US\$/kWh.

A paridade US\$ x R\$ foi representada por uma função Bradford em todas as simulações, de modo a garantir valores máximo e mínimo de paridade de 2,00 e 2,90, respectivamente, e uma média de aproximadamente 2,41. O valor para θ usado foi 0,5. Esta escolha aumenta a probabilidade de ocorrência de valores mais próximos de 2,00 para a paridade US\$ / R\$.

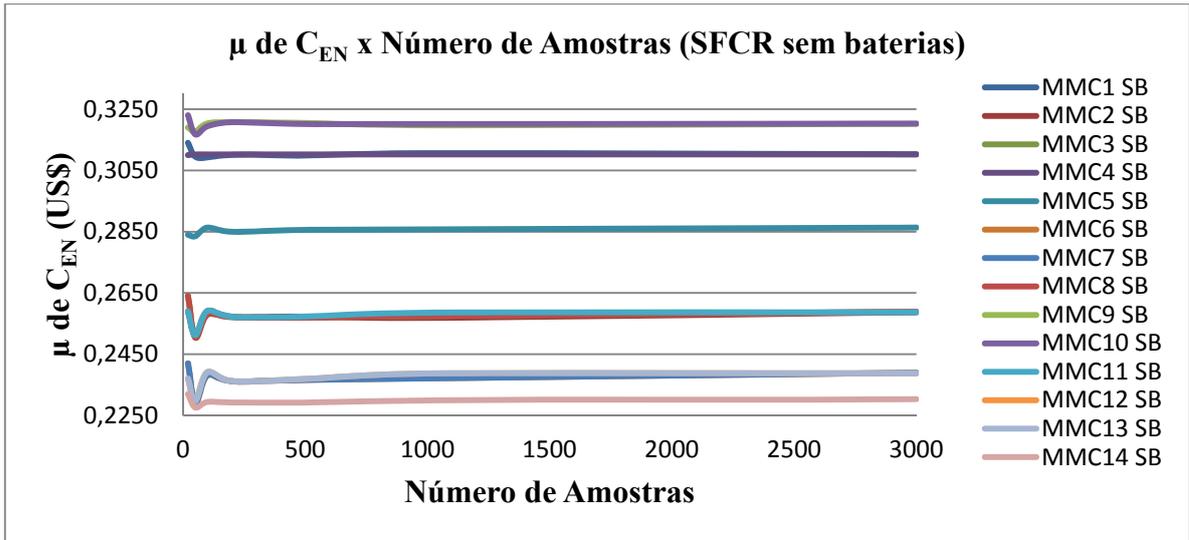
3.3.9.5. Execução e Resultados do MMC

Antes da execução do MMC procurou-se verificar a convergência dos resultados, considerando as funções densidade de probabilidade descritas para as cinco variáveis independentes. A Figura 3.5 mostra o comportamento da média e do desvio padrão, μ e σ , para as variáveis dependentes, VPL e C_{EN} , de cada um dos vinte e oito casos analisados, em função do total de amostras usadas na execução do MMC.

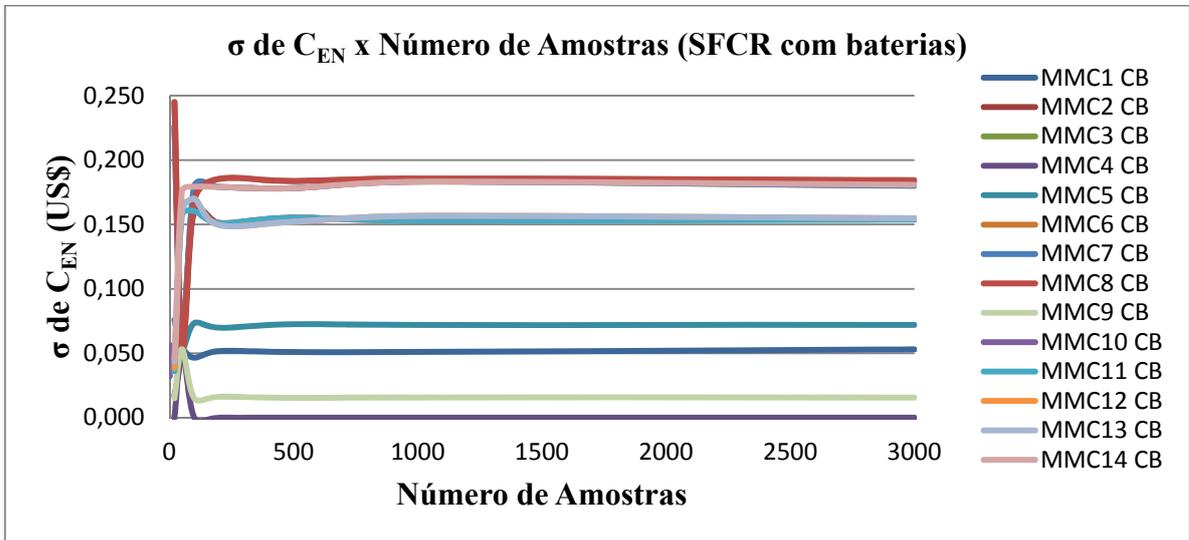
Figura 3.5 – Comportamento de μ e σ do VPL e C_{EN} em função do número de amostras usadas no MMC. (a) μ de C_{EN} x número de amostras para SFCR com baterias, (b) μ de C_{EN} x número de amostras para SFCR sem baterias, (c) σ de C_{EN} x número de amostras para SFCR com baterias, (d) σ de C_{EN} x número de amostras para SFCR sem baterias, (e) μ de VPL x número de amostras para SFCR com baterias, (f) μ de VPL x número de amostras para SFCR sem baterias, (g) σ de C_{EN} x número de amostras para SFCR com baterias, (h) σ de C_{EN} x número de amostras para SFCR sem baterias.



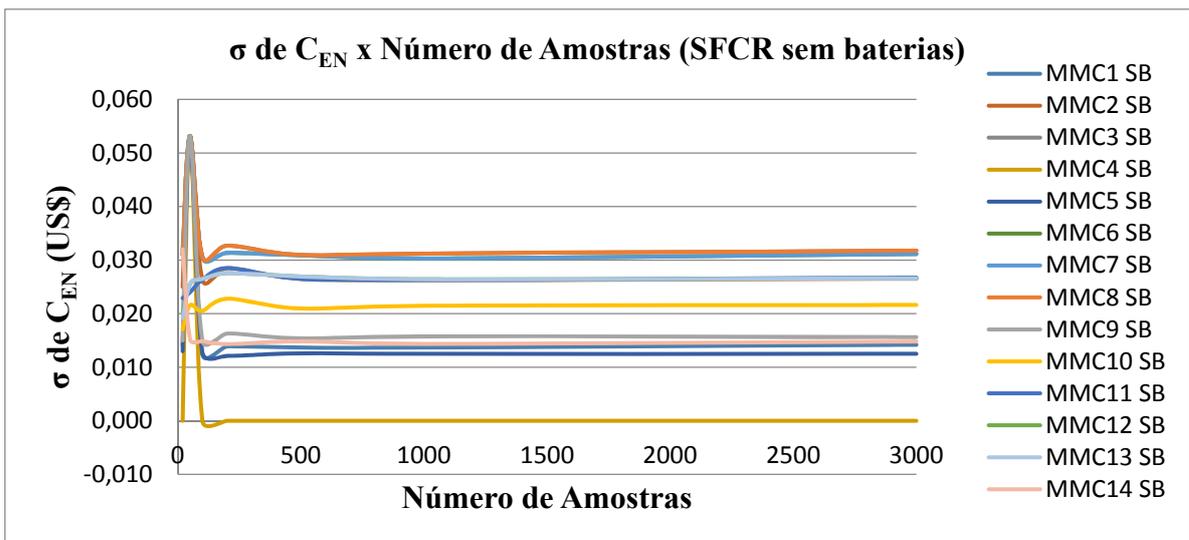
(a)



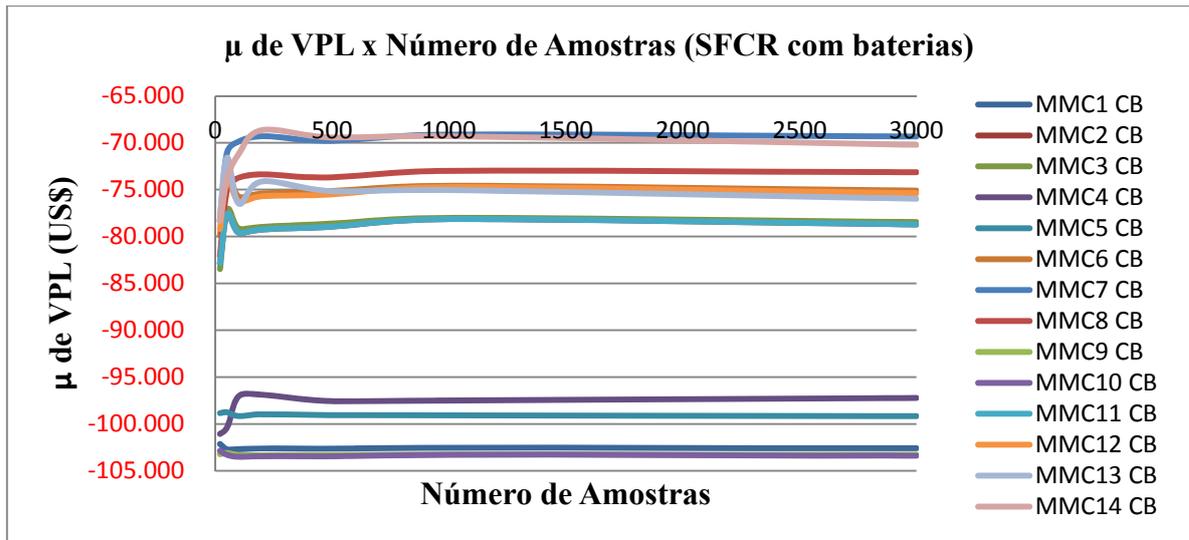
(b)



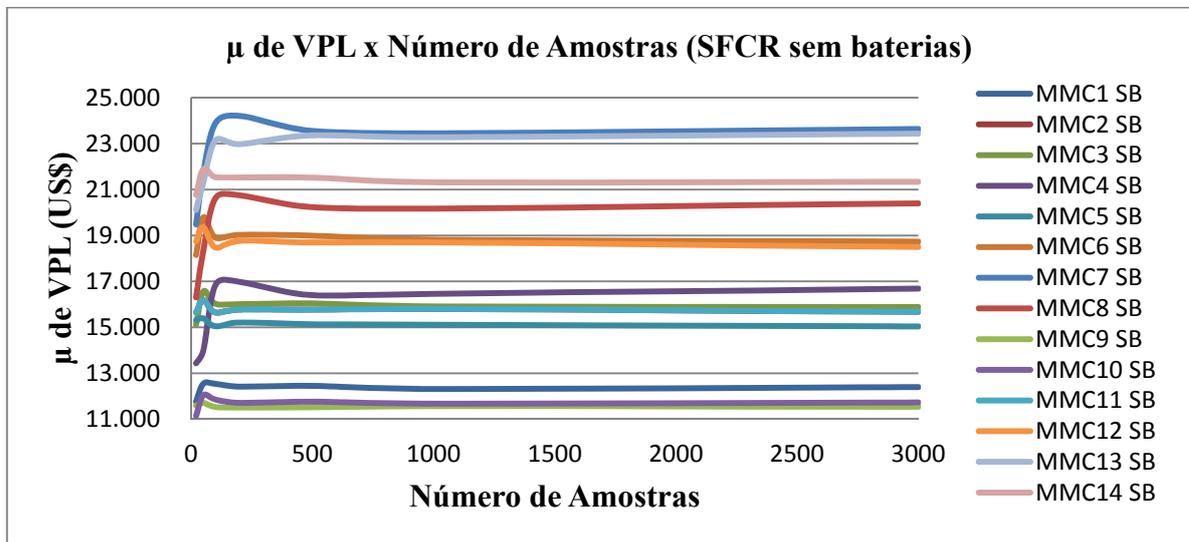
(c)



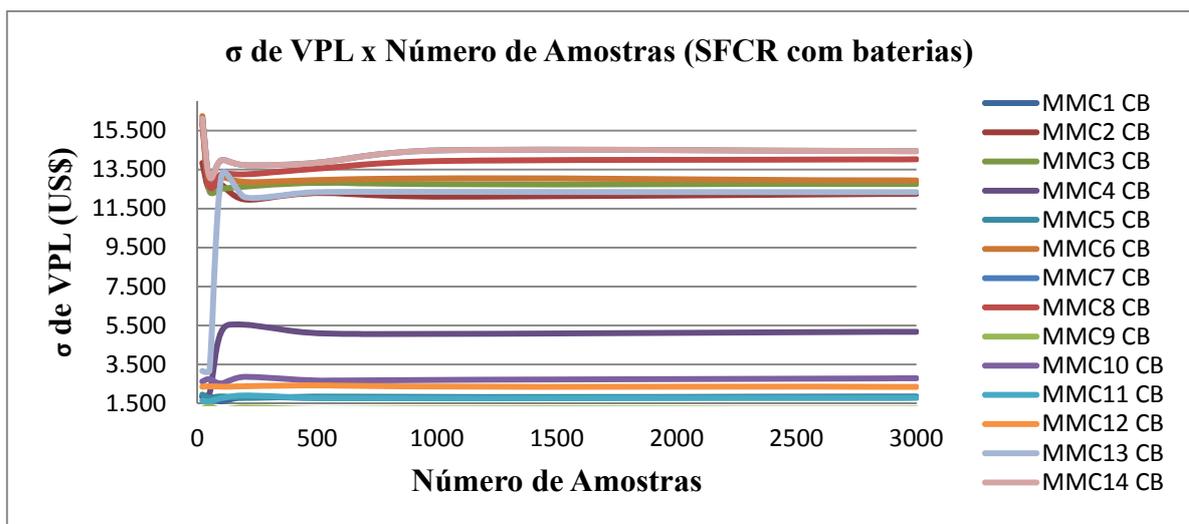
(d)



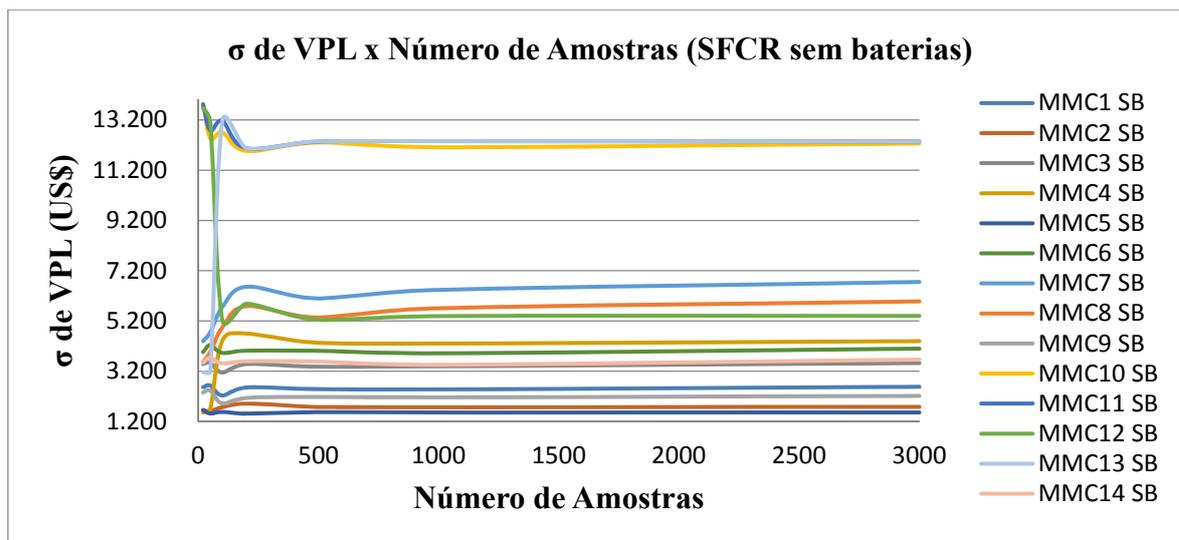
(e)



(f)



(g)



(h)

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que para todas as simulações executadas, considerando as funções densidade de probabilidade escolhidas para as variáveis de entrada, o comportamento da média e do desvio padrão para as variáveis de saída, VPL e C_{EN} , em cada um dos casos estudados, encontram a convergência para valores inferiores a 3.000 iterações.

O tempo de processamento conjunto, associado aos 28 casos estudados, é pequeno, apenas 8 segundos, o que era esperado diante da convergência alcançada com apenas 3.000 iterações.

Verifica-se que o desvio padrão, frente a média do VPL , em qualquer dos casos é considerável. Entretanto, esta situação, por si só, não revela definitiva inconsistência nos valores obtidos, mas pode estar associada a poucas amostras com resultados muito distantes da média, tanto para maior quanto para menor, comprometendo o desvio padrão. Um modo de melhor analisar a questão é trabalhar com o conceito de percentil, identificando a quantidade de amostras de resultados abaixo de um determinado percentual estabelecido para a variável de saída sob análise.

3.3.9.6. Análise e Decisão

Efetuada as simulações, monta-se a Tabela 3.4, que demonstra o comportamento do VPL e C_{EN} para todos os 28 casos e, em seguida, analisa-se preliminarmente os resultados obtidos.

Em qualquer das simulações foi usado um total de 3.000 iterações, o que garante a convergência dos resultados. Todos os casos em destaque na Tabela 3.4 são imediatamente rejeitados, pois apresentam, na média, C_{EN} superior à tarifa praticada pela distribuidora para

todas as amostras, ou com probabilidade muito pequena para que esta situação não se concretize.

Tabela 3.4 – Resultado das 28 simulações pelo MMC.

3.000 AMOSTRAS	μ de VPL (US\$)	σ de VPL (US\$/kWh)	PERCENTIL AMOSTRAS POSITIVAS (%)	μ de C_{EN} (US\$)	σ de C_{EN} (US\$/kWh)	PERCENTIL AMOSTRAS $C_{EN} < \text{TARIFA}$	CONCLUSÃO
MMC1CB	-102.570	1.879	0	1,787	0,054	0	REJEITAR
MMC1SB	12.371	2.611	100	0,310	0,014	0	REJEITAR
MMC2CB	-78.858	12.130	0	1,486	0,153	0	REJEITAR
MMC2SB	15.751	1.826	100	0,257	0,027	60	REJEITAR
MMC3CB	-78.653	12.555	0	1,490	0,182	0	REJEITAR
MMC3SB	15.924	3.564	100	0,257	0,032	60	REJEITAR
MMC4CB	-97.303	5.278	0	1,786	0	0	REJEITAR
MMC4SB	16.624	4.478	100	0,310	0	0	REJEITAR
MMC5CB	-99.107	1.814	0	1,646	0,071	0	REJEITAR
MMC5SB	15.093	1.539	100	0,286	0,012	0	REJEITAR
MMC6CB	-75.242	12.782	0	1,373	0,179	0	REJEITAR
MMC6SB	18.818	4.092	100	0,238	0,032	75	AVALIAR
MMC7CB	-69.564	14.153	0	1,373	0,179	0	REJEITAR
MMC7SB	23.636	6.668	100	0,238	0,032	75	AVALIAR
MMC8CB	-73.429	13.710	0	1,490	0,182	0	REJEITAR
MMC8SB	20.357	5.969	100	0,258	0,032	60	REJEITAR
MMC9CB	-103.286	1.258	0	1,796	0,016	0	REJEITAR
MMC9SB	11.548	1.067	100	0,320	0,016	0	REJEITAR
MMC10CB	-97.631	2.269	0	1,794	0,057	0	REJEITAR
MMC10SB	11.630	2.813	100	0,319	0,022	0	REJEITAR
MMC11CB	-60.070	12.130	0	1,487	0,152	0	REJEITAR
MMC11SB	15.670	1.826	100	0,258	0,027	60	REJEITAR
MMC12CB	-53.718	12.277	0	1,371	0,154	0	REJEITAR
MMC12SB	18.586	2.379	100	0,238	0,027	80	AVALIAR
MMC13CB	-35.659	13.545	0	1,371	0,154	0	REJEITAR
MMC13SB	23.387	5.452	100	0,237	0,027	80	AVALIAR
MMC14CB	-29.520	14.153	0	1,373	0,179	0	REJEITAR
MMC14SB	23.571	6.659	100	0,239	0,015	80	AVALIAR

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que todos os casos com inclusão de banco de baterias são rejeitados, pois a média de qualquer dos VPL é sempre negativa, além do valor encontrado, na sua média, para C_{EN} ser sempre superior à tarifa aplicada pela distribuidora, 0,2647 US\$/kWh. Quanto aos quatorze casos onde não há uso de banco de baterias, em uma primeira observação, pode-se

descartar nove deles, pois a probabilidade de encontrar C_{EN} inferior ao praticado pela distribuidora é zero ou no máximo 60 %.

Os cinco casos restantes são identificados com a mensagem AVALIAR, pois, em princípio, em nenhum deles há garantia plena de C_{EN} inferior à tarifa aplicada pela distribuidora, o que conduz a uma questão: Qual deles seria o melhor recomendado? Esta pergunta conduz a indagações fundamentais quando se tem várias opções de projetos: Qual o melhor? Qual o de menor risco?

Ressalte-se que dependendo das variáveis envolvidas, um mesmo projeto, como é o caso em estudo, poderá ou não ser recomendado. A consideração das possíveis variações de parâmetros como custo de equipamentos, taxa de desconto, taxa cambial, e outros, podem conduzir o investidor a assumir um risco elevado, tomando até mesmo uma decisão equivocada.

A partir deste ponto, é interessante a utilização de outros índices econômicos que permitam melhor qualificar o risco e, assim, orientar a recomendação ou não do caso em análise.

Os índices econômicos escolhidos para complementar a análise foram o *payback* descontado, *PBD*, e a taxa interna de retorno modificada, *TIRM*.

As Tabelas 3.5 e 3.6 apresentam a avaliação complementar da aplicação do MMC para os cinco casos com a mensagem AVALIAR.

Tabela 3.5 – Avaliação complementar quanto ao *PBD*.

3.000 AMOSTRAS	μ de <i>PBD</i> (anos)	μ de mínimo <i>PBD</i> (anos)	μ de máximo <i>PBD</i> (anos)	σ de <i>PBD</i> (anos)	<i>SK</i> de <i>PBD</i>	<i>KT</i> de <i>PBD</i>	<i>PERC</i> 10 de <i>PBD</i>	<i>PERC</i> 90 de <i>PBD</i>
MMC6SB	6,09	3,16	12,87	1,75	1,32	4,82	4,25	7,77
MMC7SB	5,23	2,27	11,98	3,06	1,26	5,76	3,56	6,96
MMC12SB	5,94	3,78	11,28	1,43	1,28	5,13	4,39	7,49
MMC13SB	5,16	2,57	10,81	1,29	0,95	4,85	3,69	6,86
MMC14SB	5,52	3,56	7,60	0,76	-0,24	2,49	4,43	6,46

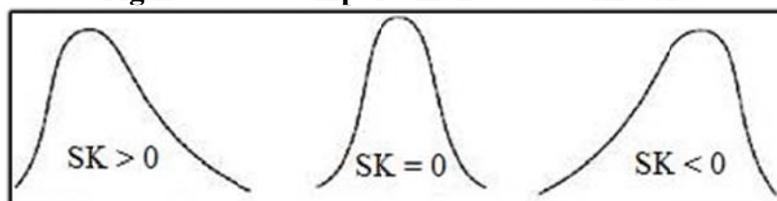
Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 3.6 – Avaliação complementar quanto a TIRM.

3.000 AMOSTRAS	μ de TIRM (%)	μ de mínimo TIRM (%)	μ de máximo TIRM (%)	σ de TIRM (%)	SK de TIRM	KT de TIRM	PERC 10 de TIRM	PERC 90 de TIRM
MMC6SB	16,68	15,25	18,03	0,52	-0,04	2,52	15,98	17,35
MMC7SB	17,24	15,41	19,66	0,73	0,26	2,74	16,30	18,23
MMC12SB	16,61	16,04	17,11	0,23	-0,18	2,21	16,27	16,92
MMC13SB	17,17	16,11	18,90	0,57	0,71	2,80	16,53	18,04
MMC14SB	18,85	17,04	21,20	0,75	0,28	2,74	17,89	19,85

Fonte: Elaboração do autor.

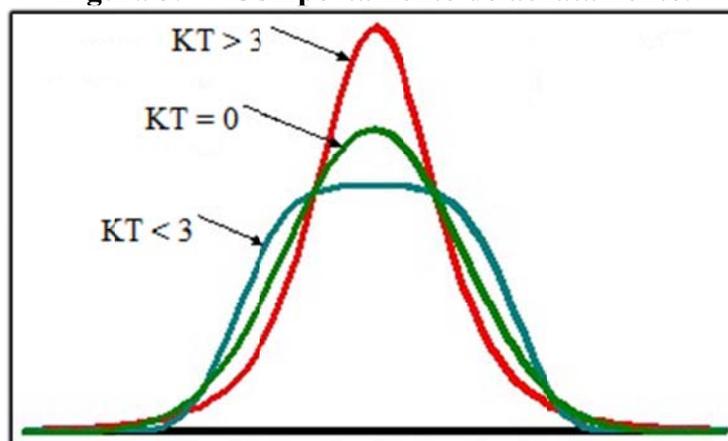
Os parâmetros SK e KT são, respectivamente, a assimetria (*skewness*) e o achatamento (*kurtosis*) para as variáveis de saída PBD e $TIRM$. O primeiro mostra o grau de assimetria da curva, onde SK maior que zero significa que a curva da variável de saída é uma distribuição normal deformada, com a maior parte de seus valores à esquerda e com uma longa cauda à direita da média. SK negativo indica que a curva da variável de saída é uma distribuição normal deformada, onde a maior parte de seus valores está à direita e apresenta uma longa cauda à esquerda da média. Quando SK é zero significa que a distribuição é simétrica em torno de sua média. A Figura 3.6 mostra o comportamento da assimetria.

Figura 3.6 – Comportamento da assimetria.

Fonte: VOSE SOFTWARE, 2010.

O achatamento, KT , é uma medida do grau de achatamento de uma função distribuição. Se $KT = 3$, a função distribuição tem o mesmo achatamento de uma função distribuição normal. Se $KT < 3$, a função de distribuição é mais achatada que a função distribuição normal, mas, se $KT > 3$, a função é mais aguda que a normal. A Figura 3.7 apresenta o comportamento do achatamento.

Figura 3.7 – Comportamento do achatamento.



Fonte: VOSE SOFTWARE, 2010.

Considerando o comportamento de *PBD*, verifica-se que valores de $KT > 3$ configuram que haverá maior probabilidade de ocorrência de valores para *PBD* em torno do centro da curva. Se $SK > 0$, a assimetria da curva proporciona maior quantidade de valores mais próximos de *PBD* mínimo. A combinação das duas situações revela a maior probabilidade de menores *PBD* na referida curva.

No que concerne à *TIRM*, valores de $SK < 0$ e $KT > 3$ conferem menor risco ao projeto. Neste caso, aumenta a probabilidade de ocorrência de *TIRM* mais elevada, o que favorece um maior retorno financeiro ao investidor, quando comparado com o retorno do mesmo investimento em aplicações financeiras à taxa de desconto de mercado.

O parâmetro *PERC 90* indica o percentil 90 de *PBD* ou *TIRM*. Em ambos os casos garante-se que 90 % das amostras apresentam *PBD* ou *TIRM* inferior ao do seu respectivo *PERC 90*. O parâmetro *PERC 10* é análogo ao *PERC 90* e indica o percentil 10 de *PBD* ou *TIRM*.

A classificação entre os casos apresentados, sob o ponto de vista do investidor, a partir dos resultados das Tabelas 3.5 e 3.6, é feita observando-se que as médias para *PBD*, com variação entre 5,16 e 6,09, e para *TIRM*, com variação entre 16,61 e 18,85, são próximas. Porém, os casos MMC7SB, MMC13SB e MMC14SB prevalecem sobre os demais, pois apresentam conjuntamente menores médias para *PBD* e maiores médias para *TIRM*, o que é desejável.

Verificando o *PERC 10* e *PERC 90* para a *TIRM*, observa-se que MMC14SB é favorecido em relação aos casos MMC7SB e MMC13SB, pois apresenta o maior valor em ambos os índices. No que concerne ao *PERC 10* para *PBD*, os casos MMC7SB e MMC13SB apresentam valores relativamente menores que o caso MMC14SB.

Entre os casos MMC13SB e MMC14SB, apesar de resultados muito próximos, o primeiro apresenta um ligeiro, porém maior desvio padrão e maior espalhamento entre os percentis para *PDB*, o que pode ser interpretado como menor grau de certeza para a tomada de decisão. Com relação à *TIRM*, o caso MMC13SB apresenta menor desvio padrão, o que confere maior precisão do resultado. Entretanto, MMC14SB o supera quando se observa que os percentis 10 e 90, além do valor da média da *TIRM* e de seus limites máximo e mínimo, são maiores.

Os resultados dos três últimos casos apresentados, não garantem absoluta certeza quanto ao sucesso do empreendimento analisado, mas permitem que o investidor opte com maior segurança, identificando, diante do cenário proposto, o parâmetro que mais deseja privilegiar – tempo de retorno, taxa interna de retorno, valor presente líquido, custo da energia produzida, ou outro índice.

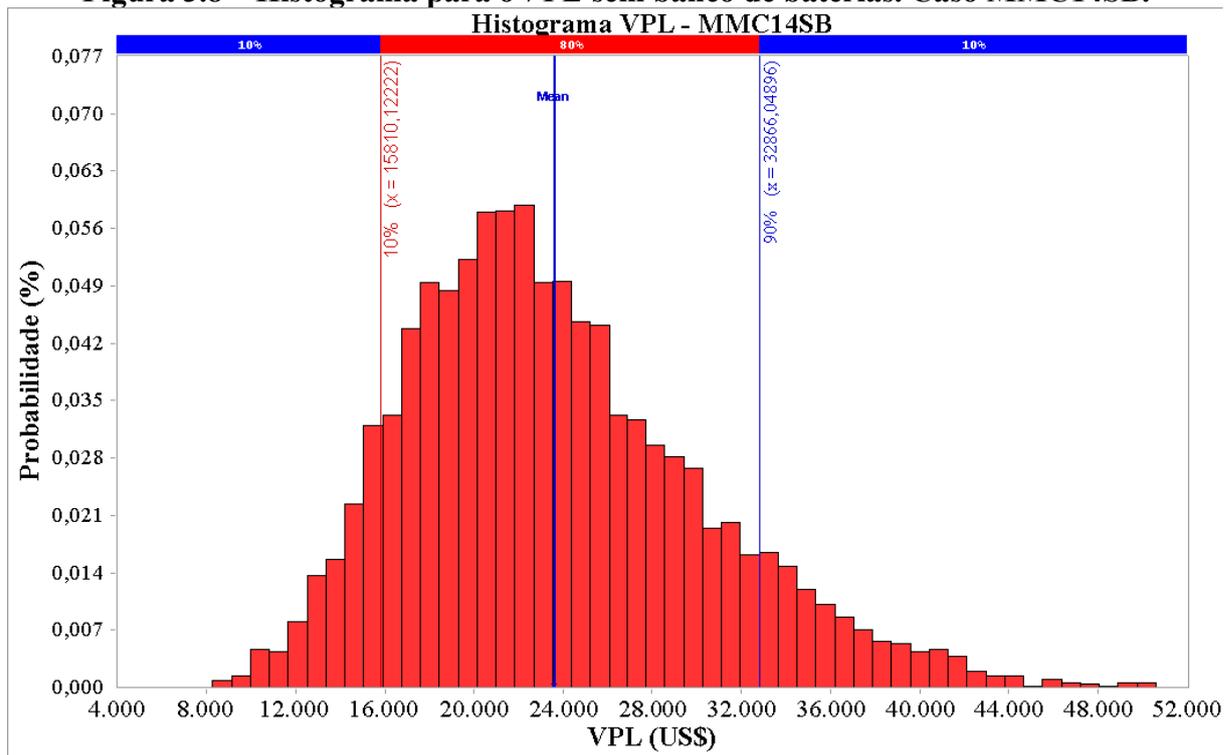
A utilização dos índices *PBD* e *TIRM* como parâmetros para estimativa de risco teve sua eficácia diminuída, pois se tratava do mesmo projeto com diferentes tipos e quantidades de variáveis independentes para aplicação do MMC. Ambos os índices são interessantes para análise de risco entre dois ou mais projetos diferentes, por exemplo, SFCR, eólico, térmico, híbrido, etc.

No caso do SFCR do GEDAE, optou-se por mostrar os resultados do caso mais amplo, com as cinco variáveis independentes, *CCV*, *Prod*, p_s , *Par* e *i*, definidas conforme suas respectivas funções densidade de probabilidade apresentadas anteriormente, com *VPL*, C_{EN} , *PBD* e *TIRM* como parâmetros de saída. Portanto, daqui por diante, é analisado com maior detalhe o caso MMC14SB, já que, juntamente com o caso MMC13SB, apresentou resultados com menor risco para a tomada de decisão.

3.3.9.6.1. SFCR sem o Banco de Baterias – Caso MMC14SB

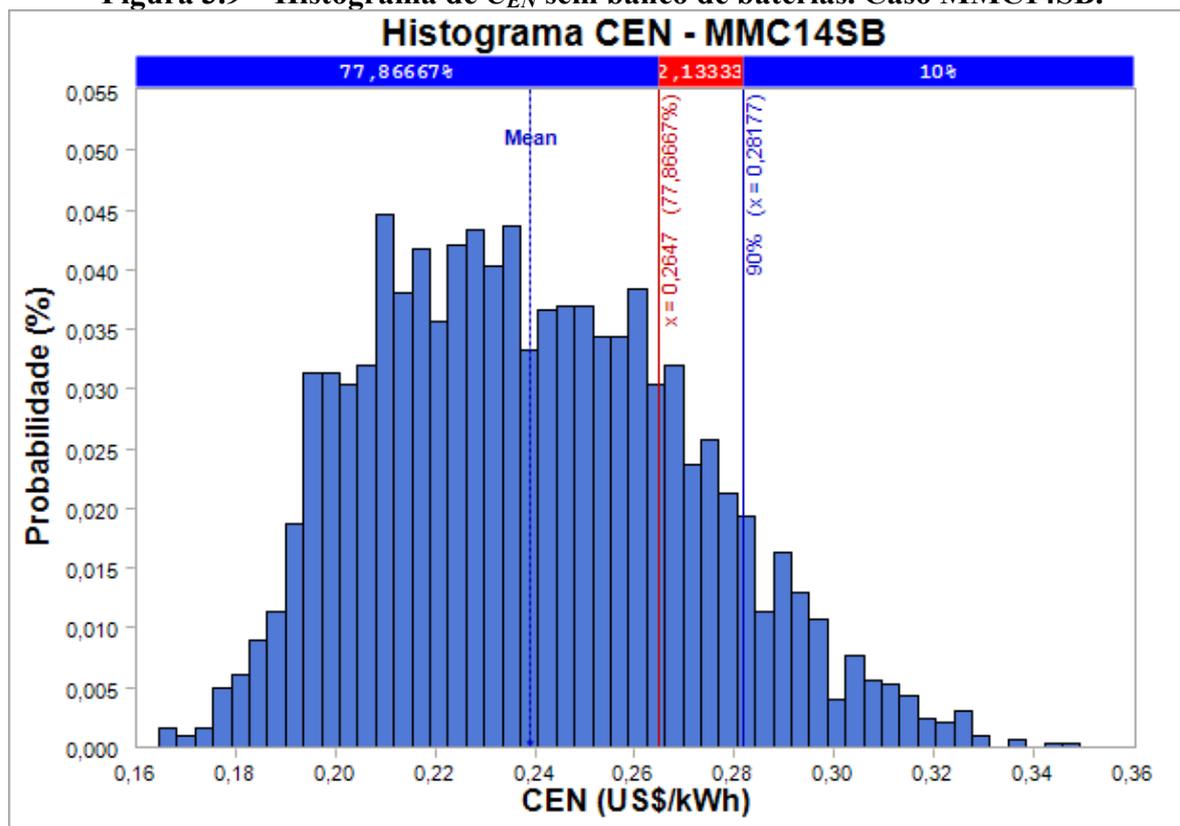
As Figuras 3.8 e 3.9 apresentam o histograma para o *VPL* e para o C_{EN} , respectivamente, após 3.000 iterações do caso MMC14SB.

Figura 3.8 – Histograma para o *VPL* sem banco de baterias. Caso MMC14SB.



Observa-se que 100 % dos valores obtidos para o *VPL* são positivos, com média de US\$ 25.778,00 ao final do ciclo de vida útil do SFCR, que é de 25 anos. Verifica-se ainda que 80 % das amostras apresentam *VPL* variando de US\$ 17.388,03 a US\$ 35.335,19, o que é bastante favorável ao investidor.

Figura 3.9 – Histograma de C_{EN} sem banco de baterias. Caso MMC14SB.

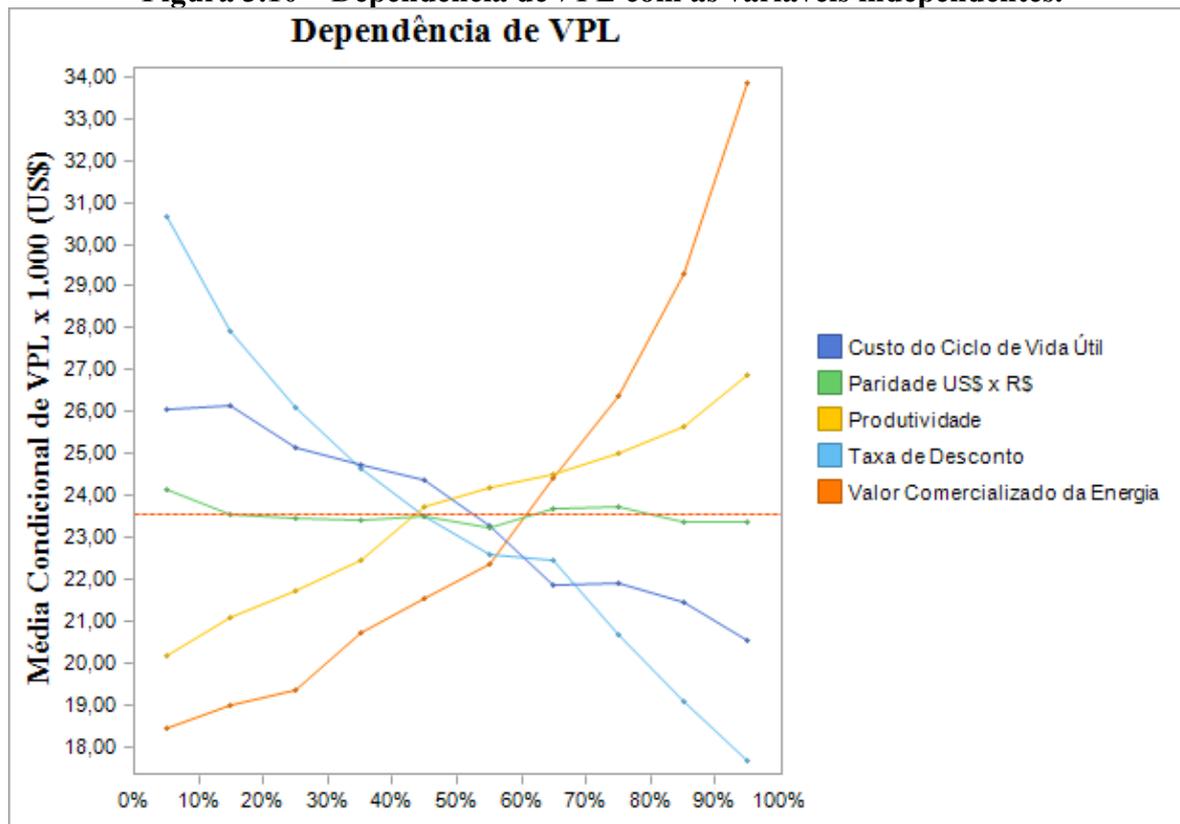


Fonte: Elaboração do autor.

Os valores obtidos para C_{EN} mostram que quase 80 % dos resultados se encontram abaixo da tarifa adotada pela distribuidora local, 0,2647 US\$/kWh. Observa-se que enquanto o VPL encontrado é de risco zero, o C_{EN} não recomenda plenamente a execução do SFCR, já que, embora, na média, C_{EN} esteja em torno de 0,239 US\$/kWh, pouco mais de 20 % das amostras estão acima da tarifa cobrada pela distribuidora local, portanto, mesmo com garantia de proximidade da paridade tarifária, o projeto ainda apresenta um pequeno risco de insucesso, diante do qual o investidor deverá se posicionar.

As Figuras 3.10 e 3.11 apresentam o comportamento do VPL e do C_{EN} em função da variação das variáveis de entrada.

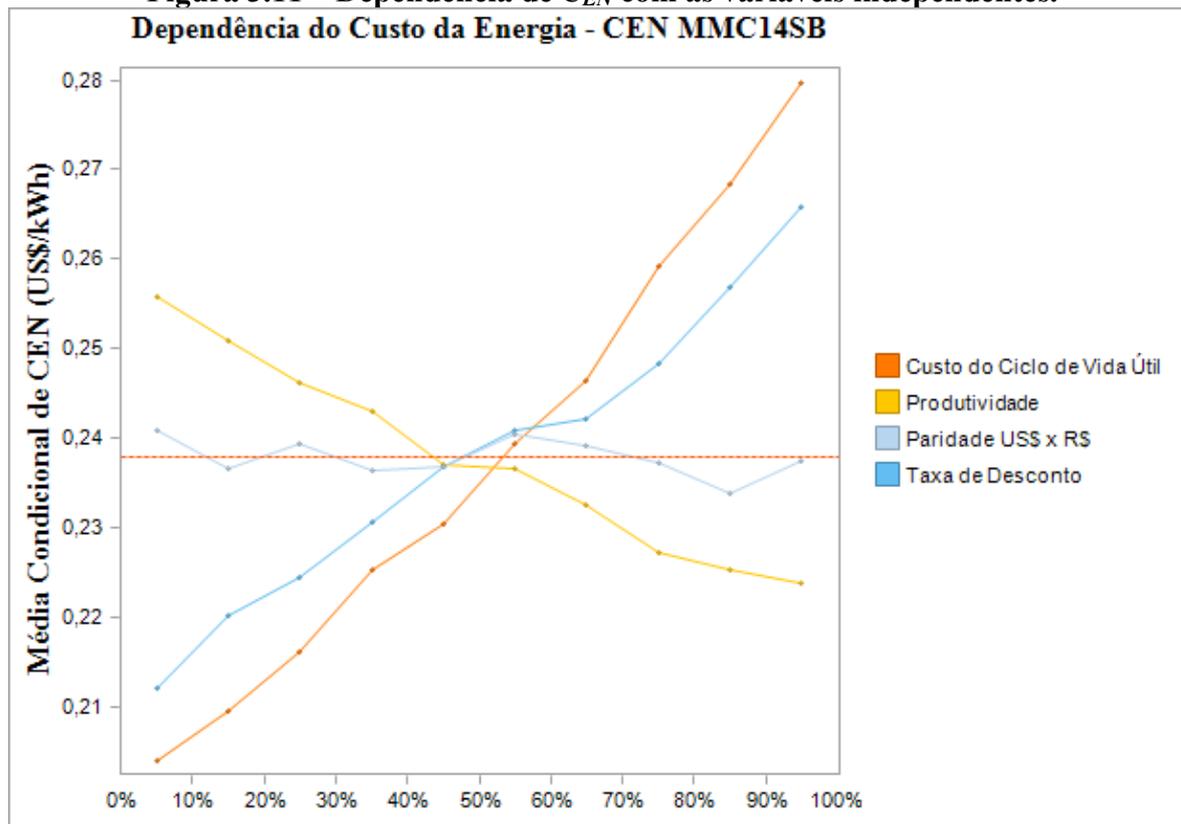
Figura 3.10 – Dependência de *VPL* com as variáveis independentes.



Fonte: Elaboração do autor.

Verifica-se que o *VPL* é mais sensível à variação do valor de venda da energia produzida, aumentando seu montante à medida que cresce a citada variável independente. O crescimento da produtividade do SFCR também favorece maiores valores para *VPL*. A taxa de desconto e o custo do ciclo de vida útil praticados, à medida que crescem, diminuem significativamente o *VPL*. A paridade R\$ x US\$ é o parâmetro que menos afeta o valor presente líquido, ao final de 25 anos. Em todas as situações, entretanto, observa-se um *VPL* médio sempre positivo ao final da vida útil do SFCR.

Figura 3.11 – Dependência de C_{EN} com as variáveis independentes.

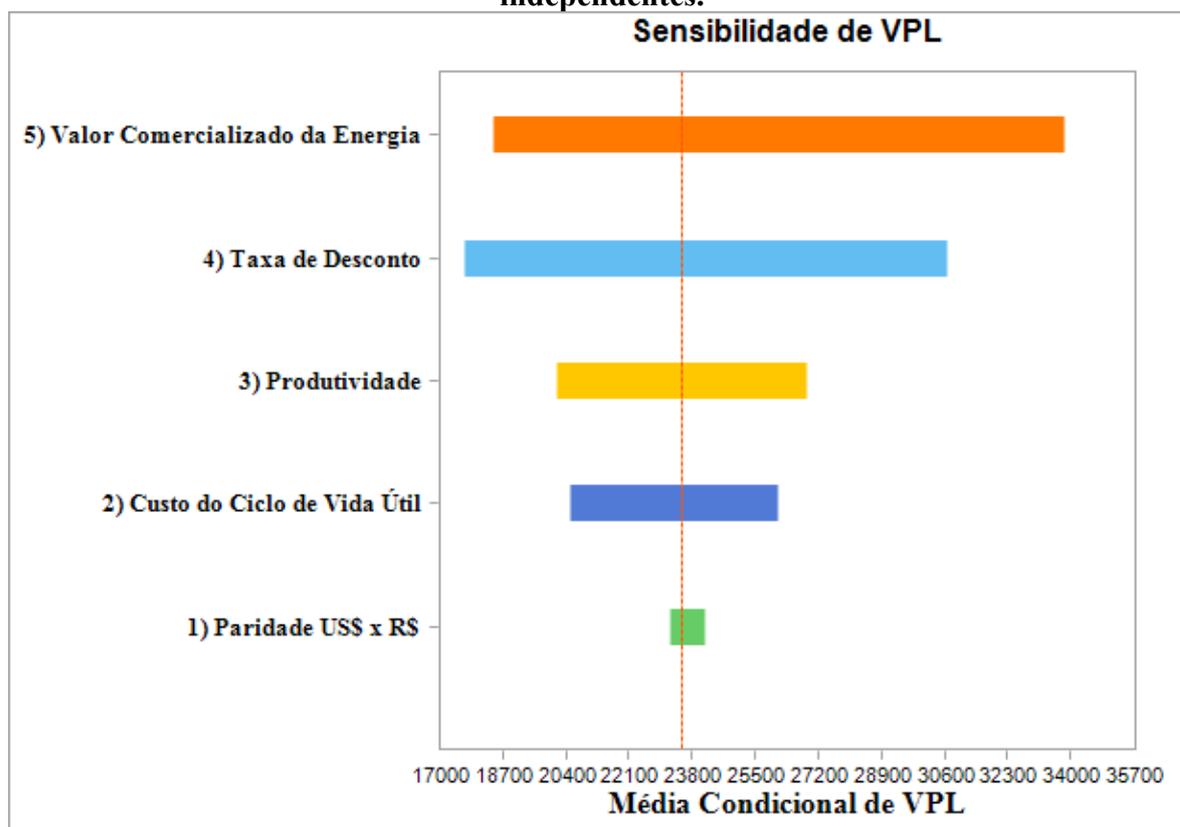


Fonte: Elaboração do autor.

Como se observa na Figura 3.11, a média de C_{EN} cresce acentuadamente com o acréscimo em CCV e na taxa de desconto praticada, e decresce em menor proporção com a produtividade do sistema. Uma variação entre os percentis 5% e 95% para CCV conduz a uma C_{EN} variando entre 0,203 e 0,279 US\$/kWh. Verifica-se ainda que a variação na paridade das moedas, (R\$ x US\$), considerando a função densidade de probabilidade escolhida, é também, como na análise anterior, o parâmetro de entrada de menor sensibilidade para a variável de saída.

As Figuras 3.12 e 3.13 apresentam o diagrama Tornado, identificando novamente a sensibilidade de VPL e C_{EN} em função das variáveis de entrada usadas no MMC. Confirma-se que, considerando os limites e as funções estabelecidas para as variáveis de entrada, o valor de venda da energia produzida é o parâmetro que mais afeta positivamente o VPL , enquanto que a taxa de desconto é quem mais o prejudica.

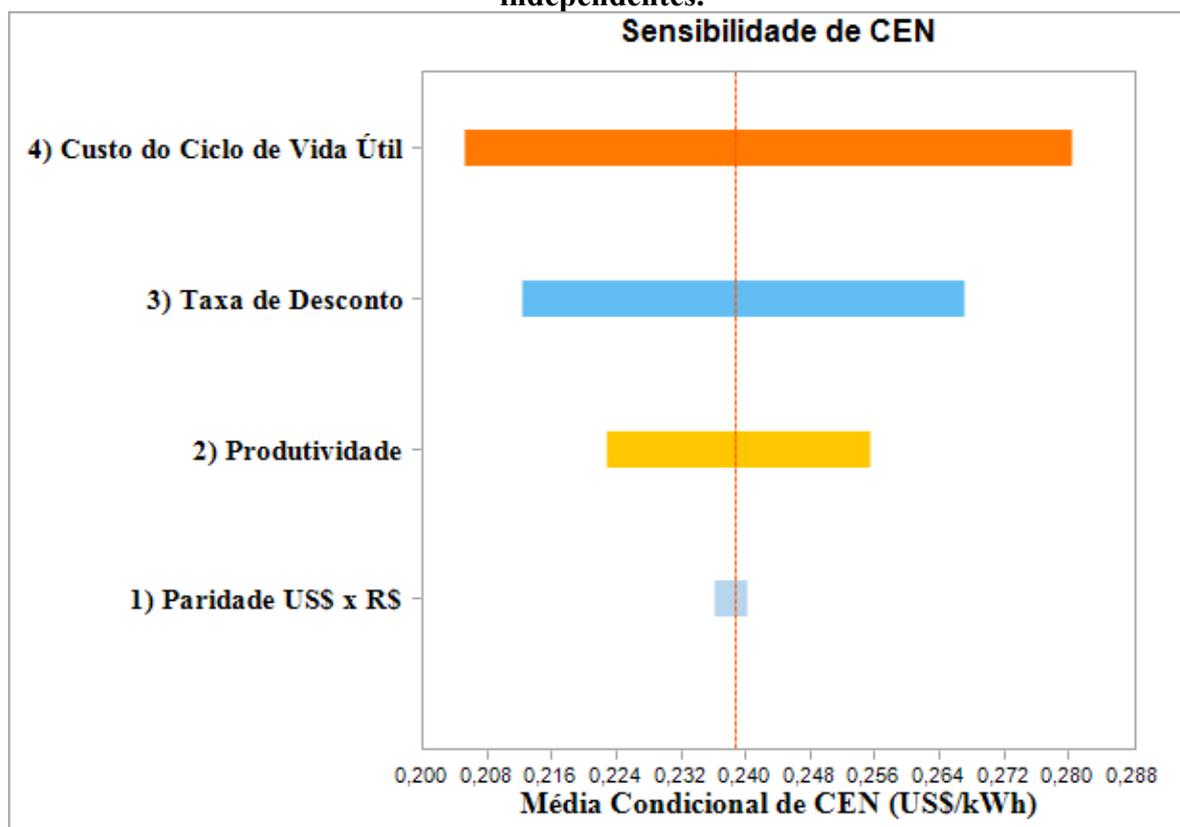
Figura 3.12 – Diagrama Tornado para a sensibilidade de *VPL* às variáveis independentes.



Fonte: Elaboração do autor.

O custo do ciclo de vida útil e a taxa de desconto, em geral, aumentam o C_{EN} , enquanto que, em menor proporção, a elevação da produtividade do SFCR diminui o custo da energia produzida. Entretanto, no caso apresentado, como as funções que definiram CCV e i apresentavam certa simetria em torno da média, o gráfico da sensibilidade de C_{EN} também o é em torno de sua média. A menor influência da variação da produtividade de energia sobre C_{EN} é devida ao tipo de função distribuição de probabilidade usada para caracterizar este índice, função Mínimo Valor Extremo com suave inclinação. Esta escolha considera possíveis variações de desempenho do gerador fotovoltaico devido ao recurso solar, posicionamento do arranjo ou idade do mesmo.

Figura 3.13 – Diagrama Tornado para a sensibilidade de C_{EN} às variáveis independentes.



Fonte: Elaboração do autor.

A análise gráfica dos resultados encontrados para VPL e C_{EN} indica que parâmetros como taxa de desconto, custo do ciclo de vida útil, produtividade e valor monetário do kWh gerado e comercializado ou evitado, este último apenas para VPL , precisam de boa confiabilidade na definição das suas respectivas funções distribuição de probabilidade, sob pena de aumentar a imprecisão dos resultados e o risco na tomada de decisão.

O resultado final mostrou que o uso de um banco de baterias no SFCR considerado inviabiliza economicamente o projeto, mas, em todos os casos do SFCR clássico, sem o uso de baterias, o VPL ao final de 25 anos se mostrou positivo, com valores algumas vezes animadores ao investidor. Entretanto, com relação ao C_{EN} , apenas cinco situações mereceram novas considerações, pois apresentavam um risco razoável de geração de energia elétrica a um custo acima do valor cobrado pela distribuidora.

O uso de PBD e $TIRM$ para análise complementar nos cinco casos revelou que MMC6SB e MMC12SB apresentam maiores valores médios para PBD , o que não é interessante, além de maior probabilidade de espalhamento nos resultados deste índice em relação aos três outros casos. Já MMC7SB apresentou um $PERC 10$ para a $TIRM$ inferior ao de MMC13SB e MMC14SB, demonstrando um maior risco de insucesso ao investidor.

Entre MMC13SB e MMC14SB os resultados foram bastante similares, com ligeira vantagem para o segundo, já que a única diferença estava na taxa de desconto anual praticada, fixa em 10 % para o MMC13SB, e uma distribuição normal de média anual igual a 10 % para MMC14SB. Em ambos os casos há a certeza de um considerável VPL positivo ao final de 25 anos, um C_{EN} abaixo da paridade tarifária, um *payback* descontado médio próximo de 6 anos e uma taxa interna de retorno modificada superando a 16 % em 90 % dos casos, o que favorece o retorno financeiro ao investidor e diminui o risco de realizar um mal negócio ou um negócio pouco atrativo.

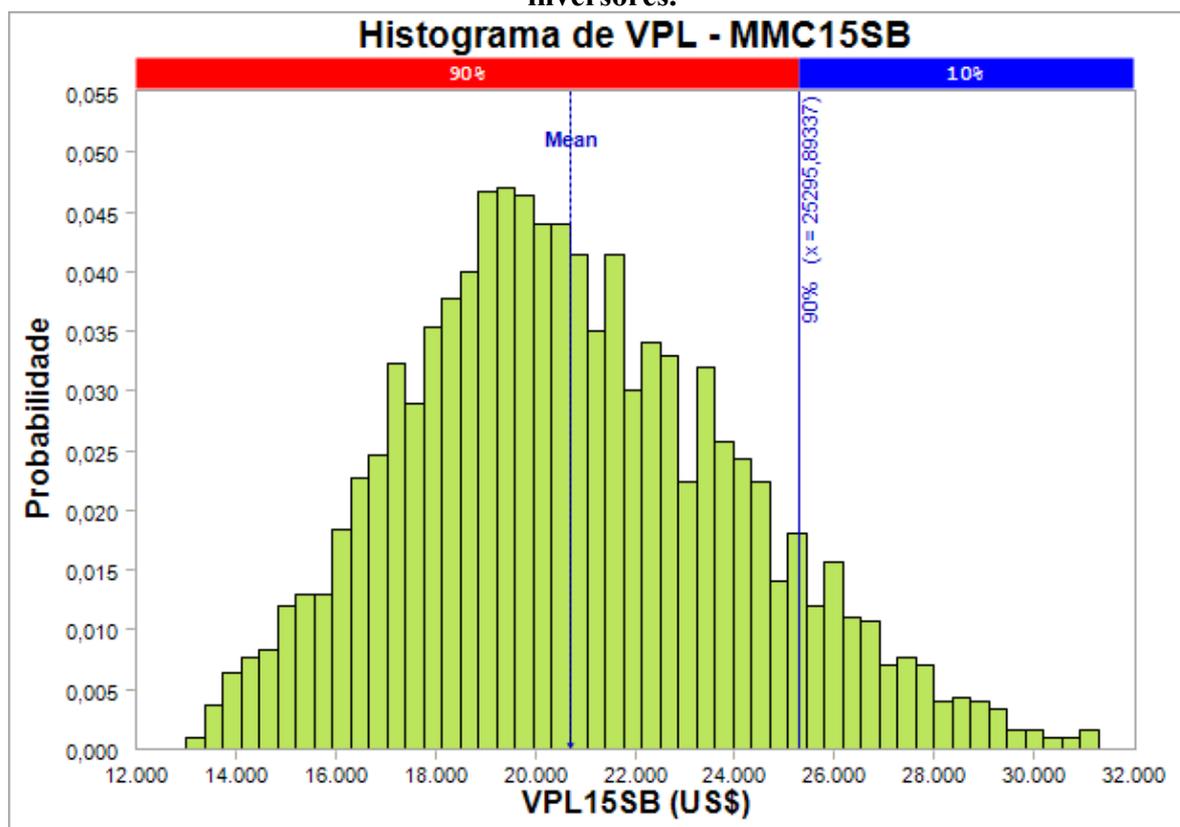
Considera-se agora uma alteração na variável independente CCV . O custo do ciclo de vida útil do SFCR, anteriormente tomado como uma função Bradford, com limite mínimo igual a 70% do valor máximo, é alterado indiretamente pela variação no custo dos módulos fotovoltaicos e dos inversores. Em junho de 2014, na Europa, o preço do W_p para os módulos policristalinos situava-se entre US\$ 0,53 e US\$ 0,90, com média de US\$ 0,598. O preço do W para os inversores, na mesma época, girava entre US\$ 0,10 e US\$ 0,25, com média de US\$ 0,182 (ENERGY TREND, 2014).

Se no Brasil fosse adotada uma política de incentivos pelo Governo Federal, com o poder de dotar, não apenas o SFCR em questão, mas outros que venham a ser instalados no Brasil, de condições de desenvolvimento mais favoráveis, incentivando o desenvolvimento da indústria nacional ou reduzindo os impostos e encargos em relação à importação dos módulos e inversores, dois equipamentos que contribuem acentuadamente para o aumento de CCV e, conseqüentemente, VPL e C_{EN} , haveria um efeito imediato sobre os índices de risco mencionados.

No caso em questão, uma redução de 25 % a 30 % no valor de aquisição praticado para o inversor e para o módulo poderia garantir, a curto prazo, a paridade tarifária no Brasil para consumidores residenciais. Nesta situação o C_{EN} estaria abaixo daquele praticado pela distribuidora de energia para um consumidor residencial em 100 % das amostras, colocando o Brasil em posição de paridade tarifária. Já o custo do kWp instalado chegaria a aproximadamente US\$ 2.200,00, o que estaria compatível com outros países, como Alemanha, US\$ 2.200,00 e China, US\$ 2.100,00 (REN21, 2014).

As Figuras 3.14 e 3.15 mostram o novo comportamento para o VPL e para C_{EN} , respectivamente.

Figura 3.14 – Histograma do *VPL* considerando redução no preço dos módulos e inversores.



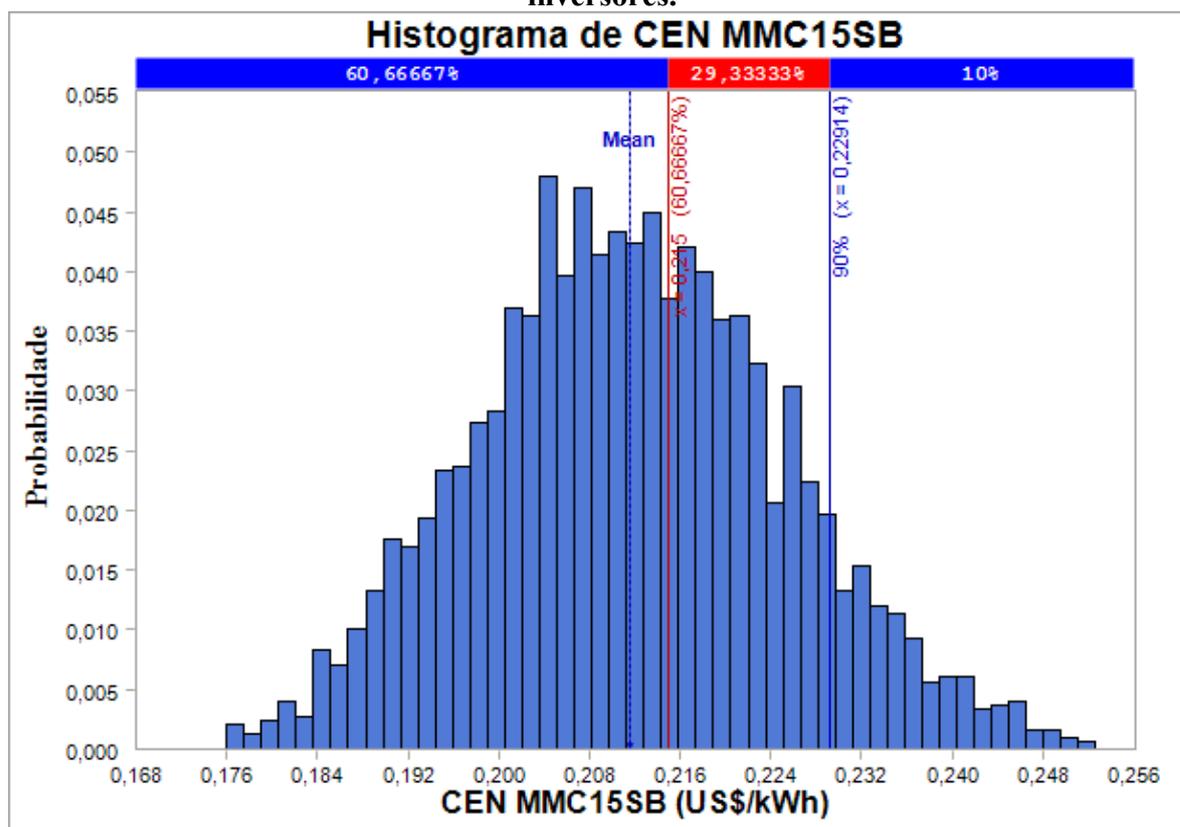
Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que 100 % dos valores obtidos para *VPL* são positivos, com média situada em US\$ 20.713,00, o que continua sendo atrativo para o investidor.

Já para C_{EN} , a situação melhora substancialmente em relação ao caso anterior, eliminando qualquer risco do investidor gerar energia a um custo superior ao preço cobrado pela distribuidora.

É muito claro, na Figura 3.15, que a paridade tarifária é alcançada em 100 % das amostras, enquanto que, na média, o custo de produção do kWh da energia fica em torno de R\$ 0,801 (US\$ 0,212), o que ainda é muito maior que o valor contratado no Leilão de Reserva de 31/10/2014, R\$ 0,215 (US\$ 0,084). Com relação ao *payback* descontado, este seria, na média, inferior a 6 anos, enquanto que a *TIRM* superaria 18 % ao ano. Considerando uma taxa de desconto de 10 %, a *TIRM* encontrada indicaria um baixo risco para o investimento.

Figura 3.15 – Histograma de C_{EN} considerando redução no preço dos módulos e inversores.



O patamar atingido pelo C_{EN} neste último caso já indica uma real paridade tarifária para os SFCR, com incentivos do Governo Federal bem mais modestos que aqueles concedidos outrora em outros países. Assim afasta-se definitivamente a necessidade de aplicação de *feed-in* no Brasil, no caso de aplicações de SFCR residenciais, até porque, na conjuntura econômica atual, esta é improvável, e o norte escolhido pelo Governo Federal é a adoção do sistema de Leilões de Energia. Vale salientar que para uso de SFCRs a nível industrial, o uso da energia fotovoltaica ainda não é economicamente viável, já que as tarifas de energia cobradas pelas distribuidoras de energia são muito inferiores ao custo de produção dos SFCRs.

CAPÍTULO 4

REGULAMENTAÇÃO E USO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

4.1 Proposta de Incentivo à Energia Solar Fotovoltaica para SFCRs no Brasil

A diversificação da matriz energética é de vital importância para o desenvolvimento de qualquer nação. Entretanto, o modo de atingir esta situação depende das características de cada país. Se em países como Alemanha e Espanha, as energias eólica e solar já representam uma significativa contribuição nas suas matrizes energéticas, condições financeiras, técnicas e de ordem de recursos naturais favoráveis, além de disposição política, impulsionaram estas nações para que alcançassem esta realidade.

O Brasil também pode diversificar ainda mais sua matriz energética, especialmente na produção de eletricidade. Certamente que o componente recursos naturais no Brasil, sol e vento, não são inferiores ao dos citados países europeus, mas os superam em médias anuais e em extensão para implantação dos respectivos sistemas. Contudo, ainda falta decisão política para priorizar as energias renováveis, apostando de modo efetivo na evolução das mesmas no país. Este caminho poderá diminuir a dependência da energia das hidrelétricas, e fortalecer o tripé necessário à sedimentação das energias renováveis no Brasil – acessibilidade, confiabilidade e aceitabilidade.

A acessibilidade é indispensável para promover a inclusão social do maior número possível de usuários a custos viáveis e com possibilidade de geração de renda.

A confiabilidade é relevante para reduzir drasticamente a possibilidade de interrupção no fornecimento de energia, colocando as novas tecnologias, dentro dos limites próprios de cada fonte, em condições de suprir a demanda, como no caso dos sistemas convencionais.

A aceitabilidade das novas tecnologias precisa ser conquistada junto aos usuários, mostrando o benefício ao meio ambiente, evidenciando a criação de novos empregos e aumentando a segurança associada aos riscos com acidentes, como no caso de enchentes ou desastres nucleares, por exemplo.

Verifica-se que o Brasil adota algumas políticas de incentivo às energias renováveis, entretanto, fundamentalmente voltadas ao aproveitamento hídrico, eólico, gás natural, biomassa, biodiesel e produção de etanol, além de programa de conservação de energia e efficientização energética. Os números, a nível de contribuição na matriz elétrica nacional, tiveram como destaque em 2013 apenas o aproveitamento hídrico, 70,6 %, e a biomassa com

7,6 %, enquanto que a eólica contribuiu com 1,1 %. Faz-se necessário o emprego de ações governamentais efetivas que fortaleçam a acessibilidade, a confiabilidade e a aceitabilidade das energias renováveis no país, como ocorreu em outras nações. Partindo deste pressuposto, pode-se projetar uma política para alavancar o uso da energia solar, com projeto contratado pela primeira vez em outubro de 2014 pelo Leilão de Energia, e de sedimentação das outras fontes renováveis de energia já incentivadas no Brasil.

Uma possibilidade financeiramente viável seria o estabelecimento de ações como as apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Política para as energias renováveis no Brasil.

	<i>Bônus Verde</i>	<i>Subsídio ao Capital Inicial</i>	<i>Leilão de Energia</i>
Solar	X	X	X
Eólica	-	X	X
Biomassa	-	-	X
Hídrica	-	-	X

Fonte: Elaboração do autor.

Considerando as experiências internacionais, o *feed-in* e o subsídio ao investimento inicial foram os incentivos mais usados e que resultaram em cumprimento de metas de geração de energia elétrica, estabelecimento de novas indústrias, criação de novos postos de trabalho e menor agressão ao meio ambiente. Alguns ajustes precisaram ser feitos nas políticas de cada um dos países que apostaram nas energias renováveis, o que para o Brasil já pode ser tomado como passo inicial. Dentre eles está o estabelecimento de valores justos para os incentivos, de modo a considerar os custos diferenciados de cada uma das fontes renováveis de energia. Se todas as fontes acima citadas na Tabela 4.1, forem importantes e viáveis para o Brasil, e o são na verdade, elas devem ter incentivos que permitam seus respectivos desenvolvimentos em condições de igualdade entre si e em relação às fontes convencionais. As fontes eólica e biomassa, além da hídrica de pequeno porte, contam com o apoio de mecanismos como o leilão de energias, já a solar não tinha, até recentemente, qualquer tipo de incentivo para seu desenvolvimento em solo brasileiro, tendo em vista que seu primeiro leilão de energia, apesar de ter sido realizado em novembro de 2013, não apresentou custos competitivos de geração com outras fontes renováveis, inviabilizando a contratação de qualquer projeto. O Ministério de Minas e Energia, MME, realizou em 31 de outubro de 2014 o Leilão de Energia de Reserva, havendo a primeira contratação de projetos fotovoltaicos, pagando, em média, 215,12 R\$/MWh, o que poderá não garantir a entrega dos empreendimentos, tendo em vista o custo atual do kWp instalado no mercado brasileiro.

Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2014, o consumo de eletricidade no Brasil em 2013, considerando apenas as cargas residenciais, industriais e comerciais, alcançou aproximadamente 420.000 GWh. Se fosse cobrada uma taxa da ordem de US\$ 0,003 por cada kWh consumido, o que corresponderia a um acréscimo de 1,13 % no valor do kWh cobrado pela distribuidora de energia em Belém-PA em novembro/2014 para um imóvel residencial trifásico, apenas nas três categorias mencionadas, seriam arrecadados mais de 1,26 bilhões de dólares ao final de um ano. Isto poderia financiar um fundo para o bônus verde e para o subsídio ao investimento inicial em energias renováveis. Considerando que no Brasil o recurso solar é abundante, a indústria fotovoltaica, hoje inexpressiva, poderia gerar muitos empregos no futuro, desde que o recurso mencionado acima fosse plenamente usado para o fim previamente destinado. Os incentivos poderiam, se propício fosse, ser canalizados para sistemas conectados à rede em um primeiro momento e, posteriormente, para os isolados. O primeiro interessaria às edificações na cidade e o segundo às regiões de difícil acesso e sem perspectivas de interligação à rede das distribuidoras de eletricidade.

O presente trabalho restringe-se à análise dos SFCRs, já que os sistemas isolados, mesmo importantes para regiões de difícil logística de acesso, como a Amazônica, ainda apresentam um custo muito elevado e já contam, ainda que de modo insuficiente, com a possibilidade de uso dos sistemas de geração de energia elétrica por fontes intermitentes, SIGFIs. Além disto, é relevante observar a tendência mundial mostrando que os sistemas isolados respondiam por quase a totalidade do mercado internacional associado à energia fotovoltaica no ano de 2005, e já em 2010 a situação mudou completamente e os SFCRs passaram a ser responsáveis por 90 a 95 % desta fatia (REN21, 2011).

Para quantificar o impacto dessa política, toma-se como base o valor de 0,2647 US\$/kWh para a energia cobrada pela distribuidora de energia local (valor com impostos de um sistema trifásico em Belém/PA) e a paridade US\$ 1,00 igual a R\$ 2,565. A análise estima o custo inicial de 2 kWp instalado para o consumidor, o custo para o programa e quantos kWp poderão ser contratados pela ação proposta. O valor de 2 kWp foi escolhido porque poderia atender pelo menos 50 % do consumo de uma residência de classe média em localidades com média diária de 5 horas de sol pleno, valor medido em Belém-PA.

A análise apoia-se na formulação apresentada por (PEREIRA et al., 2014) e os dados iniciais são:

- Custo médio de 2 kWp em módulos fotovoltaicos, $C_{ger} = \text{US\$ } 2.800,00$;

- Custo médio de um inversor com 80 % da capacidade dos módulos fotovoltaicos, $C_{inv} = \text{US\$ } 1.536,00$;
- Custo médio inicial com equipamentos, $CI = \text{US\$ } 4.336,00$;
- Custo com instalação dos equipamentos, $0,3 \text{ US\$/Wp}$, $C_{inst} = \text{US\$ } 600,00$;
- Custo de O&M em 25 anos com 1 % sobre CI , $C_{O\&M} = \text{US\$ } 731,50$;
- *Salvage* ao fim de 25 anos, $\text{US\$ } 400,20$;
- Custo do ciclo de vida útil para um período de 25 anos, $CCV = \text{US\$ } 5.889,65$;
- Taxa de desconto anual, $i = 10 \%$;
- Inflação anual, $g = 6,5 \%$;
- Troca do inversor (10 anos) = $\text{US\$ } 977,12$;
- Troca de inversor (20 anos) = $\text{US\$ } 376,72$;
- Produtividade, $Prod = 1.202 \text{ kWh/kWp/ano}$.

Na determinação do custo do programa proposto é importante estipular claramente o mecanismo operacional do bônus verde. Este incentivo seria uma espécie de *feed-in* regressivo e por tempo limitado de quatro anos. A manutenção de um *feed-in* por longos períodos e em taxas elevadas acarretaram dificuldades na Espanha e na Alemanha, contribuindo, entretanto, significativamente para o desenvolvimento das energias renováveis nestas nações. Como no Brasil não se vislumbra a adoção de tal mecanismo, até porque o sistema de leilões de energia é atualmente adotado, mas há necessidade de fomento mais agressivo para o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, propõe-se a criação do bônus verde para alavancar esta iniciativa.

O bônus verde inicia com um prêmio de 40 % da tarifa da distribuidora local, pago anualmente ao produtor sobre toda a energia gerada pelo SFCR, mas que, corrigida pela inflação anual, decresce linearmente 10 %/ano ao longo de 4 anos. No caso em questão inicia com $0,1059 \text{ US\$/kWh}$. A partir do quinto ano após o início da operação de cada sistema, o bônus verde é extinto, passando o SFCR a funcionar no modo *net metering*, fazendo o balanço entre a energia produzida e a consumida da rede, sem possibilidade de venda de energia à distribuidora. Quanto ao subsídio ao capital inicial, CIA , é proposto o valor de 20 % do custo de aquisição do gerador fotovoltaico e do inversor. Assim a equação (4.1) quantifica o custo anual do bônus verde, a equação (4.2) determina o custo do incentivo à aquisição do

conjunto inversor/gerador fotovoltaico, enquanto que a equação (4.3) calcula o custo global do bônus verde para cada SFCR de 2 kWp ao programa, CBV .

$$BV_j = Prêmio_j \cdot Tarifa \cdot Produção_j \cdot \left(\frac{1 + \frac{g}{100}}{1 + \frac{i}{100}} \right)^j \quad (4.1)$$

$$CIA = 0,2(C_{gen} + C_{inv}) \quad (4.2)$$

$$CBV = Tarifa \left[\sum_{j=1}^4 Prêmio_j \cdot Produção_j \cdot \left(\frac{1 + \frac{g}{100}}{1 + \frac{i}{100}} \right)^j \right] \quad (4.3)$$

onde:

BV_j – bônus verde concedido ao produtor no ano j após o início da operação, US\$/kWh;

$Prêmio_j$ – incentivo calculado a partir da tarifa da distribuidora, US\$/kWh;

$Produção_j$ – produção de energia pelo SFCR no ano j , kWh.

O total de SFCRs beneficiados com a receita de apenas um ano do projeto, TS , é determinado pela equação (4.4).

$$TS = \frac{\text{Receita anual do programa}}{CBV + CIA} \quad (4.4)$$

A política sugerida resultaria na situação apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultado da aplicação da política para SFCRs no Brasil.

Custo do Bônus Verde para cada 2 kWp instalados (US\$)	596,80
Custo evitado pelo produtor ao final de 25 anos (US\$)	10.735,22
Subsídio inicial concedido para cada 2 kWp instalados (US\$)	867,20
Custo total para o programa por cada 2 kWp instalados (US\$)	1.464,00
Custo inicial para o produtor (US\$)	4.068,80
Saldo cumulativo líquido ao produtor após 25 anos (US\$)	5.177,88
Total anual de SFCRs de 2 kWp instalados	860.656
Total anual de MWp instalados pelo programa	1.721

Fonte: Elaboração do autor.

Verifica-se que a manutenção desta política por um período de 4 anos, desconsiderando diminuição no preço dos equipamentos, variação na inflação e alteração na taxa de desconto, por exemplo, poderia integrar aproximadamente novos 6,88 GW na oferta de eletricidade ao país. Além disto, é importante destacar que, após 7 anos, o produtor já teria recuperado o investimento inicial. Entretanto, as trocas do inversor ao final dos anos 10 e 20, que aconteceriam por conta do produtor, não estenderiam o tempo de retorno global,

mantendo-o em 7 anos, havendo apenas uma diminuição momentânea do saldo cumulativo deste último. E qual seria o risco assumido pelo produtor ao aderir ao programa?

Uma análise mais realista desta política para responder a esta questão é feita a partir do uso de três variáveis independentes via MMC, considerando possíveis variações na taxa de desconto, no incentivo à aquisição do inversor/gerador fotovoltaico e inflação. A Tabela 4.3 mostra as características das funções densidade de probabilidade usadas para as variáveis independentes propostas.

Tabela 4.3 – Variáveis independentes na análise da política de incentivos para SFCRs no Brasil.

Variável independente	Característica
<i>i</i>	Função normal de média 10 e desvio padrão igual a 0,88, com limites máximo e mínimo de 12 e 8, respectivamente.
<i>CIA</i>	Função uniforme de média 10 e desvio padrão igual a 5,77, com limites máximo e mínimo de 0 e 20, respectivamente.
<i>g</i>	Função normal de média 6,5 e desvio padrão igual a 0,74, com limites máximo e mínimo de 8 e 5, respectivamente.

Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 4.4 apresenta os resultados do uso do MMC na política de incentivos aos SFCRs no Brasil.

Tabela 4.4 – Resultado do MMC na política de incentivos para SFCRs no Brasil.

	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Percentil 90	ΔM (%)
Custo do Bônus Verde para cada 2 kWp instalados (US\$)	596,63	633,78	563,00	12,49	613,54	-
Custo evitado pelo produtor ao final de 25 anos (US\$)	10.810,68,	15.498,61	7.823,45	1.321,69	12.646,12	1,21
Custo inicial para o produtor (US\$)	4.500,94	4.935,68	4.068,86	247,14	4.843,33	10,57
Saldo cumulativo líquido ao produtor após 25 anos (US\$)	4.810,05	8.959,09	2.129,51	1.128,85	6.349,95	-9,22
Total anual de SFCRs de 2 kWp instalados	1.300.261	2.197.776	847.037	338.304	1.829.748	51,08

Fonte: Elaboração do autor.

onde, ΔM é a variação percentual entre os valores médios das Tabelas 4.2 e 4.4.

Quase todos os resultados da Tabela 4.4, na média, foram similares aqueles obtidos na Tabela 4.2. Exceção se faz ao total de SFCRs instalados, com um acréscimo de 51,08 %, em função da necessidade de menor aporte financeiro pelo programa. Com relação ao tempo de recuperação inicial do investimento este foi elevado para mais de 8 anos.

Em ambos os casos considerados, os tempos de retorno do investimento, são consideráveis para atração de pequenos investidores, podendo desencorajá-los a aderir ao programa.

Entretanto, até então, não foi considerada qualquer redução no custo do conjunto inversor/gerador fotovoltaico. Uma redução de apenas 20 % neste custo, o que poderia ser obtido com renúncia fiscal ou incentivo à nacionalização destes equipamentos, fortaleceria o programa.

A Tabela 4.5 apresenta a situação obtida com a redução no custo do conjunto inversor/gerador fotovoltaico.

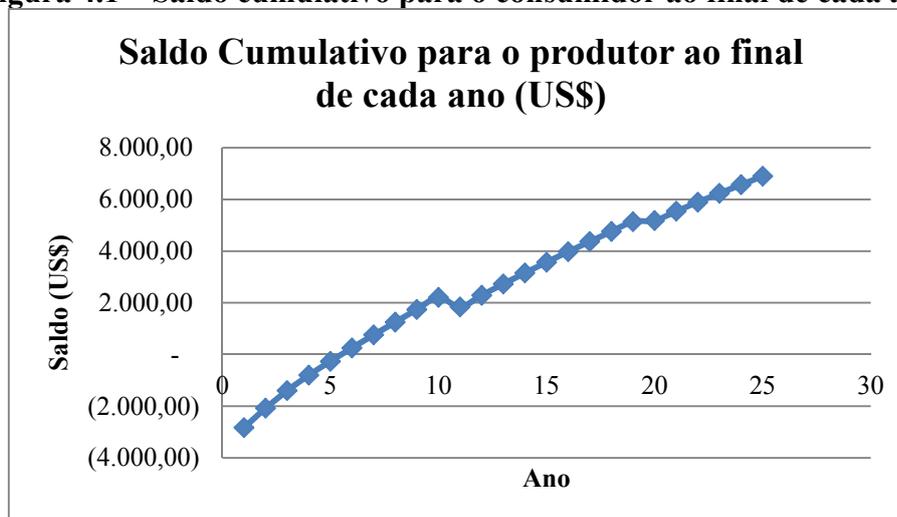
Tabela 4.5 – Resultado do MMC na política de incentivos para SFCRs no Brasil com redução no custo do conjunto inversor/gerador fotovoltaico.

	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Percentil 90
Custo inicial para o produtor (US\$)	3.717,99	4.068,59	3.375,05	202,43	4.000,62
Saldo cumulativo líquido ao produtor após 25 anos (US\$)	6.011,72	10.047,52	3.241,22	1.135,82	7.578,48
Total anual de SFCRs de 2 kWp instalados	1.396.410	2.176.740	958.575	317.570	1.892.429

Fonte: Elaboração do autor.

Em relação aos dados da Tabela 4.4, a Tabela 4.5 revela redução de 21,06 % no custo inicial ao produtor, um acréscimo de 24,98 % no saldo cumulativo líquido para o produtor ao final de 25 anos e um incremento de 7,36 % no total de SFCRs de 2 kWp instalados com apenas um ano de arrecadação do programa. Contudo, o tempo de retorno do investimento é agora alcançado antes de 6 anos de operação, com saldo cumulativo ao final de 25 anos superior em 61,69 % ao custo inicial para o produtor. A Figura 4.1 mostra o comportamento do saldo cumulativo ao longo da vida útil do SFCR conduzindo a um retorno positivo ao produtor em menos de 6 anos.

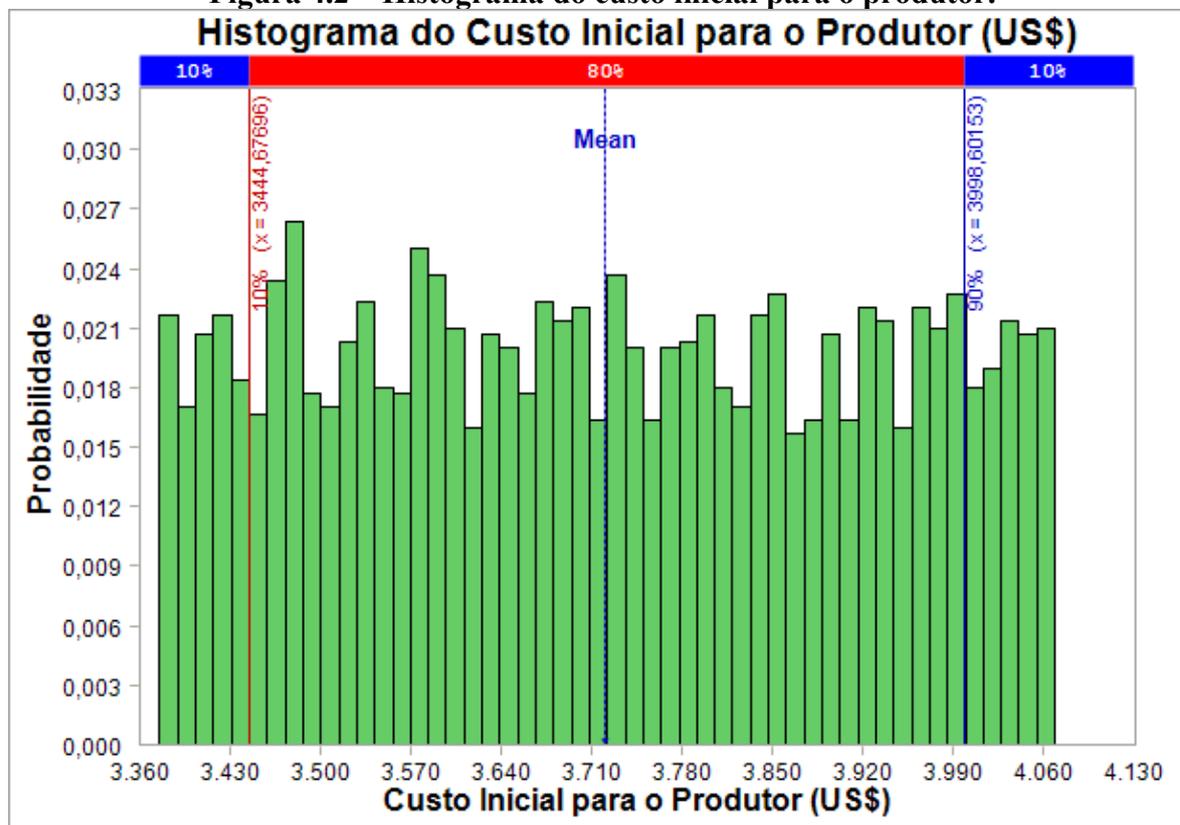
Figura 4.1 – Saldo cumulativo para o consumidor ao final de cada ano.



Fonte: Elaboração do autor.

Desconsiderando qualquer tipo de acidente natural, que venha a provocar a troca de equipamentos ou reparos na estrutura de suporte do SFCR, ou ainda uma variação exagerada das variáveis de entrada da análise, o risco de insucesso para o produtor ao aderir ao programa é muito pequeno. As Figuras 4.2 a 4.4 traduzem esta tendência.

Figura 4.2 – Histograma do custo inicial para o produtor.

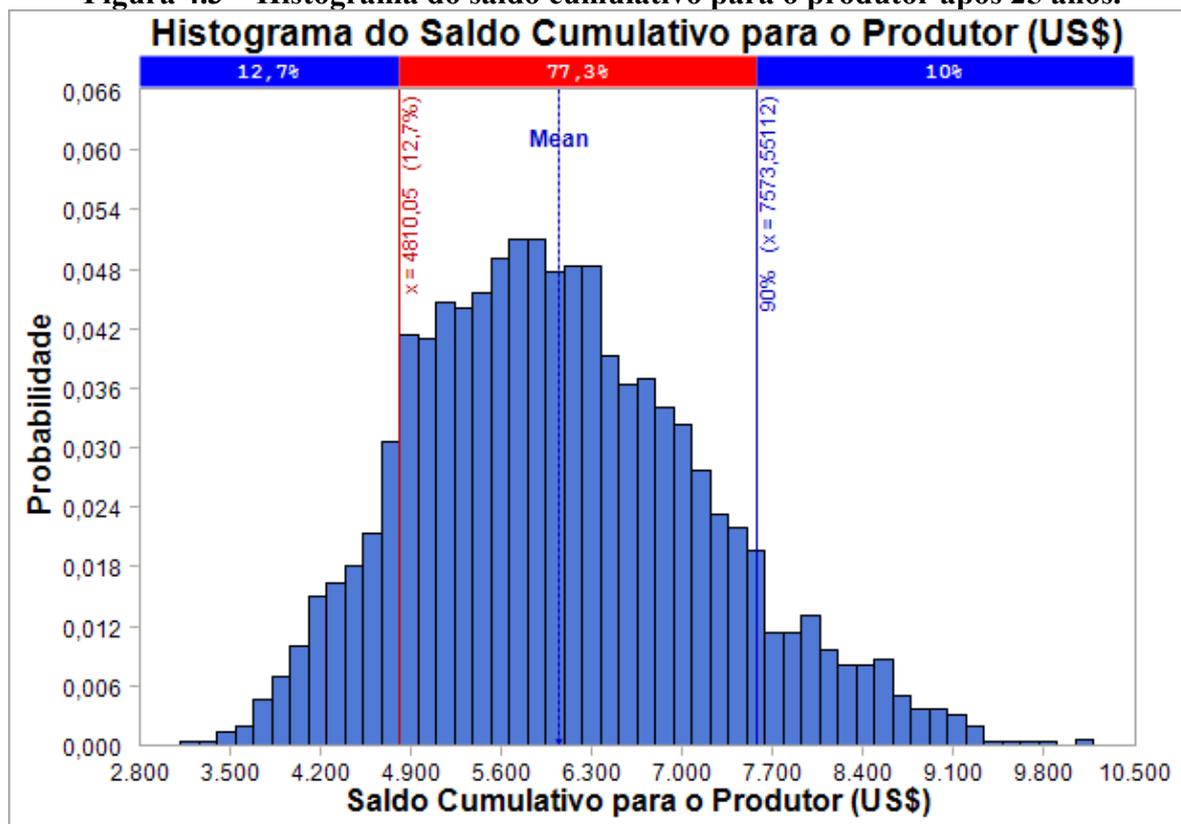


Fonte: Elaboração do autor.

A probabilidade de ocorrência, em torno de 1,8 %, é praticamente a mesma para qualquer dos possíveis valores do custo inicial para o produtor.

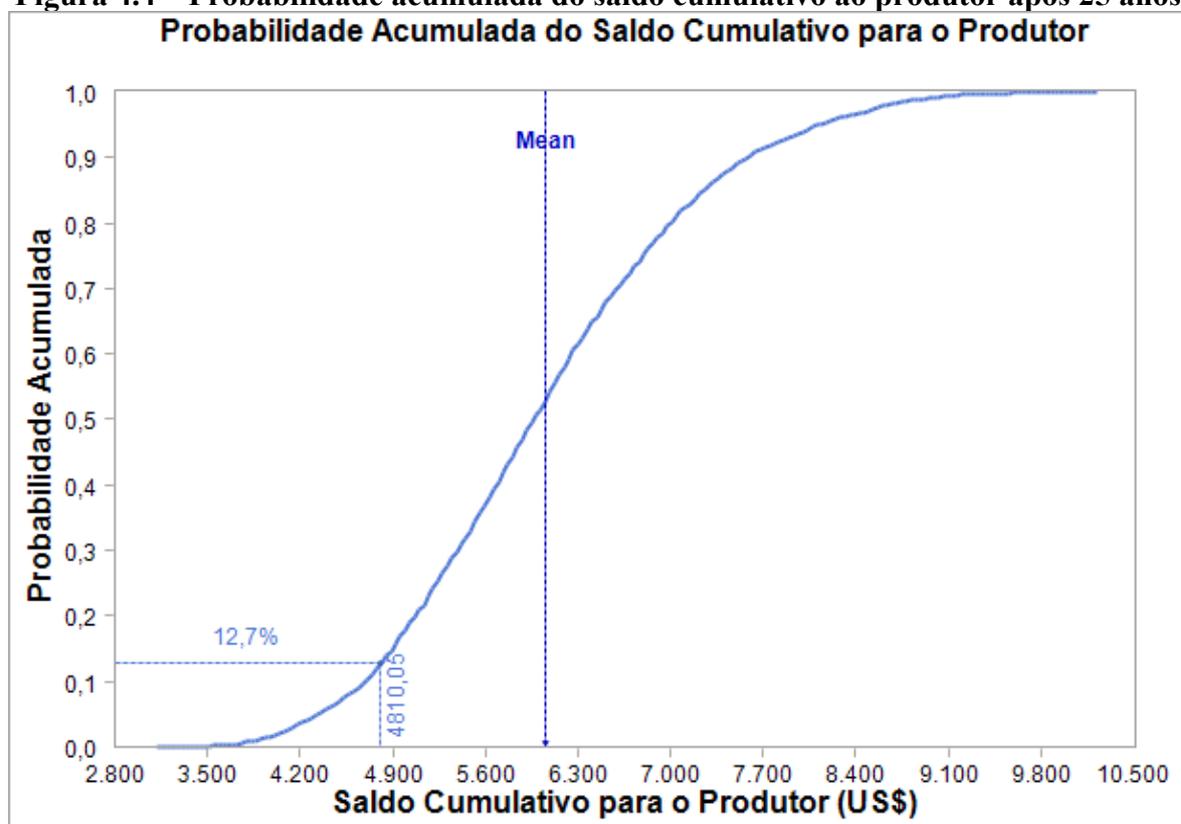
A Figura 4.3 mostra que há 77,3 % de probabilidade de melhoria do saldo cumulativo para o produtor em relação à situação sem redução nos custos dos equipamentos, enquanto que a Figura 4.4 retrata a mesma informação através da probabilidade acumulada para o saldo cumulativo ao produtor. O risco de saldo negativo ao final de 25 anos é nulo, o que favorece o produtor.

Figura 4.3 – Histograma do saldo cumulativo para o produtor após 25 anos.



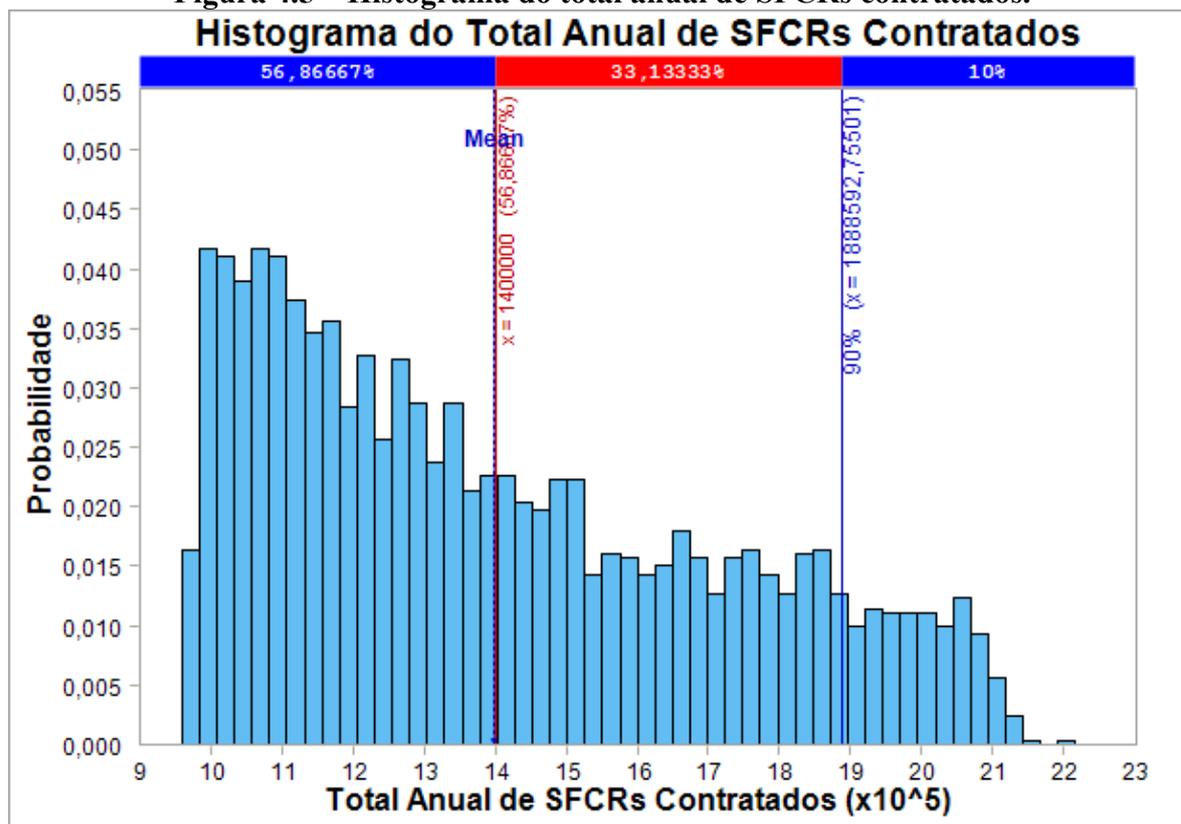
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 4.4 – Probabilidade acumulada do saldo cumulativo ao produtor após 25 anos.



A Figura 4.5 traduz o comportamento do parâmetro que importa ao Governo Federal, o total de SFCRs contratados. Pode-se observar que quase 44 % dos valores obtidos supera 1.400.000 sistemas contratados, o que resultaria em 2,8 GWp disponibilizados com apenas um único ano de arrecadação do programa. Uma estimativa mais conservadora apontaria para 1.000.000 de SFCRs contratados e um total de 2 GWp incorporados à matriz energética brasileira em um ano do programa proposto.

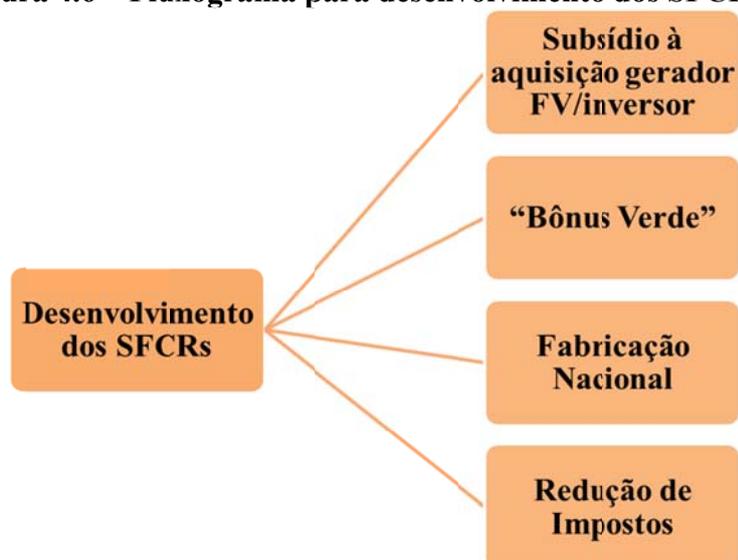
Figura 4.5 – Histograma do total anual de SFCRs contratados.



Fonte: Elaboração do autor.

É possível concluir que, conforme mostrado na Figura 4.6, o estabelecimento de uma política de incentivos com subsídio à aquisição do conjunto inversor/gerador fotovoltaico, associado à criação do bônus verde, além da redução da carga de impostos sobre o custo dos equipamentos, ou ainda a nacionalização da fabricação dos mesmos, poderia alavancar o desenvolvimento dos SFCRs no Brasil.

Figura 4.6 – Fluxograma para desenvolvimento dos SFCRs no Brasil.



Fonte: Elaboração do autor.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, o Método de Monte Carlo, MMC, foi apresentado como ferramenta para identificar o risco assumido pelo investidor ao usar um determinado tipo de geração renovável de energia, aqui exemplificado pelo sistema fotovoltaico conectado à rede, atualmente instalado no GEDAE. As simulações comprovaram que a paridade tarifária, para consumidores residenciais trifásicos, praticamente já foi atingida no Brasil. Entretanto, as ações governamentais para incentivar as fontes renováveis no país ainda são insuficientes, em particular em relação à energia solar. Os apoios financeiros ou fiscais ainda são tímidos e a legislação em vigor não tranquiliza o investidor.

Usando o Método de Monte Carlo, uma proposta de incentivo foi apresentada através da criação do chamado “bônus verde”, valor pago por quatro anos ao produtor, e de um subsídio de 0 a 20 % sobre o valor do conjunto inversor/gerador fotovoltaico, demonstrando ser de baixo risco a viabilidade econômica da ação, tanto do ponto de vista produtor como do Governo Federal. Os recursos para o programa, se garantidos com a cobrança de um acréscimo de US\$ 0,003 por cada kWh consumido pelas cargas residenciais, industriais e comerciais do país em um único ano, proporcionariam a instalação de quase 2,6 GWp em SFCRs, com tempo de retorno para o investidor inferior a nove anos. A manutenção desta proposição por pelo menos quatro anos, acrescentaria aproximadamente 10 GWp à capacidade instalada no Brasil, contribuiria para uma menor utilização das termelétricas, favoreceria o desenvolvimento de uma indústria fotovoltaica nacional e despertaria o interesse da sociedade no uso deste recurso energético. Esta proposição, entretanto, deveria ser amparada por uma legislação que deixasse bastante claro aos produtores e distribuidoras de energia, os percentuais e os prazos dos incentivos concedidos, além das obrigações e direitos de cada uma das partes.

Usando o MMC, verificou-se ainda que, se além das ações anteriormente propostas, uma redução de 20 % no custo do conjunto gerador fotovoltaico / inversor fosse praticada no Brasil, o que poderia ser resultado de renúncia fiscal ou incentivo a uma indústria nacional no setor, a recuperação do investimento pelo produtor seria alcançada em menos de 6 anos, e o saldo financeiro do produtor ao final de 25 anos seria sempre positivo, conquistando a confiança do investidor pela garantia do sucesso do empreendimento.

A proposta apresentada não pretende ser a solução para o problema energético no Brasil, mas apontar as energias renováveis como caminho factível para contribuir com a mitigação desta questão. Edificações eficientes, mecanismos de uso racional da energia,

diversificação das fontes energéticas, legislação clara e regras duradouras e confiáveis são 'tens que precisam ser considerados para qualquer programa seja exitoso.

Vale ressaltar que para a Amazônia, o estudo de viabilidade econômica da geração fotovoltaica para sistemas isolados é também importante, tendo em vista uma população de mais de dois milhões de pessoas sem atendimento, ou com precário atendimento dos serviços de eletricidade. O MMC pode ser uma ferramenta importante para projetar cenários que vislumbrem o custo deste tipo de serviço, considerando as variações nos encargos financeiros, preços dos equipamentos, inflação, instalação do sistema e principalmente o custo de operação e manutenção da estrutura de geração, este último um item da maior importância para os projetos de regiões de difícil acesso, como grande parte da Amazônia.

Novos trabalhos podem ser desenvolvidos a partir deste, tais como:

- Usar outras funções densidade de probabilidade para as variáveis de entrada, fundamentadas em dados medidos ou séries históricas;
- Aplicar o MMC considerando o impacto do consumo próprio do sistema, o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços, o custo de disponibilidade da rede da concessionária e o sistema de bandeiras adotado no Brasil para avaliar o risco econômico dos SFCRs;
- Aplicar o MMC na avaliação de risco econômico para outras fontes de energia;
- Aplicar o MMC na avaliação de risco econômico para sistemas isolados ou híbridos;
- Comparar através do MMC diferentes configurações de sistemas de geração, de modo a encontrar o menor risco de insucesso para determinada aplicação e localidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEMANHA. **Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources 2012**. Disponível em http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/eeg_2012_en_bf.pdf. Acessado em 15/07/2014.
- ALEMANHA. **Renewable Energy Sources Act 2000 (Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG)**. Disponível em <http://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/>. Acessado em 15/03/2014.
- ALEMANHA. **Renewable Energy Sources Act of 25 October 2008 (Federal Law Gazette I p. 2074) as last amended by the Act of 11 August 2010 (Federal Law Gazette I p. 1170)**, Disponível em http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/eeg_2009_en_bf.pdf. Acessado em 15/07/2014.
- BARBIERI, J. C.; ÁLVARES, A. C. T.; MACHLINE, C. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Ano 2, vol. 5, out-dez/07, p. 131-142.
- BERNAL-AGUSTÍN, J. L.; DUFO-LÓPEZ, R. **Economical and Environmental Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems in Spain**. *Renewable Energy* 2006; 31(8): 1107-1128.
- BLOCK, S.. **Are real options actually used in the real world?** *The Engineering Economist*, vol. 52, n. 3, p. 255-267, 2007.
- BORDIN, V. G. D; A.; FRÈRE, A. F.; COUTINHO, K.. **Aplicação do Método de Monte Carlo no Diagnóstico de Glaucoma**. XXVIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 2005.
- BORGES JÚNIOR, J. C. F.. **Modelo Computacional para Tomada de Decisão em Agricultura Irrigada**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- BP. **BP Statistical Review of World Energy 2014**. Disponível em <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>. Acessado em 07/11/2014.
- BRASIL. Ministério de Mina e Energia – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2014 - Ano Base 2013**. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acessado em 17/11/2014.
- BRASIL. Ministério de Mina e Energia – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2011 - Ano Base 2010**. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf. Acesso em 17/11/2014.
- BRITO, A. U.. **Estudo de Edificações Energeticamente Autônomas e Eficientes**. Dissertação de Mestrado, UFPA, 2002.
- CAMPBELL, R. J. **China and the United States — A Comparison of Green Energy Programs and Policies**. Congressional Research Service. Relatório do Congresso Americano de 14 de julho de 2010. p. 8.
- PHILIPS. **Catálogo Geral de Luminárias Philips 2009**.

CHINA. **The Renewable Energy Law of the People's Republic of China**. Adopted at the 14th Session of the Standing Committee of the 10th National People's Congress, Beijing, China, 28 February 2005. Disponível em <http://www.npc.gov.cn/englishnpc/Law/2007-12/13/content_1384096.htm>. Acessado em 24/07/2014.

CREDER, H., **Instalações Elétricas**, Editora LTC, 13a Edição, 1995.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>>, Programa SUNDATA V1.0, CRESESB. Acessado em 23/06/2013.

CRESESB. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001**. Publicação do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL.

DALMAZ, A. **Estudo do Potencial Eólico e Previsão de Ventos para Geração de Eletricidade em Santa Catarina, 2007**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina - RS. p. 27-28.

DIAS, R. A. **Impactos da Substituição de Equipamentos na Conservação de Energia**. Guaratinguetá, 1999. 94p. Cap.1, p.18-23. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.

ENERGY TREND. **PV Spot Price**. Disponível em <<http://pv.energytrend.com/pricequotes.html>>. Acessado em 27/06/2014.

EPE. **EPE recebe inscrição de mais de mil projetos para Leilão A-5/2014**. Disponível em <<http://www.epc.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20A-5%202014/EPErecebeinscri%C3%A7%C3%A3odemaisdemilprojetosparaLeil%C3%A3oA-52014.aspx>>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Acessado em 10/06/2014.

EPE. **Leilão de Energia de Reserva 2014 atrai investimentos de R\$ 7,1 bilhões**. Disponível em <[http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Reserva%20\(2014\)/Leil%C3%A3odeEnergiaDeReserva2014atraiinvestimentosdeR\\$7,1bi.aspx](http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Reserva%20(2014)/Leil%C3%A3odeEnergiaDeReserva2014atraiinvestimentosdeR$7,1bi.aspx)>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE de 03/11/2014. Acessado em 12/12/2014.

EPE. **Leilão de energia para 2014 contrata 51 usinas, somando 2.744 MW**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110817_1.pdf>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE de 17/08/2011. Acessado em 07/11/2013.

EPE. **Leilão de energia para 2016 contrata 1.211,5 MW de 42 projetos de geração**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/imprensa/pressreleases/20111220_1.pdf>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE de 20/12/2011. Acessado em 07/11/2013.

EPE. **Leilão de energia para 2017 contrata 968,6 MW de 22 usinas**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%B5es%202014/INFORME%20%C3%80%20IMPrensa04A3b.pdf>>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE de 09/06/2014. Acessado em 11/12/2014.

EPE. **Leilão de Fontes Alternativas 2015: 570 projetos cadastrados**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Fontes%20Alternativas%202015/570projetoss%C3%A3ocadastradosparaoleil%C3%A3odeFontesAlternativas2015.aspx>>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE de 08/12/2014. Acessado em 12/12/2014.

EPE. **Leilão de geração para 2017 contrata usinas hidrelétricas e parques eólicos**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20121214_1.pdf>. Informe da Empresa de Pesquisa Energética – EPE de 14/12/2012. Acessado em 07/11/2013.

EPIA. **Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector.**, Publicação da European Photovoltaic Industry Association, setembro de 2011. Disponível em <http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Competing_Full_Report.pdf>. Acessado em 27/11/2014.

ESPANHA. **Nuevo Real Decreto 436/2004 Generación Eléctrica em Régimen Especial**. Disponível em <http://pels.edv.uniovi.es/pels/pels/Pdf/Seminarios/Sevilla/04%20Nuevo_RD436_2004.pdf>. Acessado em 24/07/2014.

ESPANHA. **Real Decreto 2818/1998**. Disponível em <<http://www.boe.es/boe/dias/1998/12/30/pdfs/A44077-44089.pdf>>. Acessado em 24/07/2014.

HOMER. **The Micropower Optimization Model**. v. 2.81, Copyright © 2010 Homer Energy.

IEA - International Energy Agency. **Key World Energy Statistic 2013**. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>>. Acessado em 17/11/2014.

KELLIHER, C. F., MAHONEY, L. S.. **Using Monte Carlo Simulation to Improve Long-term Investment Decisions**. The Appraisal Journal, Chicago, v. 68, n. 1, p. 44-56, Jan. 2000.

KREWITT, W.; NITSCH, J. **The German Renewable Energy Sources Act—an investment into the future pays off already today**. Renewable Energy 28 (2003), p. 533-542.

LA ROVERE, E. L., **Conservação de Energia em sua Concepção Mais Ampla: Estilos de Desenvolvimento a Baixo Perfil de Consumo de Energia**. Economia e Tecnologia da Energia. Editora Marco Zero/FINEP, 1985, p. 474-489.

LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, PROCEL, PW Editores, 1997.

LANG, M; MUTSCHLER, U. **German Feed-in Tariffs 2014 (01-07)**. Disponível em <http://www.germanenergyblog.de/?page_id=16376>. Acessado em 09/07/2014.

LAUBER, V.; MEZ, L. **Three Decades of Renewable Electricity Policies in Germany**. Energy & Environment. Vol. 15, n^o 4 (2004), p. 599-623.

MACÊDO, W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor (FDI) aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR)**. Tese de Doutorado, USP, 2006.

MACÊDO, W. N., et al. **The First Grid-Connected PV Application in the Amazon Region**. 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valência, Spain, (2008) 3468-3471.

MAURENTE, A. J. S.. **Utilização do Método de Monte Carlo na Resolução de Problemas de Transferência de Calor por Radiação em Cavidades que contém Meio Participante**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

McLEAN-CONNER, P. **Energy Efficiency Principles and Practices**, PennWell Corporation, 2009, p. 3.

MENDONÇA, M.; CORRE, J. **Success Story: Feed-In Tariffs Support Renewable Energy in Germany**. Disponível em <http://www.e-parl.net/eparliament/pdf/080603%20FIT%20toolkit.pdf>. Acessado em 15/03/2014.

MME. **Relatório de Acompanhamento de Expansão da Oferta de Geração, 2009**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/galerias/arquivos/apresentacao/Situaxo_usinas_PROINFA_AGO-2009.pdf>. Acessado em 05/08/2014.

MODE, C. J.. **Applications of Monte Carlo Methods in Biology, Medicine and Other Fields of Science**. Intech Open Access Publisher, 2011.

MUN, J. **Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting, and Optimization Techniques**, p. 39-40. John & Wiley Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.

ORACLE. **Oracle Cristal Ball Software from Oracle**, 2010.

PARKINSON, G. **Deutsche Bank predicts second solar “gold-rush”**. Disponível em <<http://reneweconomy.com.au/2014/deutsche-bank-predicts-second-solar-gold-rush-40084>>. Acessado em 27/06/2014.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU S. L.; RÜTHER R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE, 2006.

PEREIRA, E. J. S.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. **Methodology of Risk Analysis by Monte Carlo Method Applied to Power Generation with Renewable Energy**. *Renewable Energy* 69 (2014), p. 347. – 355.

PINHO, J. T., et al. CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Publicação do CEPEL/CRESESB de março de 2014. p.331-332. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acessado em 02/12/2014.

POWER TECHNOLOGY. **Alta Wind Energy Center (AWEC), California, United States of America**. Disponível em <<http://www.power-technology.com/projects/alta-wind-energy-center-awec-california/>>. Acessado em 10/11/2014.

PUTTEN, A. B. Van; MACMILLAN, I. C.. **Making Real Options Really Work**. *Harvard Business Review*, vol. 82, n. 12, p. 134-141, 2004.

PV MAGAZINE. Disponível em <<http://www.pv-magazine.com/services/feed-in-tariffs/feed-in-tariffs-for-various-countries/#spain#ixzz2qgEFLrMI>>. Acessado em 10/07/2014.

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A.; ROMERO, F. C. **Descrição e Análise de Inversores Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013, p. 36-37.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century – Renewables Global Status Report 2012**. Junho de 2012. Disponível em <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf>. Acessado em 06/07/2014.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century – Renewables Global Status Report 2013**. Junho de 2013. Disponível em <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf>. Acessado em 06/07/2014.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century – Renewables Global Status Report 2014**. Junho de 2014. Disponível em http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf. Acessado em 06/07/2014.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century – Renewables Global Status Report 2011**. Junho de 2011. Disponível em <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2011_FINAL.pdf>. Acessado em 06/07/2014.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century – Renewables Global Status Report 2010**. Junho de 2010. Disponível em <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf>. Acessado em 06/07/2014.

RENO. **Probabilistic Event and Risk Analysis Software**. Copyright © 2011 Reliasoft Corporation.

RETSCREEN. **Clean Energy Project Analysis Software**. Copyright © Minister of Natural Resources Canada, 2010.

SAVENIJE, D. **Wind energy reaches grid parity—without subsidies**. Disponível em <<http://www.utilitydive.com/news/wind-energy-reaches-grid-paritywithout-subsidies/248313/>>. Publicação Bloomberg New Energy Finance em 07/04/2014. Acessado em 27/06/2014.

SCHACHINGER, M. **PVXchange Module Price Index –October 2014**. PV Magazine – Photovoltaic Markets & Technology. Disponível em <<http://www.pv-magazine.com/investors/module-price-index/#axzz369FmRFxy>>. Acessado em 28/06/2014.

SHAHAN, Z. **Commercial Solar Grid Parity Now Reality In Italy, Germany, & Spain**. Disponível em <<http://cleantechnica.com/2014/03/24/italy-spain-germany-hit-commercial-solar-grid-parity-2013/>>. Acessado em 27/06/2014.

SHEN, F. **China Reduces Solar Subsidy on Declining Costs of Components**. Bloomberg L. P. 2014. Disponível em <<http://www.bloomberg.com/news/2012-05-03/china-cuts-subsidies-for-solar-projects-21-on-declining-costs.html>>. Acessado em 16/12/2014.

SIANG, C. C. **China's Medium to Long-Term Renewable Energy Development Plan – Promotion of Bio-ethanol Introduction and Future Strategic Developments**. 2007.

SMART, S. B.; MEGGINSON, W. L.; GITMAN, L. J.. **Corporate Finance**. Manson: Thomson/South-Western, 2004.

SOARES, J. A. R.. **Análise de Risco, Segundo o Método de Monte Carlo, Aplicada à Modelagem Financeira de Empresas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

UNITED STATES OF AMERICA, **National Energy Conservation Policy Act of 1978**. Public Law 95-619 – NOV. 9, 1978. Disponível em <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/STATUTE-92/pdf/STATUTE-92-Pg3206.pdf>>. Acessado em 25/07/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **Alternative Price Report, July 2014**. p. 3. Disponível em <<http://www.afdc.energy.gov/fuels/prices.html>>. Energy Efficiency & Renewable Energy. U. S. Department of Energy. Acessado em 28/06/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **California Solar Initiative - Statewide Trigger Tracker, 2014**. Disponível em <<http://www.csi-trigger.com/>>. Acessado em 17/12/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **California Solar Initiative of 2006 - Statewide Trigger Tracker**. Disponível em <<http://www.csi-trigger.com/>>. Acessado em 16/12/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **Energy Policy Act of 1992**. Public Law 102-486, 106 Stat. 2776. Disponível em <<http://www.usbr.gov/power/legislation/epa92.pdf>>. Acessado em 25/07/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **Energy Provisions – National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2009**. Public Law 110-417—OCT. 14,2008. Disponível em <http://www.dod.mil/dodgc/olc/docs/2009NDA_PL110-417.pdf>. Acessado em 25/11/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **Energy Star Program of 1992**. Programa da Agência Americana para Proteção do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.energystar.gov/about/>>. Acessado em 25/07/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **Federal Incentives for Wind Power Deployment**. U. S. Energy Department. Informativo de maio de 2011. Disponível em <<http://www1.eere.energy.gov/wind/pdfs/51452.pdf>>. Acessado em 25/07/2014.

UNITED STATES OF AMERICA. **PURPA - Federal Public Utility Regulatory Policy Act of 1978**. Disponível em <<http://www.usbr.gov/power/legislation/purpa.pdf>>. Acessado em 26/07/2014.

VOSE SOFTWARE. **Model Risk 3.0 from Vose Software**, 2010.

VOSE, D.. **Risk Analysis: a Quantitative Guide**. John Wiley & Sons Ltd., 3rd ed., 2008.

WEO. **IEA Analysis of Fossil-Fuel Subsidies**. Publicação da *International Energy Agency* (IEA) de outubro de 2011. Disponível em <http://www.iea.org/media/weowebiste/energysubsidies/ff_subsidies_slides.pdf>. Acessado em 07/11/2014.

WEO. **World Energy Outlook 2012**. Publicação da *International Energy Agency* (IEA) de 2012. Disponível em http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf. Acessado em 19/11/2014.

WEO2010. **World Energy Outlook 2010 – Sumário Executivo**. Publicação da International Energy Agency (IEA). Disponível em http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2010/weo2010_es_portuguese.pdf. Acessado em 19/11/2014.

WEO2013. **World Energy Outlook 2013 – Executive Summary**. Publicação da International Energy Agency (IEA). Disponível em <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2013SUM.pdf>. Acessado em 19/11/2014.

WICHT, H. **Solar PV Cost per Watt below \$1 by Q1 2012**. HIS iSuppli Photovoltaic Service. Disponível em <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/06/solar-pv-cost-per-watt-below-1>. Acessado em 14/03/2014.

WOODS, L. **China Introduces Regional Solar Tariff Zones**. PV Tech Technology Journal. Disponível em http://www.pv-tech.org/news/china_introduces_tariff_zones_6478. Acessado em 16/12/2014.

WORSTALL, T.. **Renewables Get 25 Times The Subsidy That Fossil Fuels Do**. Disponível em <http://www.forbes.com/sites/timworstall/2013/11/13/renewables-get-25-times-the-subsidy-that-fossil-fuels-do/#>. Acessado em 15/11/2014.

YORIYAZ, H.. **Método de Monte Carlo: Princípios e Aplicações em Física Médica**. Revista Brasileira de Física Médica, vol. 3, n. 1, p. 141-149, 2009.

APÊNDICE A

Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE

Levantamento de Carga – Padrões de Consumo

1) Padrão Otimista

Ambiente	Carga	Pot. (W)	Qtd	Pot. Tot. (W)	Horas / Dia	Dias / Sem.	Consumo Médio (Wh/dia)	Consumo Médio (Ah/dia)	Consumo Médio Corrigido (Ah/dia)
Sala de Professor 1	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	592	1	592	2	5	845,71	19,58	23,49
	Lâmp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 2	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	592	1	592	2	5	845,71	19,58	23,49
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 3	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	592	1	592	2	5	845,71	19,58	23,49
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 4	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	592	1	592	2	5	845,71	19,58	23,49
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 5	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40

	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	592	1	592	2	5	845,71	19,58	23,49
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 6	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	592	1	592	2	5	845,71	19,58	23,49
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 7	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	751	1	751	2	5	1072,86	24,83	29,80
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Alunos 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	3	5	925,71	21,43	25,71
	Computador	200	10	2000	4	5	5714,29	132,28	158,73
	Impressora	20	2	40	1	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	2190	1	2190	2	5	3128,57	72,42	86,90
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Alunos 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	3	5	925,71	21,43	25,71
	Computador	200	10	2000	4	5	5714,29	132,28	158,73
	Impressora	20	2	40	1	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	2190	1	2190	2	5	3128,57	72,42	86,90
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Aulas 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	2	246,86	5,71	6,86
	Computador	200	10	2000	2	2	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	2	40	1	2	11,43	0,26	0,32
	Tomada Livre	100	2	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Cond. de Ar	2190	1	2190	2	2	1251,43	28,97	34,76
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Aulas 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	2	246,86	5,71	6,86
	TV LCD	150	1	150	1	2	42,86	0,99	1,19
	DVD	20	1	20	1	2	5,71	0,13	0,16
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Tomada Livre	100	2	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Cond. de Ar	2190	1	2190	2	2	1251,43	28,97	34,76
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Biblioteca	FH 28 W/21-	28	10	280	2	5	400,00	9,26	11,11

	840								
	Computador	200	2	400	10	5	2857,14	66,14	79,37
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	1616	1	1616	4	5	4617,14	106,88	128,25
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Auditório	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	2	246,86	5,71	6,86
	TV LCD	150	1	150	1	1	21,43	0,50	0,60
	DVD	20	1	20	1	1	2,86	0,07	0,08
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Tomada Livre	100	3	300	2	2	171,43	3,97	4,76
	Cond. de Ar	3230	2	6460	2	2	3691,43	85,45	102,54
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Copa	FH 28 W/21-840	28	6	168	2	5	240,00	5,56	6,67
	Geladeira	100	1	100	10	7	1000,00	23,15	27,78
	Forno a Microondas	1300	1	1300	1	2	371,43	8,60	10,32
	Filtro	40	1	40	10	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Comput	FQ 54 W/21-840	54	12	648	6	3	1666,29	38,57	46,29
	Computador	200	10	2000	4	3	3428,57	79,37	95,24
	Impressora	20	2	40	1	3	17,14	0,40	0,48
	Tomada Livre	100	2	200	4	3	342,86	7,94	9,52
	Cond. de Ar	2190	1	2190	4	3	3754,29	86,90	104,29
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Hall	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	5	160,00	3,70	4,44
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
Secretaria	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Fotocopiadora	200	1	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Fax	30	1	30	1	5	21,43	0,50	0,60
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Coordenação	FH 28 W/21-840	28	10	280	2	5	400,00	9,26	11,11
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					

Sala de Reuniões	FH 28 W/21-840	28	8	224	1	3	96,00	2,22	2,67
	Tomada Livre	100	4	400	1	3	171,43	3,97	4,76
	Cond. de Ar	751	1	751	1	3	321,86	7,45	8,94
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Banheiro Masculino	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	7	224,00	5,19	6,22
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Banheiro Feminino	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	7	224,00	5,19	6,22
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Laboratório Conforto Térmico	FQ 54 W/21-840	54	10	540	2	5	771,43	17,86	21,43
	Tomada Livre	100	3	300	2	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	2007	2	4014	2	5	5734,29	132,74	159,29
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	2	5	857,14		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Laboratório Energia Solar	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	3	300	2	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	2007	1	2007	2	5	2867,14	66,37	79,64
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	2	5	857,14		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Laboratório Eficiência Energética	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	3	300	2	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	2	5	857,14		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Laboratório Energia Eólica	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	3	300	2	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	2007	1	2007	2	5	2867,14	66,37	79,64
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	2	5	857,14		
	Lamp.	16	1	16					

	Emergência								
Laboratório Qualidade de Energia	FQ 54 W/21- 840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	3	300	2	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	1616	2	3232	2	5	4617,14	106,88	128,25
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Equipamentos	600	1	600	2	5	857,14	19,84	23,81
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Monitoração e Controle	FQ 54 W/21- 840	54	10	540	2	5	771,43	17,86	21,43
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	2007	1	2007	12	7	24084,00	557,50	669,00
	Computador	200	1	200	24	7	4800,00	111,11	133,33
	Equipamentos	300	1	300	24	7	7200,00	166,67	200,00
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Almoxarifado	FQ 54 W/21- 840	54	6	324	1	5	231,43	5,36	6,43
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
Oficina Mecânica	FQ 54 W/21- 840	54	22	1188	2	5	1697,14	39,29	47,14
	Tomada Livre	100	4	400	2	5	571,43	13,23	15,87
	Esmeril	300	1	300	1	2	85,71	1,98	2,38
	Compressor de Ar	745	1	745	1	2	212,86	4,93	5,91
	Torno	500	1	500	1	2	142,86	3,31	3,97
	Furadeira	500	1	500	1	2	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	2007	2	4014	2	5	5734,29	132,74	159,29
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Oficina Eletrônica	FQ 54 W/21- 840	54	18	972	2	5	1388,57	32,14	38,57
	Computador	200	1	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	6	600	2	5	857,14	19,84	23,81
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Central de Energia	FQ 54 W/21- 840	54	4	216	1	5	154,29	3,57	4,29
	Tomada Livre	100	1	100	1	5	71,43	1,65	1,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 1	FQ 54 W/21- 840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 2	FQ 54 W/21- 840	54	2	108	2	5	154,29	3,57	4,29
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					

Corredor 3	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	5	617,14	14,29	17,14
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 4	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Área Central de Circulação	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
Vice-coordenação	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					

TOTALIZAÇÃO

Consumo Integral (kWh/dia)	164,791	Potência Total (kW)	93,816
Custo Mensal (R\$)	2059,89	Potência Total apenas Lâmpadas Fluorescentes (kW)	14,00
Consumo apenas com Condicionador de Ar (kWh/dia)	84,74	Potência Total apenas Equipamentos Exceto Condicionador de Ar (kW)	21,435
Custo Mensal (R\$)	1059,23	Potência Total apenas Condicionador de Ar (kW)	49,441
Consumo Apenas das Lâmpadas (kWh/dia)	20,188	Potência Total apenas Tomadas Livres (kW)	8,400
Custo Mensal (R\$)	252,35	Potência Total apenas Lâmpadas de Emergência (kW)	0,544
Consumo apenas com Computadores (kWh/dia)	37,9	Cargas Prioritárias (kW)	27,596
Consumo Iluminação + Computadores (kWh/dia)	58,074		

2) Padrão Realista

Ambiente	Carga	Pot. (W)	Qtd	Pot. Tot. (W)	Horas / Dia	Dias / Sem.	Consumo Médio (Wh/dia)	Consumo Médio (Ah/dia)	Consumo Médio Corrigido (Ah/dia)
Sala de Professor 1	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	592	1	592	4	5	1691,43	39,15	46,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 2	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	592	1	592	4	5	1691,43	39,15	46,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 3	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	592	1	592	4	5	1691,43	39,15	46,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 4	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	592	1	592	4	5	1691,43	39,15	46,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 5	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	592	1	592	4	5	1691,43	39,15	46,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 6	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	592	1	592	4	5	1691,43	39,15	46,98
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 7	FH 28 W/21-840	28	8	224	5	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94

	Cond. de Ar	751	1	751	4	5	2145,71	49,67	59,60
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Alunos 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	5	5	1542,86	35,71	42,86
	Computador	200	10	2000	6	5	8571,43	198,41	238,10
	Impressora	20	2	40	3	5	85,71	1,98	2,38
	Tomada Livre	100	2	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	2190	1	2190	6	5	9385,71	217,26	260,71
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Alunos 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	5	5	1542,86	35,71	42,86
	Computador	200	10	2000	6	5	8571,43	198,41	238,10
	Impressora	20	2	40	3	5	85,71	1,98	2,38
	Tomada Livre	100	2	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Cond. de Ar	2190	1	2190	6	5	9385,71	217,26	260,71
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Aulas 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	2	493,71	11,43	13,71
	Computador	200	10	2000	4	2	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	2	40	1	2	11,43	0,26	0,32
	Tomada Livre	100	2	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Cond. de Ar	2190	1	2190	4	2	2502,86	57,94	69,52
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Aulas 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	2	493,71	11,43	13,71
	TV LCD	150	1	150	2	2	85,71	1,98	2,38
	DVD	20	1	20	2	2	11,43	0,26	0,32
	Computador	200	1	200	4	2	228,57	5,29	6,35
	Tomada Livre	100	2	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Cond. de Ar	2190	1	2190	4	2	2502,86	57,94	69,52
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Biblioteca	FH 28 W/21-840	28	10	280	4	5	800,00	18,52	22,22
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Auditório	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	2	493,71	11,43	13,71
	TV LCD	150	1	150	2	1	42,86	0,99	1,19
	DVD	20	1	20	2	1	5,71	0,13	0,16
	Computador	200	1	200	4	2	228,57	5,29	6,35
	Tomada Livre	100	3	300	4	2	342,86	7,94	9,52
	Cond. de Ar	3230	2	6460	4	2	7382,86	170,90	205,08
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Copa	FH 28 W/21-840	28	6	168	4	5	480,00	11,11	13,33
	Geladeira	100	1	100	10	7	1000,00	23,15	27,78
	Forno a Microondas	1300	1	1300	1	2	371,43	8,60	10,32

	Filtro	40	1	40	10	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Comput	FQ 54 W/21-840	54	12	648	8	3	2221,71	51,43	61,71
	Computador	200	10	2000	6	3	5142,86	119,05	142,86
	Impressora	20	2	40	2	3	34,29	0,79	0,95
	Tomada Livre	100	2	200	6	3	514,29	11,90	14,29
	Cond. de Ar	2190	1	2190	4	3	3754,29	86,90	104,29
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Hall	FH 28 W/21-840	28	4	112	4	5	320,00	7,41	8,89
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
Secretaria	FH 28 W/21-840	28	8	224	3	5	480,00	11,11	13,33
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Fotocopiadora	200	1	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Fax	30	1	30	1	5	21,43	0,50	0,60
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	1616	1	1616	4	5	4617,14	106,88	128,25
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Coordenação	FH 28 W/21-840	28	10	280	3	5	600,00	13,89	16,67
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Reuniões	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	3	192,00	4,44	5,33
	Tomada Livre	100	4	400	2	3	342,86	7,94	9,52
	Cond. de Ar	751	1	751	1	3	321,86	7,45	8,94
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Banheiro Masculino	FH 28 W/21-840	28	4	112	4	7	448,00	10,37	12,44
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Banheiro Feminino	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	7	224,00	5,19	6,22
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Conforto Térmico	FQ 54 W/21-840	54	10	540	4	5	1542,86	35,71	42,86
	Tomada Livre	100	3	300	4	5	857,14	19,84	23,81
	Cond. de Ar	2007	2	4014	4	5	11468,57	265,48	318,57
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	3	5	1285,71		
	Lamp. Emergência	16	1	16					

Lab. Solar	FQ 54 W/21-840	54	12	648	4	5	1851,43	42,86	51,43
	Tomada Livre	100	3	300	4	5	857,14	19,84	23,81
	Cond. de Ar	2007	1	2007	4	5	5734,29	132,74	159,29
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	3	5	1285,71		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Eficiência Energética	FQ 54 W/21-840	54	12	648	4	5	1851,43	42,86	51,43
	Tomada Livre	100	3	300	4	5	857,14	19,84	23,81
	Cond. de Ar	1616	1	1616	4	5	4617,14	106,88	128,25
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	3	5	1285,71		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Eólica	FQ 54 W/21-840	54	12	648	4	5	1851,43	42,86	51,43
	Tomada Livre	100	3	300	4	5	857,14	19,84	23,81
	Cond. de Ar	2007	1	2007	4	5	5734,29	132,74	159,29
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	3	5	1285,71		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Qualidade de Energia	FQ 54 W/21-840	54	12	648	4	5	1851,43	42,86	51,43
	Tomada Livre	100	3	300	4	5	857,14	19,84	23,81
	Cond. de Ar	1616	2	3232	4	5	9234,29	213,76	256,51
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Equipamentos	600	1	600	3	5	1285,71	29,76	35,71
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala Monitoração e Controle	FQ 54 W/21-840	54	10	540	3	5	1157,14	26,79	32,14
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	2007	1	2007	12	7	24084,00	557,50	669,00
	Computador	200	1	200	24	7	4800,00	111,11	133,33
	Equipamentos	300	1	300	24	7	7200,00	166,67	200,00
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Almoxarifado	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
Oficina Mecânica	FQ 54 W/21-840	54	22	1188	4	5	3394,29	78,57	94,29
	Tomada Livre	100	4	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Esmeril	300	1	300	1	2	85,71	1,98	2,38
	Compressor de Ar	745	1	745	1	2	212,86	4,93	5,91
	Torno	500	1	500	1	2	142,86	3,31	3,97
	Furadeira	500	1	500	2	2	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	2007	2	4014	4	5	11468,57	265,48	318,57
	Lamp. Emergência	16	1	16					

Oficina Eletrônica	FQ 54 W/21-840	54	18	972	4	5	2777,14	64,29	77,14
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Tomada Livre	100	6	600	4	5	1714,29	39,68	47,62
	Cond. de Ar	1616	1	1616	4	5	4617,14	106,88	128,25
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Central de Energia	FQ 54 W/21-840	54	4	216	2	5	308,57	7,14	8,57
	Tomada Livre	100	1	100	2	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 1	FQ 54 W/21-840	54	6	324	4	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	4	5	308,57	7,14	8,57
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 3	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	5	1234,29	28,57	34,29
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 4	FQ 54 W/21-840	54	6	324	4	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Área Central de Circulação	FQ 54 W/21-840	54	6	324	4	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
Vice-coordenação	FH 28 W/21-840	28	8	224	3	5	480,00	11,11	13,33
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Cond. de Ar	1616	1	1616	2	5	2308,57	53,44	64,13
	Lamp. Emergência	16	1	16					

TOTALIZAÇÃO

Consumo Integral (kWh/dia)	257,681	Potência Total (kW)	93,816
Custo Mensal (R\$)	3221,02	Potência Total Apenas Lâmpadas Fluorescentes (kW)	14,00
Consumo Apenas dos Condicionadores de Ar (kWh/dia)	136,03	Potência Total Apenas Equipamentos Exceto Condicionador de Ar (kW)	21,435
Custo Mensal (R\$)	1700,39	Potência Total Apenas Condicionador de Ar (kW)	49,441
Consumo Apenas das Lâmpadas (kWh/dia)	38,64	Potência Total Apenas Tomadas Livres (kW)	8,400
Custo Mensal (R\$)	482,98	Potência Total Apenas Lâmpadas de Emergência (kW)	0,544
Consumo apenas Computadores (kWh/dia)	52,5	Cargas Prioritárias (kW)	27,60
Consumo Iluminação + Computadores (kWh/dia)	91,181		

3) Padrão Pessimista

Ambiente	Carga	Pot. (W)	Qtd	Pot. Tot. (W)	Horas / Dia	Dias / Sem.	Consumo Médio (Wh/dia)	Consumo Médio (Ah/dia)	Consumo Médio Corrigido (Ah/dia)
Sala de Professor 1	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	592	1	592	8	5	3382,86	78,31	93,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 2	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	592	1	592	8	5	3382,86	78,31	93,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 3	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	592	1	592	8	5	3382,86	78,31	93,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 4	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	592	1	592	8	5	3382,86	78,31	93,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 5	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	592	1	592	8	5	3382,86	78,31	93,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 6	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59

	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	592	1	592	8	5	3382,86	78,31	93,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Professor 7	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	751	1	751	8	5	4291,43	99,34	119,21
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Alunos 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	8	5	2468,57	57,14	68,57
	Computador	200	10	2000	10	5	14285,71	330,69	396,83
	Impressora	20	2	40	6	5	171,43	3,97	4,76
	Tomada Livre	100	2	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Condicionador de Ar	2190	1	2190	10	5	15642,86	362,10	434,52
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Alunos 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	8	5	2468,57	57,14	68,57
	Computador	200	10	2000	10	5	14285,71	330,69	396,83
	Impressora	20	2	40	6	5	171,43	3,97	4,76
	Tomada Livre	100	2	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Condicionador de Ar	2190	1	2190	10	5	15642,86	362,10	434,52
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Aulas 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	4	987,43	22,86	27,43
	Computador	200	10	2000	4	4	4571,43	105,82	126,98
	Impressora	20	2	40	1	4	22,86	0,53	0,63
	Tomada Livre	100	2	200	2	4	228,57	5,29	6,35
	Condicionador de Ar	2190	1	2190	4	4	5005,71	115,87	139,05
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Aulas 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	4	987,43	22,86	27,43
	TV LCD	150	1	150	2	4	171,43	3,97	4,76
	DVD	20	1	20	2	4	22,86	0,53	0,63
	Computador	200	1	200	4	4	457,14	10,58	12,70
	Tomada Livre	100	2	200	2	4	228,57	5,29	6,35
	Condicionador de Ar	2190	1	2190	4	4	5005,71	115,87	139,05
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Biblioteca	FH 28 W/21-840	28	10	280	8	5	1600,00	37,04	44,44
	Computador	200	2	400	8	5	2285,71	52,91	63,49
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40

	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Condicionador de Ar	1616	1	1616	8	5	9234,29	213,76	256,51
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Auditório	FQ 54 W/21-840	54	8	432	4	4	987,43	22,86	27,43
	TV LCD	150	1	150	2	2	85,71	1,98	2,38
	DVD	20	1	20	2	2	11,43	0,26	0,32
	Computador	200	1	200	4	4	457,14	10,58	12,70
	Tomada Livre	100	3	300	4	4	685,71	15,87	19,05
	Condicionador de Ar	3230	2	6460	4	4	14765,71	341,80	410,16
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Copa	FH 28 W/21-840	28	6	168	4	5	480,00	11,11	13,33
	Geladeira	100	1	100	10	7	1000,00	23,15	27,78
	Forno a Microondas	1300	1	1300	1	2	371,43	8,60	10,32
	Filtro	40	1	40	10	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala de Comput	FQ 54 W/21-840	54	12	648	10	3	2777,14	64,29	77,14
	Computador	200	10	2000	10	3	8571,43	198,41	238,10
	Impressora	20	2	40	4	3	68,57	1,59	1,90
	Tomada Livre	100	2	200	8	3	685,71	15,87	19,05
	Condicionador de Ar	2190	1	2190	10	3	9385,71	217,26	260,71
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Hall	FH 28 W/21-840	28	4	112	6	5	480,00	11,11	13,33
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
Secretaria	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	4	5	57,14	1,32	1,59
	Fotocopiadora	200	1	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Fax	30	1	30	1	5	21,43	0,50	0,60
	Tomada Livre	100	2	200	5	5	714,29	16,53	19,84
	Condicionador de Ar	1616	1	1616	8	5	9234,29	213,76	256,51
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Coordenação	FH 28 W/21-840	28	10	280	8	5	1600,00	37,04	44,44
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Condicionador de Ar	1616	1	1616	8	5	9234,29	213,76	256,51
	Lamp. Emergência	16	1	16					

Sala de Reuniões	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Tomada Livre	100	4	400	2	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	751	1	751	2	5	1072,86	24,83	29,80
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Banheiro Masculino	FH 28 W/21-840	28	4	112	4	7	448,00	10,37	12,44
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Banheiro Feminino	FH 28 W/21-840	28	4	112	4	7	448,00	10,37	12,44
	Tomada Livre	100	1	100	1	3	42,86	0,99	1,19
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Conforto Térmico	FQ 54 W/21-840	54	10	540	10	5	3857,14	89,29	107,14
	Tomada Livre	100	3	300	6	5	1285,71	29,76	35,71
	Condicionador de Ar	2007	2	4014	8	5	22937,14	530,95	637,14
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	6	5	2571,43		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Solar	FQ 54 W/21-840	54	12	648	10	5	4628,57	107,14	128,57
	Tomada Livre	100	3	300	6	5	1285,71	29,76	35,71
	Condicionador de Ar	2007	1	2007	8	5	11468,57	265,48	318,57
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	6	5	2571,43		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Eficiência Energética	FQ 54 W/21-840	54	12	648	10	5	4628,57	107,14	128,57
	Tomada Livre	100	3	300	6	5	1285,71	29,76	35,71
	Condicionador de Ar	1616	1	1616	8	5	9234,29	213,76	256,51
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	6	5	2571,43		
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Lab. Eólica	FQ 54 W/21-840	54	12	648	10	5	4628,57	107,14	128,57
	Tomada Livre	100	3	300	6	5	1285,71	29,76	35,71
	Condicionador de Ar	2007	1	2007	8	5	11468,57	265,48	318,57
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	1	600	6	5	2571,43		
	Lamp.	16	1	16					

	Emergência								
Lab. Qualidade de Energia	FQ 54 W/21-840	54	12	648	10	5	4628,57	107,14	128,57
	Tomada Livre	100	3	300	6	5	1285,71	29,76	35,71
	Condicionador de Ar	1616	2	3232	8	5	18468,57	427,51	513,02
	Computador	200	1	200	10	5	1428,57	33,07	39,68
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Equipamentos	600	1	600	6	5	2571,43	59,52	71,43
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Sala Monitoração e Controle	FQ 54 W/21-840	54	10	540	6	5	2314,29	53,57	64,29
	Tomada Livre	100	2	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Condicionador de Ar	2007	1	2007	12	7	24084,00	557,50	669,00
	Computador	200	1	200	24	7	4800,00	111,11	133,33
	Equipamentos	300	1	300	24	7	7200,00	166,67	200,00
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Almoxarifado	FQ 54 W/21-840	54	6	324	4	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	1	100	1	5	71,43	1,65	1,98
Oficina Mecânica	FQ 54 W/21-840	54	22	1188	8	5	6788,57	157,14	188,57
	Tomada Livre	100	4	400	6	5	1714,29	39,68	47,62
	Esmeril	300	1	300	1	3	128,57	2,98	3,57
	Compressor de Ar	745	1	745	1	3	319,29	7,39	8,87
	Torno	500	1	500	1	3	214,29	4,96	5,95
	Furadeira	500	1	500	2	5	714,29	16,53	19,84
	Condicionador de Ar	2007	2	4014	8	5	22937,14	530,95	637,14
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Oficina Eletrônica	FQ 54 W/21-840	54	18	972	8	5	5554,29	128,57	154,29
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Tomada Livre	100	6	600	6	5	2571,43	59,52	71,43
	Condicionador de Ar	1616	1	1616	8	5	9234,29	213,76	256,51
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Central de Energia	FQ 54 W/21-840	54	4	216	4	5	617,14	14,29	17,14
	Tomada Livre	100	1	100	4	5	285,71	6,61	7,94
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 1	FQ 54 W/21-840	54	6	324	6	5	1388,57	32,14	38,57
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	6	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97

	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 3	FQ 54 W/21-840	54	8	432	6	5	1851,43	42,86	51,43
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Corredor 4	FQ 54 W/21-840	54	6	324	6	5	1388,57	32,14	38,57
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
	Lamp. Emergência	16	1	16					
Área Central de Circulação	FQ 54 W/21-840	54	6	324	6	5	1388,57	32,14	38,57
	Tomada Livre	100	2	200	1	5	142,86	3,31	3,97
Vice-coordenação	FH 28 W/21-840	28	8	224	8	5	1280,00	29,63	35,56
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	2	5	28,57	0,66	0,79
	Tomada Livre	100	2	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Condicionador de Ar	1616	1	1616	8	5	9234,29	213,76	256,51
	Lamp. Emergência	16	1	16					

TOTALIZAÇÃO

Consumo Integral (kWh/dia)	455,213	Potência Total (kW)	93,816
Custo Mensal (R\$)	5690,16	Potência Total Apenas Lâmpadas Fluorescentes (kW)	14,00
Consumo Apenas dos Condicionadores de Ar (kWh/dia)	257,88	Potência Total Apenas Equipamentos Exceto Condicionador de Ar (kW)	21,435
Custo Mensal (R\$)	3223,50	Potência Total Apenas Condicionador de Ar (kW)	49,441
Consumo Apenas das Lâmpadas (kWh/dia)	73,91	Potência Total Apenas Tomadas Livres (kW)	8,400
Custo Mensal (R\$)	923,87	Potência Total Apenas Lâmpadas de Emergência (kW)	0,544
Consumo apenas Computadores (kWh/dia)	77,4	Cargas Prioritárias (kW)	27,60
Consumo Iluminação + Computadores (kWh/dia)	151,338		

4) Padrão Cargas Prioritárias

Ambiente	Carga	Pot. (W)	Qtd	Pot. Tot. (W)	Horas / Dia	Dias / Sem.	Consumo Médio (Wh/dia)	Consumo Médio (Ah/dia)	Consumo Médio Corrigido (Ah/dia)
Sala de Professor 1	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 2	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 3	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 4	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 5	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 6	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00

	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 7	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	2	400	4	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	751	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Alunos 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	3	5	925,71	21,43	25,71
	Computador	200	10	2000	4	5	5714,29	132,28	158,73
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Alunos 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	3	5	925,71	21,43	25,71
	Computador	200	10	2000	4	5	5714,29	132,28	158,73
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Aulas 1	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	2	246,86	5,71	6,86
	Computador	200	10	2000	2	2	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Aulas 2	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	2	246,86	5,71	6,86
	TV LCD	150	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	DVD	20	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Biblioteca	FH 28 W/21-840	28	10	280	2	5	400,00	9,26	11,11
	Computador	200	2	400	10	5	2857,14	66,14	79,37
	Impressora	20	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	3	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	4	5	0,00	0,00	0,00

	Lamp. Emergência	16	0	0					
Auditório	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	2	246,86	5,71	6,86
	TV LCD	150	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00
	DVD	20	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	3230	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Copa	FH 28 W/21-840	28	6	168	2	5	240,00	5,56	6,67
	Geladeira	100	0	0	10	7	0,00	0,00	0,00
	Forno a Microondas	1300	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Filtro	40	0	0	10	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Comput	FQ 54 W/21-840	54	12	648	6	3	1666,29	38,57	46,29
	Computador	200	10	2000	4	3	3428,57	79,37	95,24
	Impressora	20	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	4	3	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	4	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Hall	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	5	160,00	3,70	4,44
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
Secretaria	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Fotocopiadora	200	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Fax	30	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Coordenação	FH 28 W/21-840	28	10	280	2	5	400,00	9,26	11,11
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Reuniões	FH 28 W/21-840	28	8	224	1	3	96,00	2,22	2,67
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	751	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp.	16	0	0					

	Emergência								
Banheiro Masculino	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	7	224,00	5,19	6,22
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Banheiro Feminino	FH 28 W/21-840	28	4	112	2	7	224,00	5,19	6,22
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Conforto Térmico	FQ 54 W/21-840	54	10	540	2	5	771,43	17,86	21,43
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Solar	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Eficiência Energética	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Eólica	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Qualidade de Energia	FQ 54 W/21-840	54	12	648	2	5	925,71	21,43	25,71
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00

	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala Monitoração e Controle	FQ 54 W/21-840	54	10	540	2	5	771,43	17,86	21,43
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	12	7	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	24	7	4800,00	111,11	133,33
	Equipamentos	300	0	0	24	7	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Almoxarifado	FQ 54 W/21-840	54	6	324	1	5	231,43	5,36	6,43
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
Oficina Mecânica	FQ 54 W/21-840	54	22	1188	2	5	1697,14	39,29	47,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Esmeril	300	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Compressor de Ar	745	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Torno	500	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Furadeira	500	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Oficina Eletrônica	FQ 54 W/21-840	54	18	972	2	5	1388,57	32,14	38,57
	Computador	200	1	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Central de Energia	FQ 54 W/21-840	54	4	216	1	5	154,29	3,57	4,29
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 1	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	2	5	154,29	3,57	4,29
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 3	FQ 54 W/21-840	54	8	432	2	5	617,14	14,29	17,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					

Corredor 4	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Área Central de Circulação	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
Vice-coordenação	FH 28 W/21-840	28	8	224	2	5	320,00	7,41	8,89
	Computador	200	1	200	6	5	857,14	19,84	23,81
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					

TOTALIZAÇÃO

Consumo Integral (kWh/dia)	57,645	Potência Total (kW)	27,596
Custo Mensal (R\$)	720,56	Potência Total Apenas Lâmpadas Fluorescentes (kW)	14,00
Consumo Apenas dos Condicionadores de Ar (kWh/dia)	0,00	Potência Total Apenas Equipamentos Exceto Condicionador de Ar (kW)	13,6
Custo Mensal (R\$)	0,00	Potência Total Apenas Condicionador de Ar (kW)	0,000
Consumo Apenas das Lâmpadas (kWh/dia)	19,76	Potência Total Apenas Tomadas Livres (kW)	0,000
Custo Mensal (R\$)	246,99	Potência Total Apenas Lâmpadas de Emergência (kW)	0,000
Consumo apenas Computadores (kWh/dia)	37,9	Cargas Prioritárias (kW)	27,60
Consumo Iluminação + Computadores (kWh/dia)	57,645		

5) Padrão Cargas Prioritárias Reduzidas

Ambiente	Carga	Pot. (W)	Qtd	Pot. Tot. (W)	Horas / Dia	Dias / Sem.	Consumo Médio (Wh/dia)	Consumo Médio (Ah/dia)	Consumo Médio Corrigido (Ah/dia)
Sala de Professor 1	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 2	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 3	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 4	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 5	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 6	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00

	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 7	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	751	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Alunos 1	FQ 54 W/21-840	54	5	259,2	3	5	555,43	12,86	15,43
	Computador	200	3	600	4	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Alunos 2	FQ 54 W/21-840	54	5	259,2	3	5	555,43	12,86	15,43
	Computador	200	3	600	4	5	1714,29	39,68	47,62
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Aulas 1	FQ 54 W/21-840	54	5	259,2	2	2	148,11	3,43	4,11
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Impressora	20	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Aulas 2	FQ 54 W/21-840	54	5	259,2	2	2	148,11	3,43	4,11
	TV LCD	150	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	DVD	20	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Biblioteca	FH 28 W/21-840	28	5	140	2	5	200,00	4,63	5,56
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	3	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	4	5	0,00	0,00	0,00

	Lamp. Emergência	16	0	0					
Auditório	FQ 54 W/21-840	54	4	216	2	2	123,43	2,86	3,43
	TV LCD	150	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00
	DVD	20	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	2	1	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	3230	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Copa	FH 28 W/21-840	28	3	84	2	5	120,00	2,78	3,33
	Geladeira	100	0	0	10	7	0,00	0,00	0,00
	Forno a Microondas	1300	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Filtro	40	0	0	10	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Comput	FQ 54 W/21-840	54	6	324	6	3	833,14	19,29	23,14
	Computador	200	3	600	4	3	1028,57	23,81	28,57
	Impressora	20	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	4	3	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	4	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Hall	FH 28 W/21-840	28	2	56	2	5	80,00	1,85	2,22
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
Secretaria	FH 28 W/21-840	28	3	89,6	2	5	128,00	2,96	3,56
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Fotocopiadora	200	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Fax	30	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Coordenação	FH 28 W/21-840	28	5	140	2	5	200,00	4,63	5,56
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Reuniões	FH 28 W/21-840	28	6	179,2	1	3	76,80	1,78	2,13
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	751	1	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp.	16	0	0					

	Emergência								
Banheiro Masculino	FH 28 W/21-840	28	2	56	2	7	112,00	2,59	3,11
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Banheiro Feminino	FH 28 W/21-840	28	2	56	2	7	112,00	2,59	3,11
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Conforto Térmico	FQ 54 W/21-840	54	5	270	2	5	385,71	8,93	10,71
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Solar	FQ 54 W/21-840	54	7	378	2	5	540,00	12,50	15,00
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Eficiência Energética	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Eólica	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Qualidade de Energia	FQ 54 W/21-840	54	6	324	2	5	462,86	10,71	12,86
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00

	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala Monitoração e Controle	FQ 54 W/21-840	54	4	216	2	5	308,57	7,14	8,57
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	12	7	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	24	7	4800,00	111,11	133,33
	Equipamentos	300	0	0	24	7	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Almoxarifado	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
Oficina Mecânica	FQ 54 W/21-840	54	10	540	2	5	771,43	17,86	21,43
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Esmeril	300	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Compressor de Ar	745	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Torno	500	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Furadeira	500	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Oficina Eletrônica	FQ 54 W/21-840	54	7	388,8	2	5	555,43	12,86	15,43
	Computador	200	1	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Central de Energia	FQ 54 W/21-840	54	1	54	1	5	38,57	0,89	1,07
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 1	FQ 54 W/21-840	54	3	162	2	5	231,43	5,36	6,43
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	2	5	154,29	3,57	4,29
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 3	FQ 54 W/21-840	54	4	216	2	5	308,57	7,14	8,57
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					

Corredor 4	FQ 54 W/21-840	54	3	162	2	5	231,43	5,36	6,43
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Área Central de Circulação	FQ 54 W/21-840	54	3	162	2	5	231,43	5,36	6,43
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
Vice-coordenação	FH 28 W/21-840	28	2	44,8	2	5	64,00	1,48	1,78
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					

TOTALIZAÇÃO

Consumo Integral (kWh/dia)	27,975	Potência Total (kW)	12,786
Custo Mensal (R\$)	349,69	Potência Total Apenas Lâmpadas Fluorescentes (kW)	6,79
Consumo Apenas dos Condicionadores de Ar (kWh/dia)	0,00	Potência Total Apenas Equipamentos Exceto Condicionador de Ar (kW)	6,0
Custo Mensal (R\$)	0,00	Potência Total Apenas Condicionador de Ar (kW)	0,00
Consumo Apenas das Lâmpadas (kWh/dia)	9,58	Potência Total Apenas Tomadas Livres (kW)	0,000
Custo Mensal (R\$)	119,69	Potência Total Apenas Lâmpadas de Emergência (kW)	0,000
Consumo apenas Computadores (kWh/dia)	18,4	Cargas Prioritárias (kW)	12,79
Consumo Iluminação + Computadores (kWh/dia)	27,975		

6) Padrão Mínimo

Ambiente	Carga	Pot. (W)	Qtd	Pot. Tot. (W)	Horas / Dia	Dias / Sem.	Consumo Médio (Wh/dia)	Consumo Médio (Ah/dia)	Consumo Médio Corrigido (Ah/dia)
Sala de Professor 1	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 2	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 3	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 4	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 5	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 6	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00

	Cond. de Ar	592	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Professor 7	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	751	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Alunos 1	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Alunos 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Aulas 1	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Impressora	20	1	20	1	2	5,71	0,13	0,16
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Aulas 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	TV LCD	150	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	DVD	20	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	2	2	114,29	2,65	3,17
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Biblioteca	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	3	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	4	5	0,00	0,00	0,00

	Lamp. Emergência	16	0	0					
Auditório	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	3	46,29	1,07	1,29
	TV LCD	150	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00
	DVD	20	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	2	1	57,14	1,32	1,59
	Tomada Livre	100	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	3230	0	0	2	2	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Copa	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Geladeira	100	0	0	10	7	0,00	0,00	0,00
	Forno a Microondas	1300	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Filtro	40	0	0	10	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Comput	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	3	46,29	1,07	1,29
	Computador	200	1	200	4	3	342,86	7,94	9,52
	Impressora	20	1	20	1	3	8,57	0,20	0,24
	Tomada Livre	100	0	0	4	3	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2190	0	0	4	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Hall	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
Secretaria	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	8	5	1142,86	26,46	31,75
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Fotocopiadora	200	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Fax	30	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Coordenação	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala de Reuniões	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	3	46,29	1,07	1,29
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	751	1	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp.	16	0	0					

	Emergência								
Banheiro Masculino	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Banheiro Feminino	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Conforto Térmico	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Solar	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Eficiência Energética	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Eólica	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29		
	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00		
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Lab. Qualidade de Energia	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	3	5	428,57	9,92	11,90
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40

	Equipamentos	600	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Sala Monitoração e Controle	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	12	7	0,00	0,00	0,00
	Computador	200	1	200	24	7	4800,00	111,11	133,33
	Equipamentos	300	0	0	24	7	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Almoxarifado	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	3	24,00	0,56	0,67
	Tomada Livre	100	0	0	1	3	0,00	0,00	0,00
Oficina Mecânica	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Esmeril	300	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Compressor de Ar	745	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Torno	500	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Furadeira	500	0	0	1	2	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	2007	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Oficina Eletrônica	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Computador	200	1	200	2	5	285,71	6,61	7,94
	Tomada Livre	100	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Central de Energia	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	3	24,00	0,56	0,67
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 1	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 2	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Corredor 3	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					

Corredor 4	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					
Área Central de Circulação	FQ 54 W/21-840	54	2	108	1	5	77,14	1,79	2,14
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
Vice-coordenação	FH 28 W/21-840	28	2	56	1	5	40,00	0,93	1,11
	Computador	200	1	200	4	5	571,43	13,23	15,87
	Impressora	20	1	20	1	5	14,29	0,33	0,40
	Tomada Livre	100	0	0	1	5	0,00	0,00	0,00
	Cond. de Ar	1616	0	0	2	5	0,00	0,00	0,00
	Lamp. Emergência	16	0	0					

TOTALIZAÇÃO

Consumo Integral (kWh/dia)	18,264	Potência Total (kW)	8,364
Custo Mensal (R\$)	228,30	Potência Total Apenas Lâmpadas Fluorescentes (kW)	3,16
Consumo Apenas dos Condicionadores de Ar (kWh/dia)	0,00	Potência Total Apenas Equipamentos Exceto Condicionador de Ar (kW)	5,2
Custo Mensal (R\$)	0,00	Potência Total Apenas Condicionador de Ar (kW)	
Consumo Apenas das Lâmpadas (kWh/dia)	2,135	Potência Total Apenas Tomadas Livres (kW)	0,000
Custo Mensal (R\$)	26,69	Potência Total Apenas Lâmpadas de Emergência (kW)	0,000
Consumo apenas Computadores (kWh/dia)	15,857	Cargas Prioritárias (kW)	7,964
Consumo Iluminação + Computadores (kWh/dia)	17,993	Potência apenas Impressoras (kW)	0,4

APÊNDICE B

TRABALHOS PUBLICADOS

1. PEREIRA, E. J. S.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. **Methodology of Risk Analysis by Monte Carlo Method Applied to Power Generation with Renewable Energy**. *Renewable Energy* 69 (2014), p. 347. – 355.
2. PEREIRA, E. J. S.; CAVALCANTE, R. L.; JÚNIOR, H. S. M.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; PINHO, J. T. **Análise Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede de 3,36 kWp Instalado em Belém, PA**. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES. São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012.