

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Luiz Mauricio Lopes de Andrade Junior

SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA GERAÇÃO DE
ELETRICIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA: UM ENFOQUE MULTICRITERIAL

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Março de 2017

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Luiz Mauricio Lopes de Andrade Junior

SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA GERAÇÃO DE
ELETRICIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA: UM ENFOQUE MULTICRITERIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em
Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes –
Campos/RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. Claudio Luiz Melo de Souza, DSc.

Coorientador: Prof. Milton Erthal Junior, DSc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Março de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

A553s Andrade Júnior, Luiz Mauricio Lopes de.

Seleção de alternativas tecnológicas para geração de eletricidade na pecuária leiteira: um enfoque multicriterial. /. Luiz Mauricio Lopes de Andrade Júnior – 2017.

108 f. il.

Orientador: Milton Erthal Junior

Coorientador: Cláudio Luiz Melo de Souza

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes - Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

Bibliografia: f. 62-63; f.91-93; f.97-106.

1: Analytic Hierarchy Process (AHP). 2. Processo de análise hierárquica. 3. Geração de Eletricidade. 4. Método Borda I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU – 65.012.123: 621.311

LUIZ MAURICIO LOPES DE ANDRADE JUNIOR

SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA GERAÇÃO DE
ELETRICIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA: UM ENFOQUE MULTICRITERIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em
Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes –
Campos/RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada em 17 de março de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Milton Erthal Junior, DSc. – Orientador
Universidade Candido Mendes

Prof. Claudio Luiz Melo de Souza, DSc.
Universidade Candido Mendes

Prof. Helder Gomes Costa, DSc.
Universidade Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2017

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais e à minha irmã pelo apoio, incentivo e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir a realização de mais um sonho em minha vida profissional.

A minha mãe Roseli, ao meu pai Luiz Mauricio e a minha irmã, pelo amor, apoio, motivação e confiança.

Ao orientador Prof. Milton Erthal Junior, pela dedicação, paciência e respeito durante toda a elaboração deste trabalho.

Ao Instituto Federal Fluminense (IFF) pelo incentivo.

A Universidade Candido Mendes de Campos dos Goytacazes (UCAM) e a todos os professores e funcionários do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção.

Aos meus amigos do mestrado pelo companheirismo e parceria em sala/laboratório. As etapas ficaram menos árduas devido a nossa convivência.

Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.

Aldo Novak

RESUMO

SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA: UM ENFOQUE MULTICRITERIAL

A agropecuária é um importante setor da economia brasileira, com participação de 23% no PIB brasileiro, elevando o país a 5ª posição do ranking dos maiores produtores de leite do mundo. A produção leiteira consiste em uma importante fonte de renda e emprego para as famílias que se encontram no campo. A energia elétrica é utilizada no processo de ordenha, na conservação e processamento do leite, higienização, além da irrigação de pastos. A descontinuidade ou instabilidade no fornecimento de energia elétrica implica em redução e prejuízos na produção leiteira, uma vez que sem energia a propriedade não tem como manter o leite a temperatura exigida até a retirada pela empresa de laticínio. Diante dessa problemática, este estudo se propõe a realizar uma análise multicritério para escolha de um sistema alternativo de geração de energia elétrica em propriedades com produção leiteira. Este trabalho utilizou como plano de fundo as propriedades localizadas no município de São Francisco do Itabapoana/RJ. Para elaboração da modelagem, realizou-se um estudo bibliométrico relacionado ao tema, definindo então os critérios e alternativas viáveis para análise. O método *Analytic Hierarchy Process (AHP)* foi aplicado considerando os critérios: econômicos, sociais, ambientais, técnicos e políticos; e as alternativas: sistema fotovoltaico (FV), sistema eólico (EOL), sistema híbrido (HIB) e gerador a diesel (GD). O método Borda foi aplicado para a definição dos pesos dos critérios, segundo o ranking definido por especialistas. Os resultados apontaram o gerador diesel (35,54%) como melhor opção, pois na visão dos especialistas, os critérios técnicos e econômicos possuem o maior peso na análise, e para esses critérios o gerador diesel é a tecnologia mais desenvolvida tecnicamente, com os maiores rendimentos, e apresenta um menor custo de aquisição.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de Eletricidade. Pecuária leiteira. Processo de Análise Hierárquica. Método Borda. Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

ABSTRACT

SELECTION OF TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES FOR THE GENERATION OF ELECTRICITY IN DAIRY CATTLE: A MULTICRITERIAL APPROACH

The agricultural sector is an important sector in the Brazilian economy, comparing with 23% in the Brazilian GDP, raising the country to 5 points in the ranking of the world's largest dairy producers. Milk production is an important source of income and employment for families in the countryside. In this way, the energy requirements, especially an electric energy, are on an increasing trajectory. The electric energy is used in the milking process, in the conservation and processing of milk, hygiene, besides the irrigation of pastures. A discontinuity or instability in the supply of electricity implies reduction and reduction in milk production, since energy is not necessary to keep the milk at a temperature required for a company removed from dairy. In view of this problem, this study proposes to perform a multicriteria analysis for the choice of an alternative system of electric energy generation in dairy production properties. This work has a background as properties located in the municipality of São Francisco do Itabapoana. For the elaboration of the modeling, a bibliometric study related to the subject was defined, defining the criteria and viable alternatives for analysis. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method was applied considering the following criteria: economic, social, environmental, technical and political; And as alternatives: photovoltaic system (PV), wind system (EOL), hybrid system (HIB) and diesel generator (GD). The method of evaluation was applied to a definition of weights of the criteria, according to the ranking defined by specialists. The results indicated the diesel generator (35.54%) as the best option, according to the experts' view, the technical and economic criteria have the greatest weight in the analysis, and the criteria for the diesel generator is a more technically developed technology with the Higher yields, and lower acquisition cost.

KEYWORDS: Generation of Electricity. Dairy farming. Hierarchical Analysis Process. Borda method. Analytic Hierarchy Process (AHP) method

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Figura 1. | Mapa da radiação solar global diária | 25 |
| Figura 2. | Células Fotovoltaicas: (A) Monocristalinas; (B) Policristalinas; (C) Silício Amorfo | 26 |
| Figura 3. | Mapa Eólico brasileiro | 28 |
| Figura 4. | Aerogeradores de eixo vertical (a) e horizontal (b) | 29 |
| Figura 5. | Sistema híbrido composto de painel fotovoltaico, turbina eólica e bateria. | 30 |
| Figura 6. | Esquema simplificado do Sistema Fotovoltaico Isolado. | 31 |
| Figura 7. | Esquema simplificado do Sistema Fotovoltaico Eólico. | 32 |
| Figura 8. | Esquema de um Sistema Fotovoltaico e/ou Eólico Conectado à Rede. | 33 |
| Figura 9. | Modelo de estrutura hierárquica genérica no método AHP. | 68 |
| Figura 10. | Matricial dos Resultados das Comparações. | 70 |
| Figura 11. | Localização de São Francisco de Itabapoana no Rio de Janeiro. | 72 |
| Figura 12. | Estrutura hierárquica do problema: Sistema Fotovoltaico (FV); Sistema Eólico (EOL); Sistema Híbrido (HIB); Gerador a Diesel (GD) | 76 |
| Figura 13. | Matriz de comparação paritária entre os critérios. | 86 |
| Figura 14. | Matrizes de comparação paritária das alternativas à luz de cada critério. | 87 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Gráfico 1. | Potência instalada por fonte em 2014. | 35 |
| Gráfico 2. | Produção leiteira na Região Sudeste. | 44 |
| Gráfico 3. | Cinco maiores produtores de leite de vaca no estado do Rio de Janeiro. | 45 |
| Gráfico 4. | Número de publicações registradas nas bases Scopus e ISI entre os anos de 1997 e 2016. | 49 |
| Gráfico 5. | Análise de publicação por país nas bases SCOPUS e ISI. | 54 |
| Gráfico 6. | Métodos mais aplicados. | 57 |
| Gráfico 7. | Anomalias apontadas pelos produtores de leite da região. | 84 |
| Gráfico 8. | Resumo dos resultados à luz dos critérios. | 88 |
| Gráfico 9. | Resultado final da análise multicritério. | 89 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|------------------|--|----|
| Quadro 1. | Vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos e eólicos On Grid e Off Grid | 34 |
| Quadro 2. | Resumo das metodologias de AMD mais aplicadas na literatura | 38 |
| Quadro 3. | Primeiros artigos publicados sobre o tema na base SCOPUS e ISI | 51 |
| Quadro 4. | Critérios citados nos trabalhos consultados | 60 |
| Quadro 5. | Escala de julgamento de importância do AHP | 69 |
| Quadro 6. | Maquinas e Equipamentos elétricos na área produtiva das propriedades | 74 |
| Quadro 7. | Critérios selecionados para a análise | 75 |
| Quadro 8. | Perfil profissional e acadêmico dos especialistas participantes da pesquisa | 77 |
| Quadro 9. | Ranking geral dos critérios considerando os julgamentos dos especialistas | 79 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabela 1. | Eficiência das células FV comerciais | 26 |
| Tabela 2. | Produção leiteira no Brasil por regiões | 43 |
| Tabela 3. | Periódicos com maior número de publicações | 52 |
| Tabela 4. | Autores com maior número de publicações | 53 |
| Tabela 5. | Cinco artigos mais relevantes ao tema nas bases SCOPUS e ISI | 55 |
| Tabela 6. | Índices de consistência de aleatoriedade | 71 |
| Tabela 7. | Ranking dos critérios por especialista | 78 |
| Tabela 8. | Produção média diária de leite das propriedades visitadas | 82 |
| Tabela 9. | Capacidade de armazenamento dos tanques de refrigeração de leite em litros | 83 |
| Tabela 10. | Equipamentos demandantes de energia elétrica identificados na área de produção e conservação do leite das fazendas | 83 |
| Tabela 11. | Tabela de pagamento obtida para os critérios avaliados para escolha do sistema alternativo de geração de energia elétrica | 85 |
| Tabela 12. | Tabela de pagamento obtida para os critérios avaliados para escolha do sistema alternativo de geração de energia elétrica | 86 |
| Tabela 13. | Índices de consistência dos julgamentos das alternativas à luz de cada critério | 88 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | | |
|-------------------|---|----|
| Equação 1. | Cálculo da Resolução da Matriz. | 70 |
| Equação 2. | Cálculo de Normalização dos Autovetores. | 70 |
| Equação 3. | Cálculo da Relação entre os Critérios da Matriz de Consistência e os Pesos dos Critérios. | 70 |
| Equação 4. | Cálculo do índice de Consistência (IC). | 71 |
| Equação 5. | Cálculo da Razão da Consistência. | 71 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

| | |
|-----------------------|---|
| AC | Alternative Current (corrente alternada) |
| AHP | Analytic Hierarchic Process |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| BEN | Balanco Energético Nacional |
| CEPEL | Centro de Pesquisas de Energia Elétrica |
| DC | Direct Current (corrente contínua) |
| DEA | Data Envelopment Analysis |
| ELECTRE | Elimination Et Choix Traduisant la Réalité |
| EOL | Eólico |
| FV | Fotovoltaico |
| gCO ₂ /kWh | Grama de dióxido de carbono por quilowatt-hora |
| GD | Gerador a Diesel |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GW | Giga Watt |
| HIB | Híbrido |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| Km ³ | Quilômetro cúbico |
| kVA | Quilovolt-ampere |
| kW | Quilowatt |
| kWh | Quilowatt-hora |
| MAUT | Multi-Attribute Utility Theory |
| MJ/m ² | Mega Joule por metro quadrado |
| ml | Mililitro |

| | |
|----------|---|
| MULTIMOO | Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis |
| RA | |
| MWh | Megawatt-hora |
| PCH | Pequenas Centrais Hidroelétricas |
| PNE | Plano Nacional de Energia |
| PO | Pesquisa Operacional |
| PROMETH | Preference ranking organization method for enrichment evaluation |
| EE | |
| RC | Razão de Consistência |
| RN | Resolução Normativa |
| SMART | Specific Measurable Attainable Relevant Time-bound |
| TOPSIS | Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 21 |
| 1.2.1. | Objetivo Geral | 21 |
| 1.2.2. | Objetivos Específicos | 21 |
| 2. | BASE CONCEITUAL | 23 |
| 2.1 | SISTEMAS ALTERNATIVOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | 23 |
| 2.1.1. | Geração Fotovoltaica | 24 |
| 2.1.2. | Geração Eólica | 27 |
| 2.1.3. | Geração Híbrida | 29 |
| 2.2. | MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDAS | 34 |
| 2.3. | ANÁLISE MULTICRITÉRIO E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO | 36 |
| 2.4. | AGROPECUÁRIA E CONSUMO DE ENERGIA | 40 |
| 2.5. | PRODUÇÃO LEITEIRA NO BRASIL | 41 |
| 2.5.1. | Leite do Tipo A | 42 |
| 2.5.2. | Leite do Tipo B | 42 |
| 2.5.3. | Leite do Tipo C | 42 |
| 2.5.4. | Produção de Leite no Brasil | 43 |
| 3. | REVISÃO SISTEMATIZADA DA LITERATURA APLICADA AOS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS E GERAÇÃO ENERGIA ELÉTRICA | 46 |
| 3.1. | RESUMO | 46 |
| 3.2. | INTRODUÇÃO | 46 |
| 3.3. | METODOLOGIA | 48 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.4. | RESULTADOS E DISCURSSÕES | 49 |
| 3.4.1. | Publicações por ano | 49 |
| 3.4.2. | Primeiras Publicações por base | 50 |
| 3.4.3. | Número de Publicações por Periódicos | 52 |
| 3.4.4. | Principais Autores | 52 |
| 3.4.5. | Publicações por Países | 54 |
| 3.4.6. | Artigos Relevantes ao Tema | 55 |
| 3.4.6.1. | A Multidimensional Analysis of Electricity Generation Options with Different Scenarios Inturkey | 56 |
| 3.4.6.2. | A Multi-criteria Analysis Canadian Electricity Supply Futures | 56 |
| 3.4.6.3. | Multi-criteria Analysis of Electricity Generation Technologies in Lithuania. | 56 |
| 3.4.7. | Métodos, Critérios e Subcritérios aplicados | 57 |
| 3.5. | CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 61 |
| 3.6. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 62 |
| 4. | SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS COM PRODUÇÃO LEITEIRA: UM ENFOQUE MULTICRITERIAL | 64 |
| 4.1. | RESUMO | 64 |
| 4.2. | INTRODUÇÃO | 65 |
| 4.3. | REFERENCIAL TEÓRICO | 66 |
| 4.3.1. | Sistemas Alternativos de Geração de Energia Elétrica | 66 |
| 4.3.2. | Método de Análise Hierárquica (AHP) | 67 |
| 4.4. | METODOLOGIA | 72 |
| 4.4.1. | Estruturação do problema | 73 |
| 4.4.2. | Critérios, Alternativas e Estruturação Hierárquica | 74 |
| 4.4.3. | Definição dos Pesos dos Critérios | 77 |
| 4.4.4. | Considerações Sobre as Alternativas à Luz de Cada Critério | 79 |
| 4.5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 82 |
| 4.5.1. | Análise dos questionários | 82 |
| 4.5.2. | Resultados da análise multicriterial | 85 |
| 4.6. | CONSIDERAÇÕES ACERCA DA SELEÇÃO DE SISTEMAS | 90 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| | ALTERNATIVOS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA | |
| 4.7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 94 |
| 5.1. | CONCLUSÕES | 94 |
| 5.2. | TRABALHOS FUTUROS | 96 |
| 6. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |
| | APÊNDICE: QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PRODUTORES DE LEITE DO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DO ITABAPOANA/RJ | 107 |

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o crescimento do setor agropecuário no Brasil caracterizou-se como uma importante fonte de renda e emprego para famílias do campo, minimizando assim o êxodo rural. Para países menos industrializados, o setor leiteiro é um importante gerador de empregos no campo, onde pequenas propriedades rurais utilizam mão de obra familiar (CAVALCANTE, 2010).

O crescimento do setor vem acompanhando o desenvolvimento e modernização da pecuária de leite no Brasil, elevando o uso de insumos, especialmente energéticos. A maior produção no setor permitiu a elevação do nível de renda e uma tendência de se mudar os hábitos de consumo, principalmente na utilização de energia elétrica. A eletricidade possibilita o desenvolvimento no campo, o aumento da produtividade, permitindo melhorias na economia e contribuindo para a fixação do homem no campo (OLIVEIRA; SIMON, 2004)

Médias e pequenas propriedades agropecuárias têm diversificado a produção como forma de obtenção de renda e permanência no campo. Esta situação é característica no município de São Francisco do Itabapoana, no norte do Estado do Rio de Janeiro, onde a produção de leite é uma das principais fontes de renda em propriedades rurais. O aumento gradual no consumo de energia nestas fazendas de gado leiteiro tem motivado a busca de fontes de energias alternativas, que poderiam reduzir a dependência do fornecimento pela rede convencional de distribuição de energia elétrica. A opção pode resultar na redução de custos e aumentar a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica para este setor produtivo.

A carência de eletrificação de qualidade no meio rural constitui um dos problemas do sistema elétrico nacional. Apesar do avanço tecnológico para geração

distribuída (descentralizada), muitas propriedades ainda não são atendidas por concessionárias de energia ou cooperativa. E as localidades já contempladas pela rede de distribuição convencional de eletricidade possuem problemas com a qualidade e estabilidade da energia entregue.

A instabilidade no fornecimento de energia elétrica pelo sistema convencional e sua cobertura heterogênea no território motivaram a realização deste estudo. As falhas no fornecimento de energia por parte da concessionária regional resultam em perdas significativas da produção leiteira. Além disso, a região apresenta recursos naturais energéticos que poderiam conferir mais autonomia aos produtores rurais.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação multicritério de algumas possíveis alternativas de geração energia elétrica em propriedades com produção leiteira. Para elaboração do mesmo utilizou-se de uma busca bibliométrica e o uso do método AHP para a modelagem do problema.

1. 2. OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho se propõe a realizar um estudo para seleção de um sistema alternativo de geração de energia elétrica, por meio de uma análise multicritério, para atendimento às propriedades leiteiras, situadas no município de São Francisco do Itabapoana/RJ.

1.2.2. Objetivos Específicos

- (I). Levantar as demandas energéticas das fazendas produtoras de leite na região estudada;
- (II). Identificar dos métodos, critérios e subcritérios na análise multicritério para seleção de um sistema de geração de eletricidade;
- (III). Definir critérios a serem usados na escolha das alternativas;

(IV). Avaliar os aspectos qualitativos e quantitativos relacionados às alternativas de ação, sendo elas a geração fotovoltaica, eólica, híbrida e por meio de gerador a diesel, a fim de definir a melhor estratégia de ação a partir de técnicas de auxílio multicritério a decisão.

2. BASE CONCEITUAL

2.1. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O fornecimento de energia elétrica é uma exigência vital da era moderna. A crescente demanda por energia causada pelo crescimento populacional, bem como aumento do poder aquisitivo de regiões e países em desenvolvimento, traz a preocupação com o esgotamento de fontes convencionais, estabilidade e confiabilidade no atendimento de energia elétrica. Níveis de qualidade de energia insatisfatórios e fontes de alimentação não confiáveis são problemas importantes (RAMAN et al., 2012).

As tecnologias de geração de energia alternativa e renovável exercerão um papel importante no fornecimento de energia, devido à crescente conscientização pública global da necessidade de proteção ambiental e desejo de menor dependência de combustíveis fósseis para a produção de energia. Essas tecnologias incluem a geração de energia a partir de recursos renováveis, tais como energia eólica, fotovoltaica, pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), biomassa, geotérmica e células a combustível. As fontes de geração de energia renovável geralmente são empregadas em sistemas de geração distribuída, conectadas ou isoladas da rede de distribuição pública (AZIZ et al., 2015).

Embora não sejam renováveis, os geradores a diesel também são comumente usados para uma ampla gama de aplicações de energia, particularmente em áreas remotas e como fontes de emergência em alguns sistemas autônomos, como por exemplo, instalação elétrica de uma torre remota de

telecomunicações. Fatores como: tecnologia bem desenvolvida e disseminada, preço relativamente mais barato, o baixo custo de combustível e alta eficiência, fizeram dos os geradores a diesel um dos principais equipamentos aplicados para geração de energia em sistemas isolados da rede convencional de eletricidade (NEHRIR et al., 2011).

2.1.1. Geração Fotovoltaica

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, abundante na Terra, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios futuros. A energia solar é praticamente responsável pela origem de quase todas as outras fontes de energia, tais como: hidráulica, biomassa, combustíveis fósseis e energia dos oceanos. (ANEEL, 2005).

A energia solar tornou-se uma fonte alternativa promissora devido às suas vantagens como: abundância, fonte limpa e renovável (MEKHILEF; SAIDUR; SAFARI, 2011).

O Brasil, por sua localização e extensão territorial, recebe energia solar da ordem de 15 trilhões de MWh (Mega Watt hora) anuais, o que corresponde a cerca de 50 mil vezes o seu consumo anual de eletricidade (RODRIGUES; MATAJS, 2004).

Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil elaborado por Chiguera et al. (2000), a quantidade de radiação solar no Brasil varia entre 8 a 22MJ/m² dia (Figura 1).

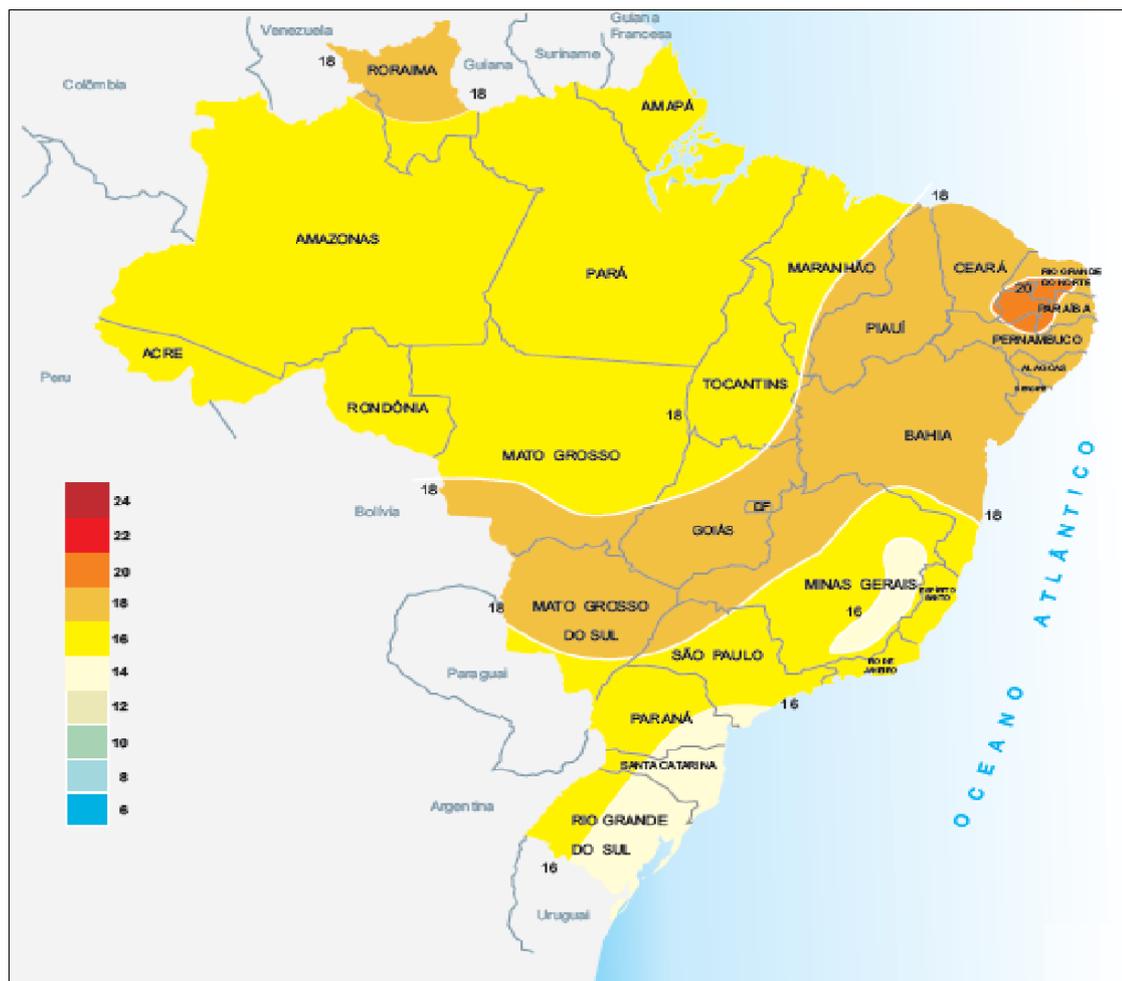


Figura 1. Mapa da radiação solar global diária - média anual (MJ/m².dia).
Fonte: Chigueru (2000)

Na região nordeste do Brasil encontram-se os maiores índices de radiação solar, onde as médias anuais são comparadas às melhores regiões do mundo como: Dongola, deserto do Sudão, e a região de Daggett, no Deserto de Mojave (ANDRADE JUNIOR; MENDES, 2016).

Além do Brasil possuir altos níveis de insolação, outra característica natural favorável à difusão de sistemas de geração fotovoltaica, são as grandes reservas de quartzo de qualidade, gerando uma importante vantagem competitiva para produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares (MME, 2012).

O uso da energia solar é normalmente dividido em duas áreas principais: energia solar térmica e fotovoltaica. A primeira utiliza o sol como fonte direta de energia térmica e é mais comumente usado para o fornecimento de água quente

para casas e piscina. A geração fotovoltaica converte a luz do sol em eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos.

As células fotovoltaicas são empregadas nos painéis fotovoltaicos. São aplicados diversos materiais como o arseneto de gálio, o sulfeto de cádmio e silício. Devido sua abundância na natureza e baixo custo, o silício é o elemento mais empregado na fabricação das células fotovoltaicas. Estas possuem três tipos para aplicação nos painéis FV: monocristalino, policristalino e silício amorfo (Figura 2) (MENDES, 2014).

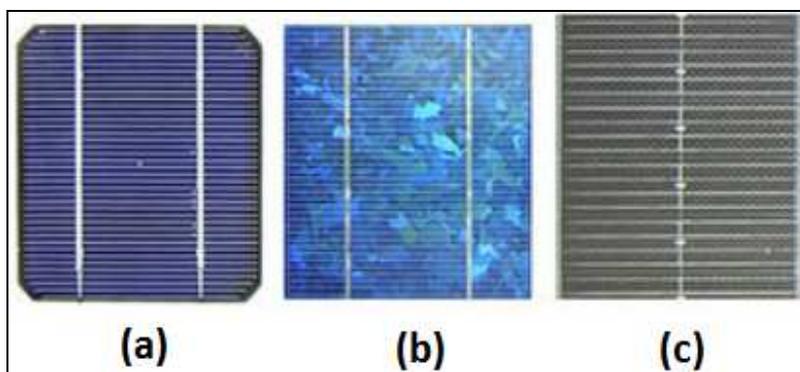


Figura 2. Células fotovoltaicas: (a) monocristalina; (b) policristalina , (c)Silício amorfo.
Fonte: Mendes (2014).

Devido ao grau de pureza do silício, as células apresentam diferentes eficiências na conversão da luz solar em eletricidade. A Tabela 1 apresenta a eficiência das células FV comerciais.

Tabela 1: Eficiência das células fotovoltaicas comerciais

| Tipo de Célula | Eficiência (%) |
|------------------------|-----------------------|
| Silício monocristalino | 15 a 18 |
| Silício policristalino | 13 a 15 |
| Silício Amorfo (aSi) | 5 a 8 |

Fonte: Villalva; Gazoli (2012).

2.1.2. Geração eólica

A energia eólica é a energia proveniente dos ventos e tem sua origem a partir do deslocamento das massas de ar (quente e frio). A energia eólica é aproveitada a partir do emprego de turbinas eólicas, denominadas também como aerogeradores para geração de eletricidade ou cata-ventos utilizados em sistemas mecânicos, como por exemplo, o bombeamento d'água (ANEEL, 2005).

Há 3000 anos a humanidade explora esse tipo de energia para o bombeamento de água através dos cata-ventos (moinhos), e no tritramento de grãos, entre outras atividades. Na geração de energia elétrica, a força do vento é captada pelas hélices de uma turbina eólica e esta, por sua vez, está acoplada ao eixo de gerador de eletricidade. Esse sistema ainda é pouco explorado perto da quantidade de energia existente (PALZ, 2002).

Por ser uma fonte renovável, a energia eólica contribui para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Porém, há algumas incertezas quanto a quantidade efetiva de energia eólica é convertida em energia elétrica, o custo e a sazonalidade deste recurso energético (ZHOU et al., 2012).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, elaborado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), mostra um potencial eólico do Brasil em torno de 143,5GW. No litoral das regiões do Nordeste, Sul e Sudeste foram observados os maiores índices. A Figura 3 mostra o mapa com a velocidade média anual (m/s) a uma altura de 50 metros e o fluxo de potência eólico anual (W/m^2) dos ventos na região do país.

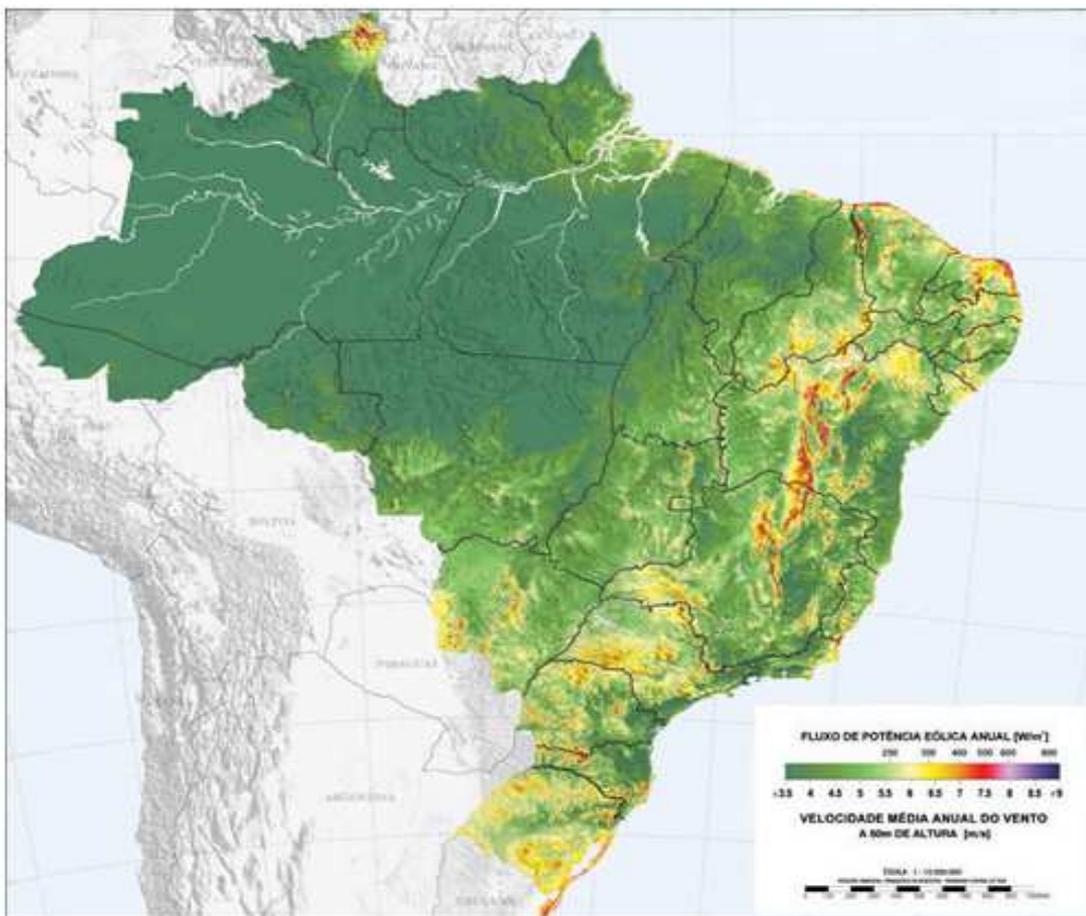


Figura 3. Mapa Eólico brasileiro.
Fonte: CRESESB/ CEPEL (2016).

Segundo a ANEEL (2016), atualmente, há 377 empreendimentos em operação totalizando 9,2MW e contribuindo com 6,32% de toda energia elétrica produzida no país. Além disso, encontram-se em construção mais 125 empreendimentos com potência total de 2,8MW.

A quantidade de energia eólica que será convertida em eletricidade dependerá da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás (hélices) e da velocidade do vento. Assim, o conhecimento do comportamento dos ventos e suas medidas de velocidade, direção e intensidade são importantes para avaliar o potencial de uma região para instalação de um sistema eólico de geração de energia elétrica (DUTRA, 2016).

Os geradores comumente empregados em sistemas de geração de energia elétrica são com eixo vertical (a) e horizontal (b) (Figura 4) (MENDES, 2012).

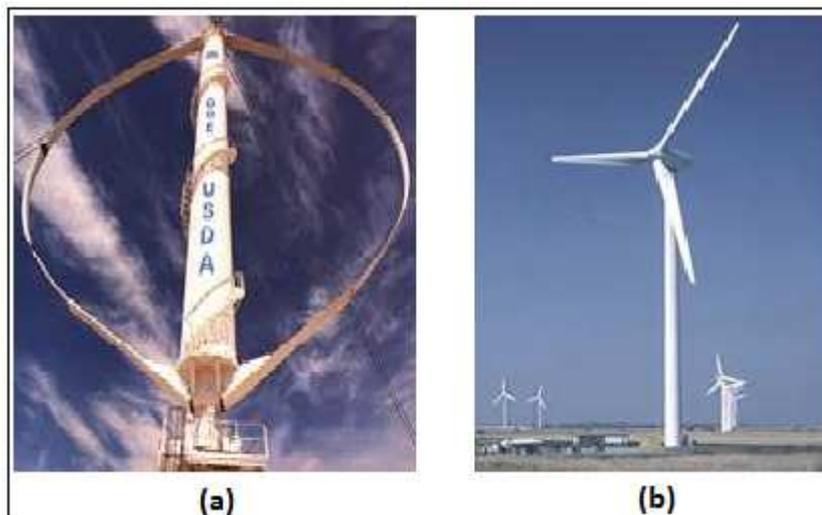


Figura 4. Aerogeradores de eixo vertical (a) e horizontal (b).
Fonte: CRESESB/ CEPEL (2016)

Durante a operação dos sistemas eólicos não há a emissão de gases do efeito estufa, além dessa vantagem, esse tipo de geração apresenta outros pontos positivos como: baixo custo na operação, modularidade e rápida instalação e não há risco de escassez. Porém como qualquer outra tecnologia de geração de energia elétrica, a utilização dos ventos para a produção de eletricidade apresenta algumas desvantagens como o alto custo de implantação, interferências eletromagnéticas, impacto à fauna, ruídos em altas velocidades, entre outros aspectos (MENDES, 2013).

2.1.3. Geração Híbrida

Um sistema de geração híbrida compreende a operação combinada de dois ou mais sistemas (fotovoltaico, eólico, hidro, célula combustível, biomassa, entre outros) diferentes de geração de energia elétrica (KRISHNA; KUMAR, 2015).

A dependência de fontes de energia alternativas baseados em fenômenos naturais, como o vento e o sol, impacta diretamente na confiabilidade dos sistemas de geração de energia, devido à intermitência na disponibilidade dos recursos energéticos. Em função das características ambientais do local, é possível em alguns momentos ter a radiação solar, sem a presença de ventos, ou vice versa. Daí

a necessidade de se considerar um sistema híbrido, pois por meio da integração no uso dessas fontes é possível garantir a disponibilidade de energia elétrica continuamente, ou seja, maximizando o uso dos recursos naturais, e conseqüentemente, o aumento da confiabilidade dos sistemas de geração de eletricidade (AZIZ et al., 2015).

Os componentes básicos do sistema híbrido incluem as fontes de energia, banco de baterias, conversores eletrônicos de potência (CC/CA) e as cargas, conforme apresenta a Figura 5.

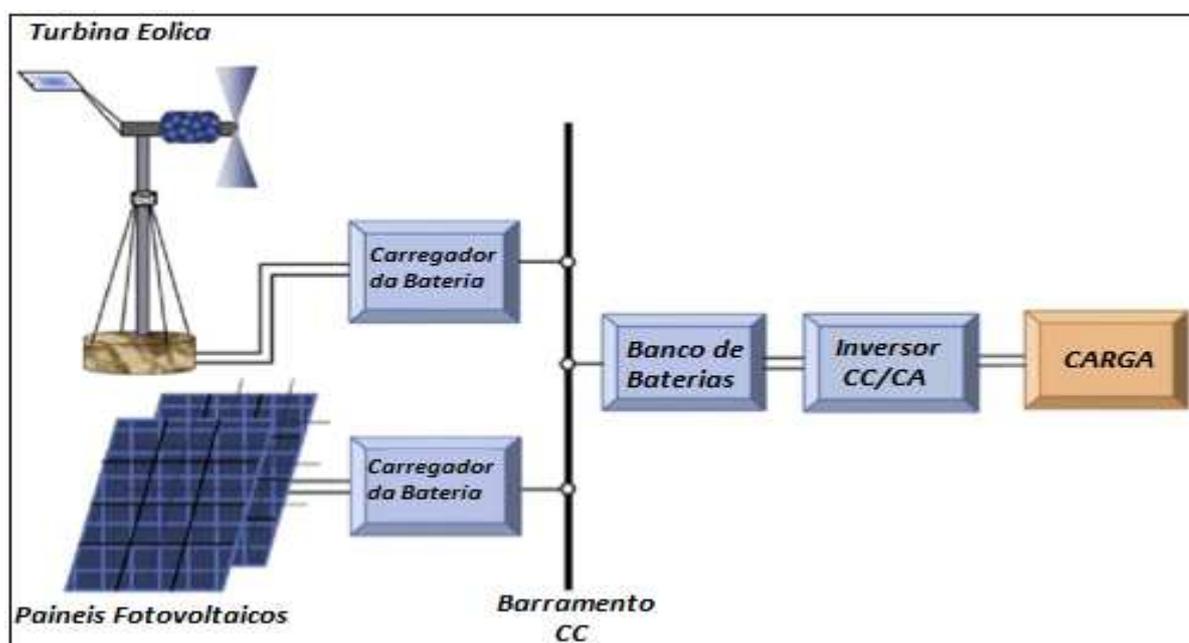


Figura 5. Sistema híbrido composto de painel fotovoltaico, turbina eólica e bateria.
Fonte: Lima e Souza (2015)

Como vantagens dos sistemas híbridos de geração de energia elétrica, Mendes (2013) aponta a maior eficiência se comparado com os sistemas operando separadamente e maior continuidade no fornecimento de energia. Ele destaca como desvantagens o alto custo de implantação e o alto custo do kWh gerado.

3.2 Sistemas Isolados (Off Grid) e Conectados à Rede (On Grid)

Os sistemas isolados ou autônomos fornecem eletricidade a partir de uma fonte alternativa de energia, não estando conectados à rede de distribuição da concessionária de energia local. Estes sistemas são compostos por um conjunto de painéis fotovoltaicos que captam a energia solar e a transformam em eletricidade e/ou aerogeradores que transformam a energia cinética dos ventos em tensão elétrica; controlador de cargas para gerenciar o processo de carga e descarga do banco de baterias; e inversor CC – CA para a alimentação de cargas em corrente alternada (CA), pois a corrente elétrica proveniente do banco de baterias é contínua (CC) (JANNUZZI; VARELLA; GOMES, 2009). As Figuras 6 e 7 mostram os esquemas simplificados dos sistemas fotovoltaico e eólico isolados, respectivamente.

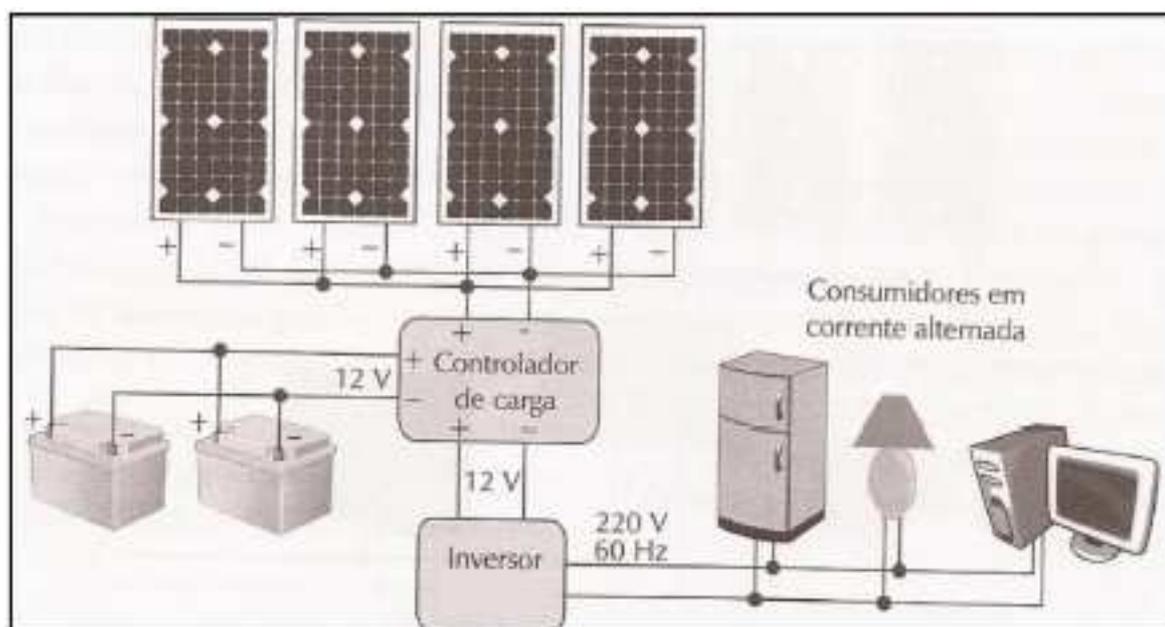


Figura 6. Esquema simplificado do Sistema Fotovoltaico Isolado.
Fonte: Mendes (2012).

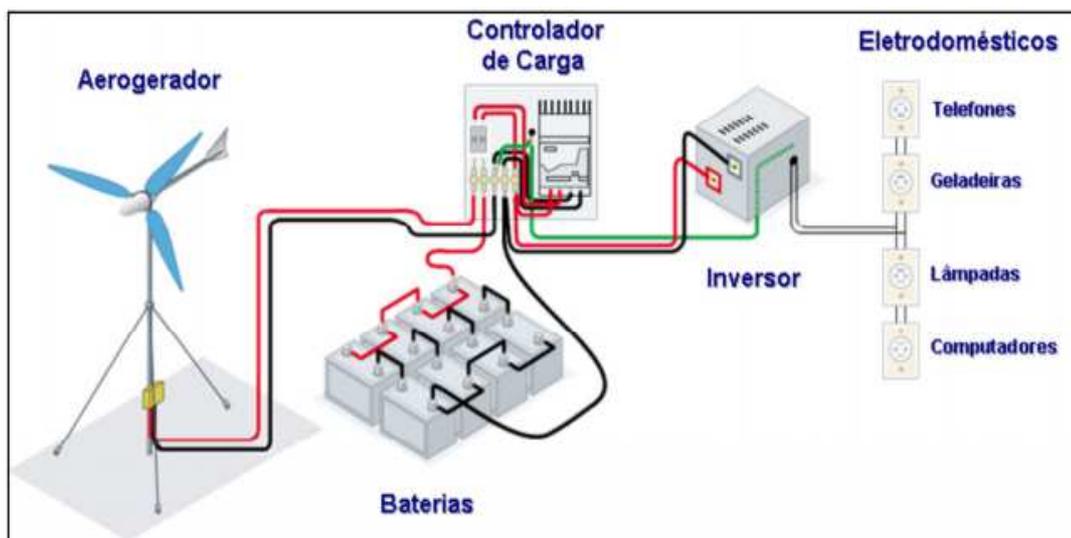


Figura 7. Esquema simplificado do Sistema Fotovoltaico Eólico.
Fonte: Mendes (2012).

Esses sistemas possuem aplicações como: bombeamento de água em plantações, atendimento a residências isoladas da rede de distribuição de energia e ainda estações espaciais (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas conectados à rede são em que a potência gerada pelo arranjo fotovoltaico e/ou eólico é entregue à rede elétrica da concessionária local. Para isso, é indispensável a utilização de um inversor C.C.-C.A. que satisfaça às exigências de qualidade de energia (distorção harmônica, desvio de frequência e fator de potência), para que não ocorra a diminuição da vida útil de cada equipamento presente na instalação, e segurança. Pois a concessionária deve ser capaz de isolar o sistema de geração sempre que precisar de forma simples e sistemática, evitando assim risco para os técnicos de manutenção da rede elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

A Figura 8 apresenta o esquema de um sistema conectado à rede. Nesses sistemas a energia produzida pelo arranjo fotovoltaico (painéis fotovoltaicos) e/ou aerogeradores é imediatamente consumida pelos equipamentos da instalação e o excedente é disponibilizado para revenda pela concessionária de energia local.

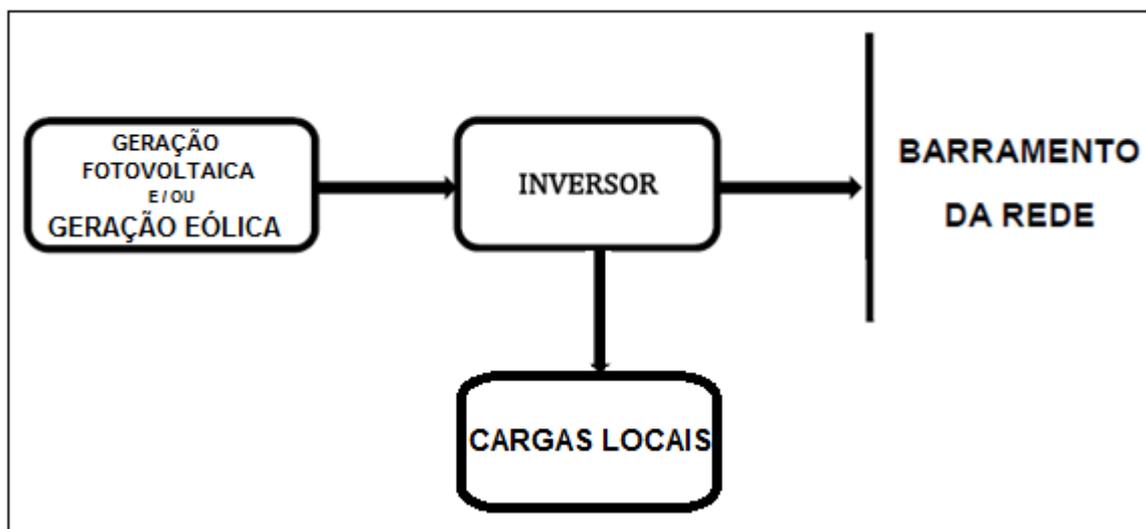


Figura 8. Esquema de um Sistema Fotovoltaico e/ou Eólico Conectado à Rede. Fonte: Adaptado Pinho; Galdino (2014)

Para conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede da distribuidora local é necessário atendimento rigoroso às regulamentações técnicas vigentes.

De acordo com Ruther (2004), o sistema de microgeração é o que mais tem crescido nos últimos anos no mundo. Baseado em trabalhos consultados, o quadro 1 apresenta algumas das vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos isolados (OFF GRID) e conectados à rede (ON GRID).

| SISTEMAS FOTOVOLTAICO E EÓLICO | | |
|--------------------------------|--|--|
| Tipo de Sistema | Vantagens | Desvantagens |
| ISOLADO (OFF GRID) | Baixo custo de operação e manutenção. | Escassez mão-de-obra qualificada no para lidar com esse tipo de tecnologia |
| | Contribui de forma efetiva para a universalização do serviço elétrico em regiões isoladas. | Necessita de equipamentos auxiliares à geração de eletricidade. |
| | Rápida instalação. | Necessitam de sistemas de armazenamento de energia. |
| | Não gera GEE em sua operação. | Baixo rendimento. |
| CONECTADO À REDE (ON GRID) | As perdas por transmissão e distribuição são reduzidas, visto que a geração ocorre próxima da carga | Investimento relativamente alto. |
| | A produção de energia solar em muitos dos casos ocorre em espaços já utilizados, por exemplo, telhado. | Compatibilização do sistema com a rede da concessionária. |
| | O sistema poderá ser ampliado de acordo com a necessidade e disponibilização de espaço. | Influência da temperatura na eficiência do sistema fotovoltaico e sazonalidade do vento nos sistemas eólicos (desvantagem comum aos sistemas off grid) |

Quadro 1. Vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos e eólicos On Grid e Off Grid.
Fonte: Adaptado de Mendes (2013); Andrade Junior (2014).

2.2. MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDAS

Para os consumidores (consumidor-produtor) os sistemas fotovoltaicos, eólicos e híbridos conectados à rede elétrica se configuram como uma inovação do ponto de vista de geração de eletricidade no Brasil a partir da Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012). A mesma estabelece as condições gerais para o acesso de sistemas de geração de energia aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além de definir regras para o sistema de compensação de energia elétrica.

Em 2015 a ANEEL publicou a RN 687/2015 revisando a RN 482/2012, tendo como objetivos: a redução do tempo de conexão da microgeração e minigeração à rede, a compatibilização do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, aumento do público alvo, além de melhorar as informações na fatura (ANEEL, 2015b).

A RN 687/2015 define a microgeração distribuída como um sistema de geração de energia elétrica conectado na rede de distribuição com potência

instalada menor ou igual a 75Kw, utilizando as fontes renováveis de energia ou cogeração qualificada (ANEEL, 2015b).

A mesma resolução normativa define ainda a minigeração distribuída como centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada superior a 75kW e inferior ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para geração a partir das demais fontes renováveis de energia elétrica ou com cogeração qualificada (ANEEL, 2015b).

A resolução específica dos sistemas alternativos que poderão ser conectados a rede de distribuição, são eles: biogás (cogeração qualificada), além das fontes renováveis como a hidráulica, solar, eólica e biomassa. Desde a publicação da resolução em 2012 até o final de 2014, 533 geradores foram instalados, sendo a geração fotovoltaica mais aplicada (90%) aos sistemas de micro e minigeração (ANEEL, 2015a). O Gráfico 1 apresenta o número de conexões por fonte.

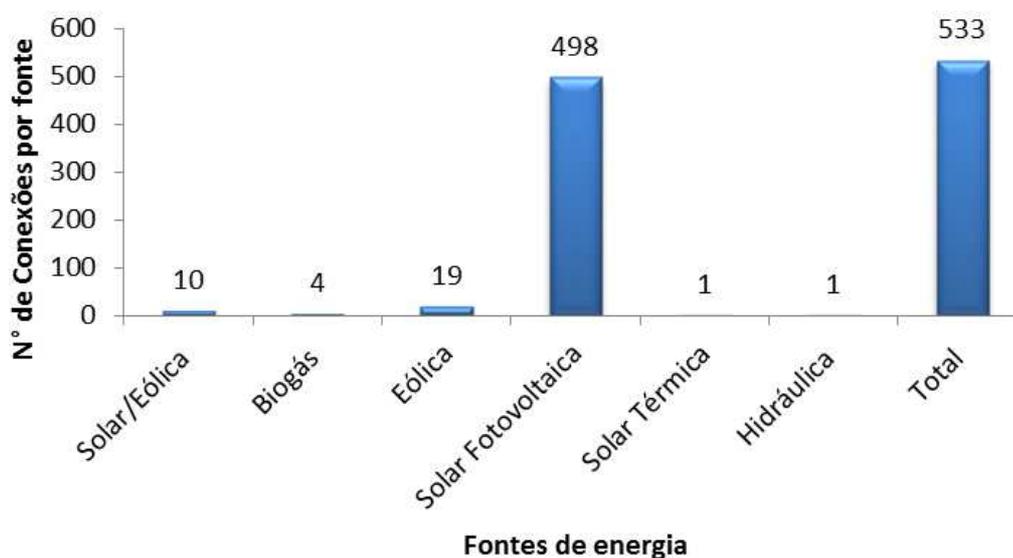


Gráfico 1. Potência instalada por fonte em 2014.
Fonte: ANEEL, 2015

A geração eólica possuía até o final de 2014, 19 sistemas conectados à rede, em terceiro lugar estão os sistemas híbridos (solar/eólica) com 10 sistemas. Tal fato é entendido como positivo, pois os consumidores estão buscando otimizar os recursos naturais disponíveis, aumentando a assim a produtividade do sistema (ANNEEL, 2015).

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for maior que o consumo de energia, o consumidor fica com créditos que poderão ser utilizados para o abatimento do consumo em meses posteriores. A resolução 482/2012 permite que as unidades geradoras (microgeração e minigeração) possam aderir ao sistema de compensação de energia, também conhecido como *net metering*. Nesse sistema de excedente de energia disponibilizado pela unidade consumidora é cedida por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local. Posteriormente, a energia ativa injetada é compensada com o consumo de energia da unidade consumidora. A unidade consumidora tem um prazo de 60 (sessenta) meses para compensação da energia ativa injetada na rede. Podendo esses créditos abater o consumo de outras unidades consumidoras do mesmo titular, desde que esteja na área de atendimento da concessionária distribuidora de energia.

A ANEEL possibilitou por meio da revisão da RN 482/2012 a “geração compartilhada, que consiste na formação de um consórcio ou cooperativa entre os diversos consumidores interessados, permitindo que estes instalem a micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para abatimento nos respectivos consumos.

Cabe ao consumidor interessado na instalação da micro ou minigeração distribuídas analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, tomando ciência das diversas variáveis envolvidas na determinação do melhor sistema. Variáveis como tipo de fonte (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa etc), tecnologia dos equipamentos, demanda da unidade consumidora e central geradora, localização, valor da tarifa, condições de pagamento/financiamento do projeto, entre outros fatores.

2. 3. ANÁLISE MULTICRITÉRIO E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Tomar decisões é um ato inerente à atividade humana, de decisões mais complexas às mais comuns do dia a dia, este ato está presente. Em muitas vezes as decisões são tomadas com base em experiências anteriores, outras apoiadas em abstrações e intuições. (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

A análise multicritério constitui-se em um conjunto de ferramentas e métodos que proporcionam uma visão sistematizada de situações e/ou problemas que envolvem múltiplas alternativas e critérios conflitantes entre si, visando a elucidação da melhor opção para cada caso, atendendo preferências globais de indivíduos ou grupos (BELTON; STEWART, 2002). Estes métodos são aplicados tanto para a identificação de uma única alternativa que melhor atenda às especificidades de cada critério, como também para criar um ranking entre as alternativas disponíveis, delimitando assim o número de opções para uma avaliação mais aprofundada (KURKA; BLACKWOOD, 2013).

Cidad e Manzani (2015) ressaltam que a análise multicriterial não fornece a solução ideal em um problema de decisão, isso porque não há um solução que contemple todos os critérios, sendo dada universalmente aceita como certa.

Segundo Streimikiene et al. (2012), a implementação de uma análise multicritério permitiu quatro tipos de decisão possíveis: escolha de um problema; classificação das alternativas em grupos relativamente homogêneos; ranking da melhor alternativa para a pior; e análise das alternativas em função de suas características e peculiaridades.

Os métodos de análise multicritério baseiam-se em uma metodologia científica para resolução de problemas complexos. De acordo com Mello (2005) os métodos AMD surgiram na década de 1970 como uma das vertentes da Pesquisa Operacional (PO), sendo assim até os dias atuais a área de maior evolução em PO.

Os métodos AMD possuem metodologia para resolução de problemas complexos nas diversas áreas de conhecimento, como: gestão, engenharia, negócios, ciência e humanas (BEHZADIAN *et al.*, 2010). Ainda segundo Figueira; Greco; Ehrgott (2005), os métodos AMD possui forte potencial nas áreas de: finanças, planejamento e projeto de rede de telecomunicações, projetos de desenvolvimento sustentável, escolha de software, e planejamento energético. Para Freitas; Marins; Souza (2006), os métodos multicritérios agregam valor significativo à tomada de decisão, pois tratam com clareza e transparência problemas considerados complexos.

Segundo Costa (2002), os métodos AMD se dividem em duas grandes escolas: francesa e americana. Mendes (2013) apresenta o Quadro 2 onde os métodos AMD mais aplicados na literatura são descritos, bem como suas versões e a escola de origem.

| MÉTODO | VERSÃO | TIPO DO PROBLEMA | ESCOLA DE ORIGEM |
|--|------------------------|------------------------|------------------|
| Borda | Problema Multidecisor | Ordenação | Francesa |
| | Problema Multicritério | | |
| Condorcet | - | Ordenação | Francesa |
| ELECTRE (<i>Election Et Choice Tradusàint la réalité</i>) | ELECTRE I | Seleção | Francesa |
| | ELECTRE II | Ordenação | |
| | ELECTRE III | | |
| | ELECTRE IV | | |
| | ELECTRE IS | Seleção | |
| | ELECTRE TRI | Classificação | |
| PROMETHÉ (<i>Prederence Ranking Organization Method for Enrichement Evaluations</i>) | PROMETHÉ I | Ordenação | Francesa |
| | PROMETHÉ II | | |
| | PROMETHÉ III | | |
| | PROMETHÉ IV | | |
| | PROMETHÉ V | | |
| | PROMETHÉ VI | | |
| AHP (<i>Analic Hierarchic Process</i>) | AHP Clássico | Ordenação/ Partilha | Americana |
| | AHP Multiplicativo | | |
| | AHP Referenciado | | |
| | AHP B-G | | |

Quadro 2. Resumo das metodologias de AMD mais aplicadas na literatura.
Fonte: Mendes (2013)

A escolha de um método de análise multicritério ou a combinação entre eles constitui um desafio, devido ao grande número e complexidade dos métodos disponíveis para aplicação no setor de energia. Kurka e Blackwood (2013) orientam em seu estudo de caso que alguns critérios deverão ser levados em conta para a determinação de um método, eles sugerem:

(I). Medidas para lidar com as incertezas: eles apontam que muitos aspectos no campo da gestão de recursos naturais não pode ser estimado ou previsto suficientemente, o que contribui para a incerteza na tomada de decisões. Sendo assim, alternativas impróprias poderão ser selecionadas e implementadas, atingindo resultados insatisfatórios.

(II). Facilidade de uso e flexibilidade: é um aspecto importante que envolve inúmeros interessados, aplicar a matemática simples e métodos intuitivos. Este

critério define o quão amigável, flexível e adaptável é o método aplicado.

(III). Transparência e comunicação: este critério determina o quão simples e intuitivo é o método de análise multicritério, objetivando a transparência, compreensão e aceitação por parte dos interessados.

(IV). Inclusão de múltiplos decisores: este critério está relacionado à capacidade do método envolver vários decisores no processo. O planejamento de energético envolve múltiplos decisores, sendo assim muitos projetos não obtém melhores resultados quando parte dos interessados não estavam envolvidos de forma adequada.

Devido à capacidade de considerar e, simultaneamente, avaliar uma série de aspectos económicos, ambientais, sociais e tecnológicos, que permeiam análises mais complexas, os métodos de análise multicritério tornaram-se cada vez mais difundidos na tomada de decisão em sistemas de energia e no desenvolvimento sustentável. Os algoritmos aplicados permitem a redução da complexidade de uma informação multidimensional, tornando-a mais simplificada e transparente (KURKA; BLACKWOOD, 2013).

O crescente consumo de energia é um dos maiores problemas do mundo, com enormes implicações para o meio ambiente, economia e desenvolvimento. Para o atendimento às demandas atuais e das gerações futuras por energia, o planejamento energético torna-se primordial. O mesmo deve ser baseado nas oportunidades e barreiras na aplicação de fontes alternativas, visando a redução da dependência do petróleo e proteção ao meio ambiente (ANDRADE JUNIOR, 2014).

Prasad, Bansal e Raturi (2014) definem o planejamento energético como um roteiro para satisfazer as necessidades energéticas de uma região, considerando diversos fatores como tecnologia, economia, meio ambiente e o impacto na sociedade. Por meio dele é possível verificar como as mudanças estruturais de uma nação afetariam a demanda e fornecimento de energia.

Em sinergia com Prasad, Bansal e Raturi (2014), They e Zarate (2009) afirmam que o planejamento energético determina a melhor combinação de fontes de energia para satisfazer uma determinada demanda. Para isso, leva-se em

consideração os múltiplos critérios para a tomada de decisões, que são, quantitativos (critério económico e técnico) e qualitativos (impacto ambiental e critério social). Mourmouris e Potolias (2013) afirmam ainda que, no passado o planeamento energético era guiado apenas por critérios técnicos e económicos. Porém nos dias atuais, a maior dificuldade é a natureza multifacetada que o constitui.

Segundo Foell (1985) e Pearce e Webb (1987), o planeamento energético deve estar integrado ao planeamento do desenvolvimento, e para isso é necessário uma base de dados objetiva e de qualidade para dar o suporte necessário à execução.

They e Zarate (2009) classificam o planeamento energético como:

(1). Planeamento de curto prazo (horas, dias, meses, um ano): é o planeamento realizado para garantir a confiabilidade dos serviços já que as decisões com base em tecnologias já existentes.

(2). Planeamento de médio prazo (um a dez anos): planeamento realizado considerando a introdução de novas tecnologias energéticas.

(3). Planeamento de longo prazo (para além de 15 anos): visando o desenvolvimento de nova infraestrutura e/ou desenvolvimento de novas tecnologias, antecedendo as alterações na demanda de energia.

Conforme visto, o planeamento energético constitui uma análise de múltiplos critérios e alternativa, sendo um vasto campo para aplicação dos métodos de análise multicritério para tomada de decisão.

2.4. AGROPECUÁRIA E CONSUMO DE ENERGIA

Na década passada o setor agropecuário no Brasil cresceu a taxas superiores às taxas de crescimento da economia. Tal fato se deve ao aumento da produtividade em fazendas leiteiras e à crescente demanda internacional por alimentos. Entre os anos de 1990 e 2012, a participação do setor na matriz energética brasileira

manteve-se estável, cerca de 4%, apresentando um crescimento médio na demanda por energia de 3,2% ao ano (EPE, 2014).

Basicamente a demanda de energia no setor agropecuário é restrita a três insumos energéticos: o óleo diesel, a eletricidade e a lenha. O diesel se destaca como principal recurso energético aplicado no setor nacional, com participação de 58% em 2010. Essa demanda está relacionada à frota de máquinas agrícolas empregadas para mecanização do setor. Nas produções agrícolas a lenha é aplicada em sistemas de secagem de grãos. A eletricidade configura-se como a terceira principal fonte de energia no seguimento, sendo aplicada basicamente em dois sistemas: sistemas de irrigação e sistema de resfriamento do leite (EPE, 2014).

Segundo Upton et al. (2013), os principais processos demandantes de energia em propriedades com produção leiteira, são: de resfriamento de leite (31%), aquecimento de água (23%), a ordenha (20%) e bombeamento de água (5%).

3.5. PRODUÇÃO LEITEIRA NO BRASIL

Nos últimos anos, o crescimento do setor agropecuário no Brasil caracterizou-se como uma importante fonte de renda e emprego para famílias do campo, minimizando assim o êxodo rural. Para países menos industrializados, o setor leiteiro é um importante gerador de empregos no campo, onde pequenas propriedades rurais utilizam mão de obra familiar (CAVALCANTE, 2010). Atualmente, o país conta com mais de 1,1 milhões de propriedades com produção leiteira, criando 3,6 milhões de postos de empregos diretos. A representatividade da produção leiteira no Brasil na geração de empregos é superior a setores como a da construção civil, automobilístico, siderúrgico e têxtil, pois para cada R\$ 1 milhão de produtos lácteos demandados, 195 postos de trabalho permanentes são gerados (EMBRAPA, 2016).

A produção leiteira no Brasil teve seu primeiro marco em 29 de março de 1952, onde Getúlio Vargas através do Decreto 30.691 – Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, aplicado nos estabelecimentos que realizem comércio interestadual ou internacional, tornando obrigatória a inspeção e o carimbo do Serviço de Inspeção Federal (SIF). Este decreto se

encontra em vigor até os dias atuais e representa um dos principais marco na produção leiteira no Brasil (BRASIL, 1952).

A partir deste decreto foi possível classificar o leite conforme sua finalidade, origem (espécie produtora), teor de gordura e tratamento do leite. Apresenta-se a seguir as categorias do leite comercializado no Brasil.

2.5.1. Leite do tipo A

Leite in natura, retirado por ordenha mecânica com a mais alta exigência sanitária, sendo direcionado imediatamente para um tanque, onde é aquecido até 70°C – 75°C e depois resfriado. Todo o processo de produção e envasamento é feito na própria fazenda, e o contato humano é mínimo, garantindo assim, menor probabilidade de contaminação e uma taxa microbiológica de até 10 mil bactérias/ml.

2.5.2. Leite do tipo B

Assim como o leite do tipo A, a ordenha é realizada de forma mecanizada, porém o envasamento pode ser feito em um laticínio fora da fazenda produtora, possibilitando uma maior contaminação do leite e conseqüentemente menor duração. Devido ao processo menos rigoroso apresenta um padrão microbiológico de até 50 mil bactérias/ml. Após a ordenha o leite deverá ser resfriado a uma temperatura máxima de 4°C em até três horas depois da entrada em um tanque de resfriamento. O mesmo deve permanecer na propriedade no máximo 48h desde a ordenha.

2.5.3. Leite do tipo C

A ordenha pode ser manual ou mecanizada. O leite é armazenado em tanques não refrigerados antes de seguir para o laticínio onde será pasteurizado e envasado. O mesmo deve ser no laticínio até às 10 horas da manhã do dia da

ordenha. A rigorosidade no padrão de produção é menor que no tipo A e B, com isso, oferece um padrão microbiológico de até 350 mil bactérias/ml.

2.5.4. Produção de Leite no Brasil

Em 2014 a produção de leite de vaca no Brasil ultrapassou os 35 bilhões de litros, valor 2,7% superior ao ano de 2013. Neste mesmo ano, o Brasil ocupou a 5ª posição no ranking mundial dos produtores de leite, ficando atrás da União Europeia, Índia, Estados Unidos e China. (IBGE, 2014)

Em 2014 a Região Sul ocupou o primeiro lugar na produção leiteira, com 34,7% da produção nacional, resultado 3,6% maior que no ano anterior. A tabela 2 apresenta a quantidade de leite produzida e a variação relativa, por cada região.

Tabela 2. Produção leiteira no Brasil por regiões

| Grandes Regiões, em ordem decrescente da quantidade produzida | Produção de leite | | |
|---|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| | Quantidade (1000 litros) | | Variação relativa (%) |
| | 2013 | 2014 | |
| Brasil | 34 255 236 | 35 174 271 | 2,7 |
| Sul | 11 774 330 | 12 200 824 | 3,6 |
| Sudeste | 12 019 946 | 12 169 774 | 1,2 |
| Centro-Oeste | 5 016 291 | 4 969 238 | -0,9 |
| Nordeste | 3 598 249 | 388 286 | 9,1 |
| Norte | 1 946 419 | 1 946 149 | 5,4 |

Fonte: IBGE (2014)

A Região Sudeste ocupou a segunda posição no ranking brasileiro, responsável por 34,6% da produção. O gráfico 2 a seguir apresenta em % a produção leiteira dos estados da Região Sudeste.

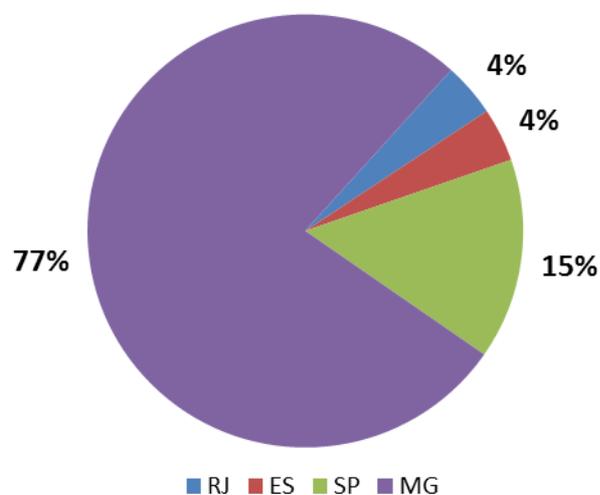


Figura 2. Produção leiteira na Região Sudeste.
Fonte: Adaptado IBGE (2014)

O estado de Minas Gerais foi o maior produtor de leite nesse mesmo ano, com 9,37 bi de litros, equivalente a 77% de toda produção da Região Sudeste e a 26,6% da produção nacional. Em segundo lugar está o estado de São Paulo com 1,77 bilhões de litros, seguido por Rio de Janeiro e Espírito Santo com 540 milhões e 485,7 milhões de litros de leite respectivamente.

Segundo o relatório de Produção Pecuária Municipal – 2014 (IBGE), o gráfico 3 apresenta os 5 maiores municípios produtores de leite em 2014 no estado do Rio de Janeiro.

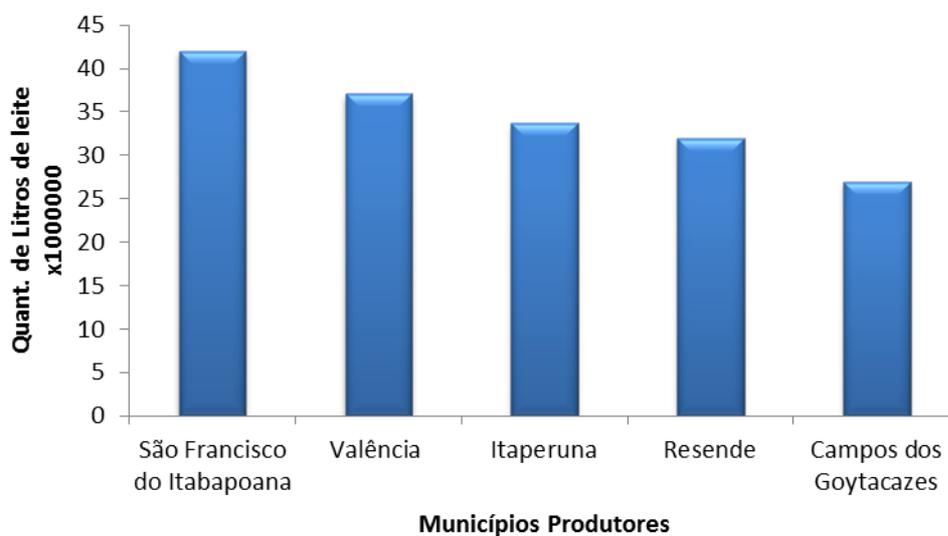


Gráfico 3. Cinco maiores produtores de leite de vaca no Estado do Rio de Janeiro.
Fonte: Adaptado IBGE (2014)

Entre os 5 maiores produtores de leite de vaca no estado do Rio de Janeiro, São Francisco do Itabapoana lidera o ranking, com produção de 42 milhões de litros de leite, responsável por 7,8% da produção estadual. A segunda posição e terceira, foram ocupadas pelas cidades de Valência e Itaperuna, com produção de 37,1 milhões e 33,6 milhões de litros de vaca, respectivamente.

Segundo estimativas do relatório de Produção Pecuária Municipal, em 2014, 35000 mil vagas foram ordenhadas, gerando uma produção em torno de 42 milhões de litros de leite.

3. REVISÃO SISTEMATIZADA DA LITERATURA APLICADA AOS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS E GERAÇÃO ENERGIA ELÉTRICA

3.1. RESUMO

Este capítulo tem como objetivo realizar uma pesquisa da produção científica divulgada na base Scopus e na base ISI (Web of Knowledge), acessadas por meio do portal de periódicos Capes sobre o tema análise multicritério e fontes de energia elétrica. O mapeamento contemplou a análise de 49 artigos relacionados ao tema da pesquisa. Os resultados permitiram indicar os periódicos que mais publicam nesse contexto, os autores que abordaram o tema, a cronologia dos artigos publicados, o ano com maior frequência de publicação e também os países com maior volume de artigos publicados nesse contexto. Verificou-se também os métodos de análise multicritério aplicados nos estudos pesquisados, bem como os critérios e subcritérios utilizados na seleção de um sistema alternativo de geração de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Bibliometria. Auxilio Multicritério à Decisão. Energia

3.2. INTRODUÇÃO

A energia permite satisfazer as necessidades humanas mais básicas como: cozimento, luz, aquecimento, extração de água, entre outras. Além disso, ela é a base para a maioria das atividades econômicas, seja para a produção, transporte e comercialização de alimentos. Devido a grande relevância do tema para continuidade e desenvolvimento da vida humana, percebe-se grande volume de

estudos voltados à temática de seleção de fontes energéticas e geração de energia (ROJAS-ZERPA; YUSTA, 2014).

Nesse contexto, o desenvolvimento dos meios de comunicação, como a internet, permitiu o acesso à produção acadêmica nacional e internacional por parte dos pesquisadores e estudantes. No processo de difusão de conhecimento no meio acadêmico, a publicação de artigos em periódicos tem sido a forma mais usual pela comunidade científica (BEUREN; SOUZA, 2008).

O número demasiado de publicações torna complexa a filtragem de informações que deseja-se obter sobre um referido tema. Sendo assim, é de suma importância medir o grau de evolução, produção e qualidade dessas publicações por meio de uma revisão da bibliográfica (SANTOS, 2003).

Conforto et al. (2011) relatam que a revisão bibliográfica é importante para delinear o limite da pesquisa que se deseja desenvolver numa perspectiva científica, definindo assim os tópicos chave, autores, palavras-chave, periódicos e fontes de dados preliminares. A pesquisa bibliográfica possui caráter exploratório, permitindo o aprofundamento no problema, aprimoramento de ideias e até mesmo a descoberta de intuições. Ainda segundo os autores, a revisão bibliográfica sistemática é reconhecida por ser metódica e transparente, podendo ser replicável.

Costa (2010) aponta que a revisão bibliométrica sistematizada é o estudo de técnicas e métodos para o desenvolvimento de medidas para documentos e informações, buscando associar estatística à pesquisa bibliográfica.

Vários estudos são realizados a partir da aplicação e/ou avaliação dos métodos Auxílio Multicritério à Decisão (AMD). Este estudo tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso dos métodos AMD na seleção de fontes de energia elétrica, possibilitando o auxílio aos pesquisadores sobre o tema em questão. Os principais artigos selecionados neste estudo foram analisados de forma detalhada para avaliar suas contribuições para a comunidade científica e para elencar os principais critérios e subcritérios usados na seleção de fontes de geração de energia elétrica.

3.2. METODOLOGIA

As descrições metodológicas da pesquisa foram conduzidas conforme apresentam os trabalhos de Costa (2010) e Mendes (2013). A pesquisa foi realizada no período de 07 a 14 de janeiro de 2016 e utilizou as bases científicas Scopus e ISI (*Web of Knowledge*), acessadas por meio do portal de periódicos CAPES.

O processo de busca nas bases científicas utilizou as seguintes expressões idiomáticas: (“*Multi- criteria Analysis*” AND “*Source of Electricity*”), buscando em “*Article title, Abstract, Keywords*” e selecionando somente “*Article*” como tipo de documento. Foram encontrados 37 registros na base Scopus e 29 na base ISI (*Web of Knowledge*).

A análise dos artigos disponíveis nas bases permitiu a quantificação das publicações anualmente, verificando os picos em que houve maior interesse sobre o tema abordado. Foram analisadas os 10 primeiros registros (artigos) publicados nas bases, para isso verificou o ano de publicação, título do trabalho, autor(es) envolvido(s) e o periódico em que o estudo foi publicado.

O número de publicações de por periódico foi levantado, sendo apresentada a listagem com os 10 primeiros periódicos que mais publicaram trabalhos relacionados ao tema. Além dos periódicos, foi possível a constatação dos autores e países ligados ao tema.

Ao final deste trabalho são apresentados no gráfico 6 e o quadro 4, os mesmos apresentam os métodos de análise multicritério aplicados, bem como os critérios e sub critérios utilizados nos estudos respectivamente. Esse levantamento foi possível por meio da análise detalhada dos artigos encontrados. Essa análise mais detalhada foi realizada somente nos estudos publicados nos periódicos da base SCOPUS por ser essa base com a maior quantidade de trabalhos. Além disso, vários trabalhos disponíveis na base SCOPUS encontram-se disponíveis na base também na base ISI.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentadas as estatísticas dos artigos analisados, classificando-os por fonte de publicação, ano, autores, países que se destacaram na publicação dos artigos relacionados ao tema pesquisado, e ainda os métodos e critérios considerados nos trabalhos. É apresentada também a síntese dos três artigos mais relevantes.

Dos 37 artigos na base SCOPUS e 29 artigos na base ISI, 17 artigos eram comuns as duas bases, gerando um quantitativo de 49 artigos únicos. Dai a necessidade de verificação em mais de uma base de pesquisa para a realização de uma análise bibliométrica. Pois a pesquisa em diferentes bases tornam os resultados mais exatos e robustos.

3.4.1. Publicações por ano

Ao analisar o gráfico 4 percebe-se que o primeiro trabalho envolvendo métodos AMD e geração de eletricidade ocorreu em 1997. Verifica-se que 2011 foi o ano onde mais artigos foram publicados nos periódicos indexados à base Scopus (quatro artigos) e 2015 foi o ano em que mais estudos foram publicados nos periódicos do ISI (sete artigos).

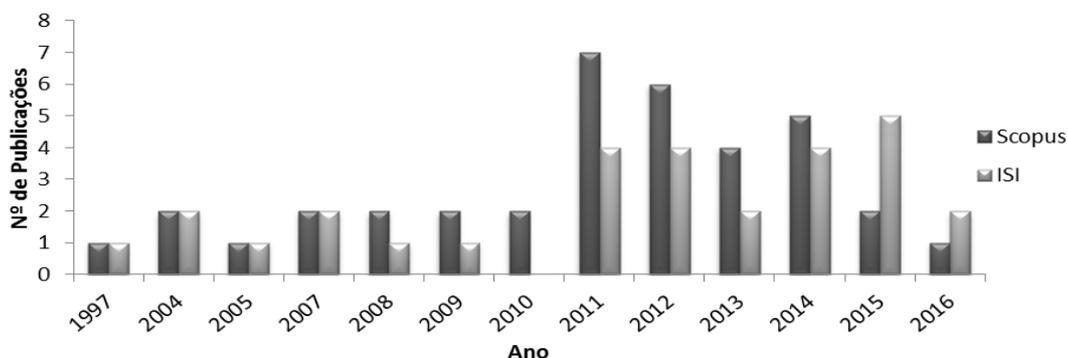


Gráfico 4. Número de publicações registradas nas bases Scopus e ISI entre os anos de 1997 e 2016.
Fonte: Adaptado de SCOPUS e ISI (2016).

Percebe-se que, tanto na base SCOPUS como no ISI, houve um aumento nas publicações a partir do ano de 2011 em diante, 25 artigos no total na base SCOPUS e 22 artigos no ISI.

3.4.2. Primeiras publicações por base

O Quadro 3 apresenta os primeiros estudos de cada base com o ano de publicação, título do artigo científico, autor(es) e o periódico em que foi publicado nas bases SCOPUS e ISI.

| PUBLICAÇÕES | | | | BASES | |
|-------------|---|---|---|--------|-----|
| Ano | Título | Autor(es) | Periódico | SCOPUS | ISI |
| 1997 | A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option | Georgopoulou, E., Lalas, D., Papagiannakis, L. | European Journal of Operational Reserch | X | X |
| 2004 | Costing electricity supply scenarios: A case study of promoting renewable energy technologies | Rodriguez, Mauritius; Weisser, D. | Renewable Energy | X | X |
| 2004 | A multi-criteria analysis of Canadian electricity supply futures | Noble, B.F. | Canadian Geographer | X | X |
| 2005 | Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation | Tzeng, G.-H., Lin, C.-W., Opricovic, S. | Energy Policy | X | X |
| 2007 | Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece | Diakoulaki, D., Karangelis, F. | Renewable and Sustainable Energy Reviews | X | X |
| 2007 | New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: The case of renewable energy use in Austria | Madlener, R., Kowalski, K., Stagl, S. | Energy Policy | X | - |
| 2007 | A participatory systems approach to modeling social, economic, and ecological components of bioenergy | Buchholz, T.S.; Volk, T.A.; Luzadis, V.A. | Energy Policy | - | X |
| 2008 | Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems | Papadopoulos, A., Karagiannidis, A. | Omega | X | X |
| 2008 | Evaluation of conventional and renewable energy sources for space heating in the household sector | Jaber, J.O., Jaber, Q.M., Sawalha, S.A., Mohsen, M.S. | Renewable and Sustainable Energy Reviews | X | - |
| 2009 | Hydropower development priority using MCDM method | Supriyasilp, T., Pongput, K., Boonyasirikul, T. | Energy Policy | X | X |
| 2009 | Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region | Terrados, J., Almonacid, G., Pérez-Higueras, P. | Renewable and Sustainable Energy Reviews | X | - |
| 2011 | Sustainable management of urban pollution: an integrated approach | Pettit, C. et. al. | Building Services Engineering Research & Technology | - | X |
| 2011 | A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies | San Cristobal, JR | Renewable Energy | - | X |

Quadro 3. Primeiros artigos publicados sobre o tema na base SCOPUS e ISI.
Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.3. Número de publicações por periódicos

A Tabela 3 apresenta os dez primeiros periódicos que mais publicaram artigos sobre o tema pesquisa nas bases consultadas. Conforme apresentado, tanto na base SCOPUS como na ISI, os três primeiros periódicos são: *Energy Policy*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* e *Renewable Energy*. Segundo Silva (2015), a análise da quantidade de publicações por periódico auxilia os pesquisadores a identificar as fontes que frequentemente publicam trabalhos sobre o tema de interesse.

Tabela 3: Periódicos com maior número de publicações nas bases consultadas

| SCOPUS | | ISI | |
|--|----------------|---|----------------|
| Periódico | Nº Publicações | Periódico | Nº Publicações |
| <i>Energy Policy</i> | 7 | <i>Energy Policy</i> | 8 |
| <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> | 7 | <i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i> | 4 |
| <i>Renewable Energy</i> | 4 | <i>Renewable Energy</i> | 3 |
| <i>Energy Sources</i> | 3 | <i>Journal of Cleaner Production</i> | 3 |
| <i>Energy for Sustainable Development</i> | 2 | <i>Energy Sources part B- economics Planning and policy</i> | 2 |
| <i>Annals of Operations Research</i> | 1 | <i>Omega-Internacional Journal of Management Science</i> | 2 |
| <i>Biomass and Bioenergy</i> | 1 | <i>Annals of Operation Reserach</i> | 1 |
| <i>Building Services Engineering Research and Technology</i> | 1 | <i>Biomass & Bionergy</i> | 1 |
| <i>Ecological Modelling</i> | 1 | <i>Building Services Enginering Research & Technology</i> | 1 |
| <i>European Journal of Operational Research</i> | 1 | <i>Canadian Geographer</i> | 1 |

Fonte: SCOPUS (2016) e ISI (2016)

3.4.4. Principais autores

Entre os autores que mais publicaram sobre o tema pesquisado, *Boran, F.E.*, *Dizdar, E.* e *Boran, K.* se destacam na base SCOPUS, o primeiro com 3 artigos e os outros autores com 2 artigos cada. Na base ISI *Boran, F.E.* e *Boran, K.* estão também entre os autores que mais têm artigos publicados nos periódicos indexados da respectiva base, 2 artigos cada, seguidos do autor *Streimikiene, Dalia* com também 2 artigos publicados. A Tabela 4 apresenta os 10 primeiros autores e o número de publicações em periódicos indexados à base SCOPUS, enquanto que a

Tabela 4 apresenta os dez primeiros na base ISI.

Tabela 4: Autores com maior número de publicações relacionadas ao tema nas bases consultadas

| SCOPUS | | ISI | |
|------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Autor | Nº Publicações | Autor | Nº Publicações |
| Boran, F.E., | 3 | Streimikiene, Dalia | 2 |
| Dizdar, E. | 2 | Boran, K. | 2 |
| Boran, K. | 2 | Boran, F. E | 2 |
| Streimikiene, D. | 2 | Weisser Deisser | 1 |
| Antunes, C.H. | 1 | Von Doderer | 1 |
| Asal, O. | 1 | Volkta | 1 |
| Azapagic, A. | 1 | Van Haaren R | 1 |
| Balezentis, A. | 1 | Tzeng Gh | 1 |
| Balezentis, T. | 1 | Turskis Z | 1 |
| Baris, K. | 1 | Toktas I | 1 |

Fonte: SCOPUS (2016) e ISI (2016)

Os autores Boran F. E. e Boran K. trabalham na Universidade de Gazi, na cidade de Ancara, capital da Turquia. Boran F.E publicações na área de Engenharia, Ciência da Computação e Energia. Ele se destaca pela quantidade de trabalhos envolvendo redes neurais e métodos de análise multicritérios para seleção de sistemas energéticos auxiliando no planejamento energético na Turquia. Enquanto que o Boran K, e Dizdar, E., da Universidade de Karabük, na Turquia, possuem trabalhos em coautoria com o Boran F. E. envolvendo análise multicritério para geração de eletricidade também na Turquia. O autor Streimikiene, D, trabalha no Instituto de Energia da Lituânia, sendo suas pesquisas concentradas nas energias renováveis e análises econômicas para apoio na difusão de sistemas mais sustentáveis, além de alguns trabalhos envolvendo análise multicritério e geração de energia.

Vale ressaltar que lista de autores é extensa, onde todos os autores possuem um artigo publicado nos periódicos pesquisados a partir dos termos idiomáticos usados na pesquisa em ambas as bases.

3. 4. 5. Publicação por Países

O país que mais publicou trabalhos envolvendo métodos AMD e geração de energia elétrica foi a Grécia com 6 trabalhos nos periódicos indexados na base SCOPUS e 3 na base ISI. O gráfico 5 mostra os países com mais publicações em periódicos publicados em ambas as bases.

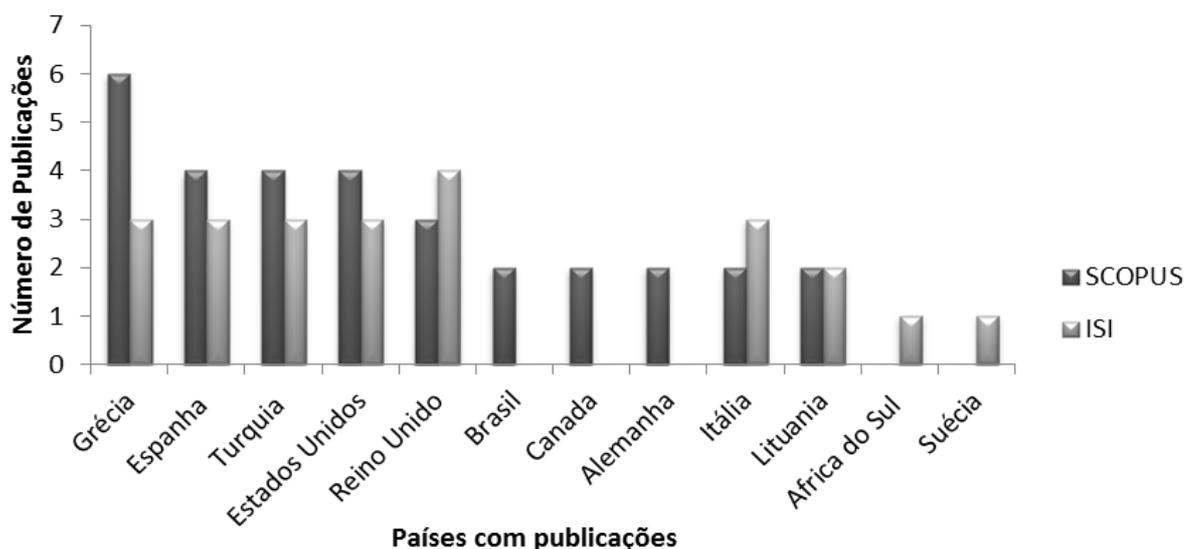


Gráfico 5. Análise de publicação por país nas bases SCOPUS e ISI.
Fonte: SCOPUS (2016) e ISI (2016)

A Grécia se destaca como um dos países com mais trabalhos publicados envolvendo análise multicriterial e geração de energia, tal fato pode ser justificado por meio do tratado da União Europeia (2001/77/CE) de 27 de Setembro de 2001, onde o país se comprometeu em produzir pelo menos 22,1% da eletricidade consumida utilizando fontes renováveis de energia. Diakoulaki e Karangelis (2007) indicam que para escolha de sistemas de geração de eletricidade por meio da energia limpa, múltiplos aspectos de avaliação entram em conflitos, sendo esses métodos cada vez mais aplicados no planejamento energético na Grécia.

3.4.6. Artigos relevantes ao tema

A partir da ordenação realizada pelas bases pesquisadas, a Tabela 5 apresenta os artigos mais relevantes. Segundo Costa (2010), na base ISI o grau de relevância é obtido através da combinação dos seguintes critérios métricos: número de vezes em que o artigo foi citado nos periódicos indexados na base (ISI), fator de impacto (JCR) do periódico que publicou o artigo, e o “índice de meia vida” do periódico e do artigo.

Tabela 5: Cinco artigos mais relevantes ao tema nas bases SCOPUS e ISI

| Ano | Título | Autor(es) | Periódico | Grau de Relevância | |
|------|--|---|--|--------------------|-----|
| | | | | SCOPUS | ISI |
| 2013 | <i>A multidimensional analysis of electricity generation options with different scenarios in Turkey</i> | <i>Boran, F.E et. al.</i> | <i>Energy Sources</i> | 1° | 1° |
| 2004 | <i>A multi-criteria analysis of Canadian electricity supply futures</i> | <i>Noble, B.F.</i> | <i>Canadian Geographer</i> | 2° | 2° |
| 2016 | <i>Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania</i> | <i>Štreimikiene, D., Šliogeriene, J., Turskis, Z.</i> | <i>Renewable Energy</i> | 3° | 3° |
| 2013 | <i>Is nuclear power an optimal option for electricity generation in Turkey?</i> | <i>Boran, F.E.; Etöz, M.; Dizdar, E.</i> | <i>Energy Sources</i> | 4° | - |
| 2011 | <i>Evaluating policy options for increasing the RES-E penetration in Greece</i> | <i>Kambezidis, H.D., Kasselouri, B., Konidari, P.</i> | <i>Energy Policy</i> | 5° | - |
| 2007 | <i>Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece</i> | <i>Diakoulaki, D.; Karangelis, F.</i> | <i>Renewable & Sustainable Energy</i> | - | 4° |
| 2015 | <i>Benchmarking of maintenance and outage repair in an electricity distribution company using the value-based DEA method</i> | <i>Gouveia, M. C. et. al.</i> | <i>Omega-International Journal of Management Science</i> | - | 5° |

Fonte: SCOPUS (2016) e ISI (2016)

De acordo com a pesquisa bibliométrica realizada sobre o tema proposto, constatou-se que os três primeiros trabalhos são comuns às duas bases de pesquisas como artigos mais relevantes sobre o tema, são eles:

3.4.6.1. A multidimensional analysis of electricity generation options with different scenarios in Turkey

Neste trabalho os autores retratam a preocupação com relação ao aquecimento global e as formas de obtenção e uso de energia, em especial a elétrica, não só em países em desenvolvimento, mas no resto do mundo. O consumo de energia elétrica na Turquia, país em desenvolvimento, tem se intensificado e a previsão é que continue a aumentar. Para geração de eletricidade empregam-se fontes de energia não renovável, como por exemplo, o linhito e a hulha, que são tipos de carvão mineral. Visando uma solução para o problema na Turquia, os autores realizaram uma análise sobre as opções de geração de eletricidade com vários cenários, levando em consideração a eficiência, custo de instalação e avaliação de emissão de CO₂. com base nessas informações elaboram um ranking da melhor solução em cada cenário.

3.4.6.2. A multi-criteria analysis of Canadian electricity supply futures

Este trabalho apresenta uma análise multicritério para o fornecimento futuro de energia elétrica no Canadá. Para o estudo, especialistas responderam questionários avaliando alternativas em função de fatores ambientais, sociais e econômicos, baseados no *Natural Resources Canada Business Plan* (1997–2001). A análise multicritério foi realizada a partir do método *Analytic Hierarchic Process* (AHP) desenvolvido por Saaty (1977). Em nível nacional, setorial e regional a opção A3 foi selecionada. Ela enfatiza o aumento da participação das fontes renováveis de energias, bem como a diversificação na obtenção da energia elétrica e melhorias nas tecnologias para o uso de combustíveis fósseis.

3.4.6.3. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania

O artigo apresenta o processo de escolha de tecnologias de geração de eletricidade na Lituânia. Na análise multicritério foram empregados os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Additive Ratio Assessment method* (ARAS). Com a análise de critérios qualitativos e quantitativos foi possível avaliar as

tecnologias de produção de eletricidade, considerando seus aspectos económicos, tecnológicos, ambientais, sociais e políticos, e assim classificá-las em ordem de prioridade. Os resultados obtidos apresentam a energia nuclear como primeira opção, a usina de biomassa como segunda e a usina hidrelétrica como terceira prioridade para geração de energia elétrica na Lituânia.

3.4.7. Métodos, critérios e subcritérios aplicados

Este trabalho se propôs a realizar uma análise mais detalhada dos artigos sobre o tema métodos de análise multicritério na seleção de fontes de energia elétrica.

Dos 37 artigos resultantes da busca realizada na base, nove foram desconsiderados para a análise, pois os temas eram irrelevantes para a pesquisa proposta. E em outros quatro artigos, não foi possível a verificação mais detalhada, porque os mesmos não se encontravam mais disponíveis nos respectivos periódicos. Totalizando 24 artigos consultados no gráfico 6 apresenta os métodos AMD e o respectivo número de trabalhos em que foram aplicados.

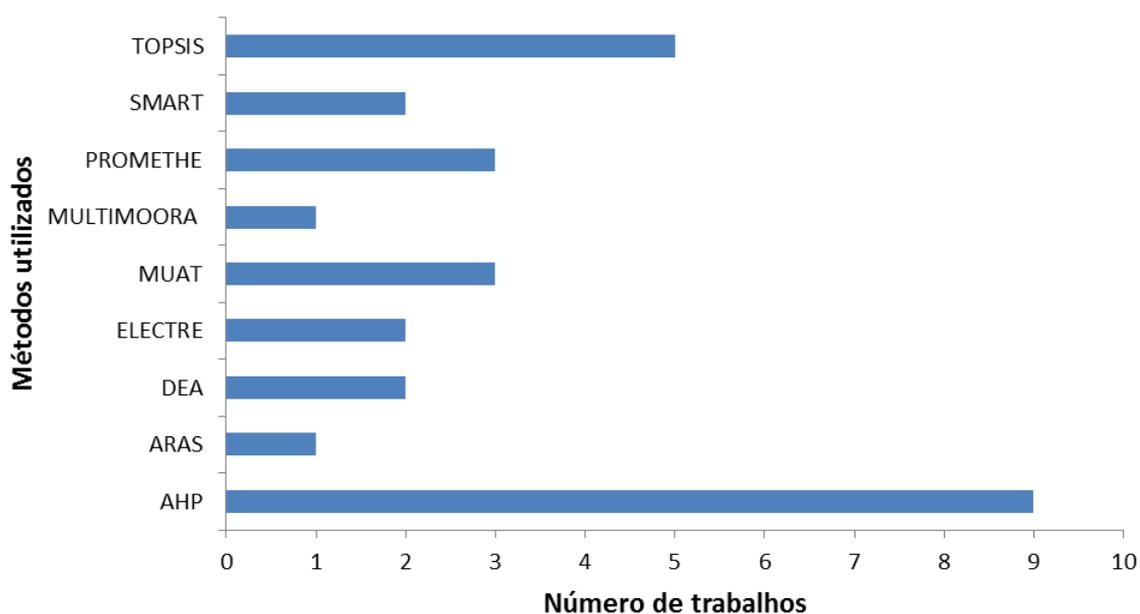


Gráfico 6. Métodos mais aplicados.

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando o gráfico 6 apresentado acima percebe-se que o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi o mais aplicado nos estudos consultados. Introduzido por Saaty (1990) é caracterizado por sua simplicidade e robustez, permitindo que sua aplicação se estenda a variadas áreas, entre as quais: planejamento estratégico, classificação de risco, alocação de recursos, marketing, planejamento energético, entre outras.

Em seguida com cinco artigos, o método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi o mais aplicado nos estudos levantados. O método permite a adoção de uma quantidade não limitada de critérios para avaliar uma quantidade não limitada de alternativas. Além disso, a simplicidade dos procedimentos matemáticos do processo contribui para a facilidade de implementação e aplicação (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Os métodos PROMETHEE (*Preference ranking organization method for enrichment evaluation*) e MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) cada um com três artigos. O método PROMETHEE é caracterizado pela facilidade de uso e diminuição da complexidade. O uso do princípio *outranking*, comparando as alternativas para classificá-las em relação ao número de critérios (TAHA; DAIM, 2013). O MAUT é um dos métodos de auxílio multicritério mais populares, o mesmo leva em consideração as preferências do decisor entre os elementos de um conjunto, usando-se número para isso.

Além dos métodos mais aplicados descritos acima, o Figura 14 apresenta os métodos DEA (*Data Envelopment Analysis*), ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e SMART (*Specific Measurable Attainable Relevant Time-bound*) cada um sendo aplicado em 2 trabalhos, enquanto que ARAS (*Additive Ratio Assessment*) e MULTIMOORA (*Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis*) aplicados em 1 artigo cada.

Ressalta-se que alguns trabalhos aplicaram mais de um método, sendo os mesmos quantificados, totalizando 28 citações em 24 trabalhos.

Conforme mencionando no início desta seção, realizou-se uma busca minuciosa pelos artigos utilizados nesse estudo bibliométrico, a fim de elucidar os critérios mais citados nos mesmos.

Deve ser dada particular atenção à escolha dos critérios nas situações-problema envolvendo múltiplos fatores para a decisão. A definição dos critérios que devem ser levados em consideração na modelagem é o ponto-chave para que o tomador de decisão consiga chegar a uma escolha final. Os critérios devem contemplar às preferências dos decisores, de modo a resumir e a reunir as diversas dimensões na avaliação das alternativas disponíveis. Diante disso, foi realizada a pesquisa dos critérios mais utilizados para a seleção de uma sistema/fonte de fornecimento de energia elétrica em problemas envolvendo múltiplos critérios (NUNES JUNIOR, 2006)

Vários critérios foram citados nos trabalhos consultados, ao todo, foram 5 critérios levantados (ambiental, econômico, político, social e técnico). Os critérios foram divididos em subcritérios, dando um total de 38.

O quadro 4 apresenta os critérios e subcritérios levantados, bem como o número de vezes em que foram usados para as avaliações nos artigos consultados.

| CRITÉRIOS | SUBCRITÉRIOS | Nº DE CITAÇÕES |
|------------------|--|----------------|
| <i>Ambiental</i> | Área de terra disponível para implantação | 2 |
| | Contribuição da fonte renovável ao saldo total de energia | 1 |
| | Custos externos ambientais | 2 |
| | Efeitos sobre as alterações climáticas e cortes de poluição | 2 |
| | Emissões de GEE | 7 |
| | Impacto à saúde humana | 2 |
| | Impacto Ambiental | 3 |
| | Toneladas de CO2 evitadas | 2 |
| | Tratamento de resíduos | 2 |
| <i>Econômico</i> | Competitividade da tecnologia | 1 |
| | Custo de produção de energia | 6 |
| | Custo do ciclo de vida | 1 |
| | Custos de ligação à rede | 1 |
| | Custo de Manutenção da tecnologia/sistema | 5 |
| | Eficiência econômica | 1 |
| | Impacto na economia | 1 |
| | Período de retorno depreciado | 1 |
| | Retorno econômico | 4 |
| | Valor de aquisição/instalação do sistema | 8 |
| | Viabilidade econômica financeira | 1 |
| <i>Político</i> | Apoio de Instituições governamentais | 2 |
| | Atendimento às normas internacionais | 1 |
| | Benefícios econômicos nacionais | 1 |
| | Compatível com políticas locais, regionais e nacionais | 1 |
| | Influência no desenvolvimento sustentável de energia | 3 |
| | Regulamentação legal das atividades | 1 |
| <i>Social</i> | Influência no bem estar social (emprego, segurança e economia) | 4 |
| | Aceitação pública - opinião | 2 |
| | Influência sobre o desenvolvimento sustentável da sociedade (educação, ciência e cultura) | 1 |
| <i>Técnico</i> | Capacidade nominal da tecnologia | 2 |
| | Confiabilidade da tecnologia | 4 |
| | Disponibilidade de recursos para geração de eletricidade/segurança no abastecimento | 5 |
| | Eficiência da tecnologia | 5 |
| | Estabilidade da rede | 1 |
| | Mão de obra especializada | 1 |
| | Maturidade da tecnologia | 1 |
| | Modularidade do sistema | 2 |
| | Reserva do combustível | 3 |
| Vida útil | 2 | |

Quadro 4. Critérios citados nos trabalhos consultados.
Fonte: elaborado pelo autor (2016).

3.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente trabalho apresentou uma revisão sistematizada dos métodos AMD aplicados à geração de energia elétrica. Como base no termo pesquisado nos periódicos indexados nas bases o trabalho apresenta o número de publicações por ano, as dez primeiras publicações, número de publicações por periódico, os principais autores, número de publicações por países e análise dos artigos mais relevantes ao tema. Com base nessas informações, a pesquisa se torna mais objetiva.

Nas publicações analisadas, os métodos AMD foram empregados para revisão ou análise comparativa entre os métodos, em projetos de seleção e alocação de uma tecnologia para geração de eletricidade, avaliação de projetos ou sistemas de fornecimento de energia elétrica e estudos para o planejamento energético. Percebe-se que a grande maioria dos trabalhos utilizou o método Analytic Hierarchy Process (AHP) nas análises.

As limitações desta pesquisa referem-se à utilização de apenas duas bases científicas: Scopus e ISI (Web of Knowledge), disponíveis no portal de periódicos CAPES. Outro fator de limitação refere-se à utilização de expressões booleanas para a seleção dos artigos. Embora tenha-se escolhido um termo comum ao tema pesquisado, é certo que todas as expressões não tenham sido consideradas na pesquisa, o que possibilita haver textos não incluídos na análise.

Para trabalhos futuros, sugere-se também a utilização de outras bases científicas, como por exemplo, *Science Direct*, *Scielo*, *Spell* entre outras, com a inclusão na pesquisa de dissertações de mestrados e teses de doutorados.

O levantamento bibliométrico apresentado neste trabalho norteará as pesquisas envolvendo métodos AMD e geração de eletricidade, elucidando informações que antes eram desconhecidas.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEUREN, I.M.; SOUZA, J.C. Em busca de um delineamento de proposta para classificação dos periódicos internacionais de contabilidade para o Qualis CAPES. **Revista Contabilidade e Finanças**. 2008, v. 19, n.46, p. 44-58. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rcf/v19n46/v19n46a05.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

BORAN, F. E. et al. A Multidimensional Analysis of Electricity Generation Options with Different Scenarios in Turkey. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 8, n. 1, p.44-55, 2 jan. 2013. Disponível em: <DOI: 10.1080/15567240903117591>. Acesso em: 20 mar. 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8, 2011, 12-14 set; Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre-RS: Instituto de Gestão de Desenvolvimento de Produtos, 2012. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/15903>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

COSTA, Helder G. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista da FAE**, Curitiba, p. 115-126. Jan; 2010. Disponível em: <<img.fae.edu/galeria/getImage/351/780580343311021.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

DIAKOULAKI, D.; KARANGELIS, F.. Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 4, p.716-727, maio 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.007>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Monthly electricity statistics**: 2014. Disponível em:<<http://www.iea.org/publications>>. Acesso em: 30 maio 2016.

_____. **Monthly electricity statistics**: 2015. Disponível em:<<http://www.iea.org/statistics/topics/Electricity/>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão e Produção**, São Paulo, v. 22, n. 1, p.17-34, mar. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1190>>. Acesso em: 12 maio 2016.

MENDES, Luiz Fernando Rosa. **Análise multicritério para universalização dos serviços elétricos em domicílios rurais isolados da Região Norte Fluminense**. 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2013. Disponível em: <http://pep.ucam-campos.br/images/arquivos/Dissertacoes/Luiz_Fernando_Rosa_Mendes.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2016.

MOURMOURIS, J.c.; POTOLIAS, C. A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece. **Energy Policy**, v. 52, p.522-530, jan; 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.074>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

NOBLE, Bram F. A multi-criteria analysis of Canadian electricity supply futures. **The Canadian Geographer / Le Géographe canadien**, v. 48, n. 1, p.11-28, mar. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1085-9489.2004.002b16.x>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

ROJAS-ZERPA, Juan C.; YUSTA, Jose M.. Methodologies, technologies and applications for electric supply planning in rural remote areas. **Energy for Sustainable Development**, v. 20, p.66-76, jun. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2014.03.003>>. Acesso em: 21 abr 2016.

SAATY, T.L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**. 1990, n. 48, p. 9-26. Disponível em: <<https://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf>>. Acesso em: 21 abr 2016.

SANTOS, Raimundo Nonato Macedo. Produção científica: por que medir? O que medir? **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 1, n. 1, p.22-38, maio 2003. Disponível em: <<http://www.brapci.ufpr.br/brapci/index.php/article/view/0000015295/44dd0918ad14531d4014536ec47e2832>>. Acesso em: 21 abr 2016.

TAHA, Rimal Abu; DAIM, Tugrul. Multi-criteria applications in renewable energy analysis, a literature review. **Research and Technology Management In The Electricity Industry**, p.17-30, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-5097-8_2>. Acesso em: 12 mar. 2016.

TREIMIKIENĖ, Dalia; LIOGERIENĖ, Jūratė; TURSKIS, Zenonas. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. **Renewable Energy**, v. 85, p.148-156, jan. 2016. Disponível em: Disponível em: <DOI: 10.1016/j.renene.2015.06.032>. Acesso em: 09 fev. 2016.

4. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS COM PRODUÇÃO LEITEIRA: UM ENFOQUE MULTICRITERIAL

4.1. RESUMO

O setor agropecuário é um importante setor na economia brasileira, sendo o Brasil um dos principais produtores de leite do mundo. A produção leiteira consiste em uma importante fonte de renda e emprego para as famílias que se encontram no campo. Desse modo, os requisitos energéticos, principalmente a energia elétrica, vêm numa trajetória crescente. A energia elétrica é utilizada no processo de ordenha, na conservação e processamento do leite, higienização, além da irrigação de pastos. A descontinuidade ou instabilidade no fornecimento de energia elétrica implica em redução e prejuízos na produção leiteira, uma vez que sem energia o produtor não tem como manter o leite a temperatura por lei exigida até a retirada pela empresa de laticínio. Diante dessa problemática, este capítulo se propõe a realizar uma análise multicritério para escolha de um sistema alternativo de geração de energia elétrica em propriedades com produção leiteira. Este trabalho utilizou como estudo de caso as propriedades localizadas no município de São Francisco do Itabapoana. O método *Analytic Hierarchy Process (AHP)* foi aplicado considerando os critérios: econômicos, sociais, ambientais, técnicos e políticos; e as alternativas: sistema fotovoltaico (FV), sistema eólico (EOL), sistema híbrido (HIB) e gerador a diesel (GD). Os resultados apontaram o gerador diesel como melhor opção, pois na visão dos especialistas, os critérios técnicos e econômicos possuem o maior peso na análise, e para esses critérios o gerador diesel é a tecnologia mais desenvolvida

tecnicamente, como maiores rendimentos, e apresenta um menor custo de aquisição.

PALAVRAS-CHAVE: Pecuária Leite. Geração Distribuída. Processo de Análise Hierárquica.

4.2. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o crescimento do setor agropecuário no Brasil caracterizou-se como uma importante fonte de renda e emprego para famílias do campo, minimizando assim o êxodo rural. Para países menos industrializados, o setor leiteiro é um importante gerador de empregos no campo, onde pequenas propriedades rurais utilizam mão de obra familiar (CAVALCANTE, 2010).

Médias e pequenas propriedades agropecuárias têm diversificado a produção como forma de obtenção de renda e permanência no campo. Esta situação é característica no município de São Francisco do Itabapoana, no norte do Estado do Rio de Janeiro, onde a produção leiteira é uma das principais fontes de renda em propriedades rurais. O aumento gradual no consumo de energia nestas fazendas de gado leiteiro tem motivado a busca de fontes de energias alternativas, que poderiam reduzir a dependência com a rede convencional de distribuição de energia elétrica. A opção pode resultar na redução de custos e aumentar a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica para este setor produtivo.

A instabilidade no fornecimento de energia elétrica pelo sistema convencional e sua cobertura heterogênea no território motivaram a realização deste estudo. As falhas no fornecimento de energia por parte da concessionária regional resultam em perdas significativas da produção leiteira. Além disso, a região apresenta recursos naturais energéticos que poderiam conferir autonomia aos produtores rurais.

O objetivo deste estudo é realizar uma avaliação multicriterial das alternativas de geração energia elétrica para as instalações das propriedades com produção leiteira. Para isso, utilizou-se para o estudo as propriedades localizadas no município de São Francisco do Itabapoana, localizado na região norte do estado do Rio de Janeiro.

4.3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

4.3.1. Sistemas alternativos de geração de energia elétrica

A falta de fornecimento de energia elétrica confiável e acessível é um grande impedimento para o desenvolvimento de muitas comunidades rurais, principalmente aquelas mais distantes da rede elétrica convencional. Isto é especialmente verdadeiro nos países em desenvolvimento, onde os sistemas isolados da rede são muitas vezes a única solução prática para a geração de eletricidade. Tradicionalmente, os sistemas *off-grid* dependem exclusivamente de geradores a diesel, devido à sua simplicidade, larga escala de potência de geração e ao baixo custo envolvido na sua aquisição, quando comparado com outras fontes alternativas de potências equivalentes (RASHED et al., 2008). A instabilidade do preço do petróleo faz com que os sistemas baseados em diesel não sejam rentáveis, além de causar maiores impactos ambientais por meio da emissão de gases do efeito estufa (GAN; SHEK; MUELLER, 2015).

O grupo gerador é composto por motor diesel e um gerador síncrono acoplado ao eixo desse motor. O diesel possui um regulador de velocidade que ajusta a velocidade de rotação do sistema de acordo com a velocidade síncrona do gerador. O controle da velocidade é realizado por meio do controle da válvula de combustível, sendo assim, quanto maior for a abertura da válvula, maior é a velocidade do motor ou o torque sobre seu eixo (REF).

A necessidade de atender a demanda energética nas diversas áreas causando o mínimo de impacto, seja ele social ou ambiental, faz surgir a busca e exploração de fontes energéticas alternativas. As tecnologias que convertem a energia disponível na natureza sejam do vento, da água, do sol permitem que o homem aumente sua capacidade de trabalho (GADANHA et al., 1991). Nesse sentido, a geração eólica e solar são potenciais soluções para atendimento a esta demanda.

A energia eólica é uma fonte limpa em comparação com o combustível convencional e tem a vantagem de ser aproveitada em áreas rurais e remotas. A fim de explorar o potencial do vento, o mapeamento eólico tem sido realizado

extensivamente (SEN et al., 2016). Para a geração eólica é necessário o emprego de aerogeradores que são compostos por um conjunto de hélices conectadas a um gerador que produz eletricidade. A energia produzida pelo conjunto varia conforme o tamanho das hélices e do regime de ventos na região onde o aerogerador encontra-se instalado (ALVES, 2010). O Brasil possui um dos maiores potenciais eólicos do planeta e, mesmo a geração eólica representando 6,17% de toda a energia elétrica produzida no país, há planos ambiciosos para exploração desse recurso energético.

A energia solar é aquela proveniente da radiação solar. A radiação solar que atinge a superfície da Terra em um ano oferece mais de 10.000 vezes as demandas energéticas anuais do mundo. Além disso, aproveitando apenas um quarto da energia solar que cai em áreas pavimentadas do mundo poderia atender todas as necessidades energéticas globais atuais confortavelmente (SEN et al., 2016). A energia proveniente da radiação solar é captada por painéis solares, compostos por células fotovoltaicas (FV), e transformada em energia elétrica ou mecânica (HODGE, 2011). Para conversão da radiação solar em eletricidade são empregados determinados materiais, mais especificamente, semicondutores com o silício, germânio entre outros. Nesses materiais os fótons liberados são convertidos em energia elétrica.

As fontes de energia renováveis citadas anteriormente são limpas e inesgotáveis, no entanto, elas são dependentes de fatores imprevisíveis, como as condições climáticas. Devido à intermitência da energia solar e eólica em determinados locais, a deficiência de uma fonte pode ser parcialmente superada pelo aproveitamento complementar de outra, ou seja, utilizando um sistema de energia híbrido. Os sistemas híbridos apresentam maior confiabilidade e menor custo de geração do que os sistemas que empregam apenas uma fonte de energia (ADARAMOLA; PAUL; OYEWOLA, 2014).

4.3.2. Método de Análise Hierárquica (AHP)

Desenvolvido nos Estados Unidos na década de 70, pelo então professor Thomas L. Saaty, o Processo de Análise Hierárquica (AHP) é um dos métodos mais

conhecidos e mais utilizados em problemas envolvendo múltiplos critérios e alternativas (SAATY, 1990).

Santos, Pagsuyoin e Latayan (2015) atribuem o uso crescente do método a alguns fatores: facilidade e praticidade de uso; capacidade de analisar decisões de múltiplos critérios de forma sistemática; envolvimento de tomadores de decisão na obtenção de preferências; e disponibilidade de softwares (livres e comerciais), facilitando sua implementação e uso.

A resolução de um problema através do método AHP se divide nas seguintes etapas: construção da estrutura hierárquica, realização de comparações paritárias, obtenção de resultados específicos (prioridades locais) e globais (prioridade global) e avaliação da tomada de decisão.

A fase de construção da estrutura hierárquica consiste na estruturação (modelagem) do problema. Esta etapa permite aos decisores melhor visualização da situação, possibilitando seu desmembramento em subgrupos (SAATY;ALEXANDER, 1989). A estrutura hierárquica mostra as relações entre as metas, os critérios que representam os objetivos e/ou sub-objetivos, e as alternativas que envolvem a decisão. A estrutura dá origem a uma “árvore de decisão”. A Figura 9 apresenta a estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão (SAATY, 1990).

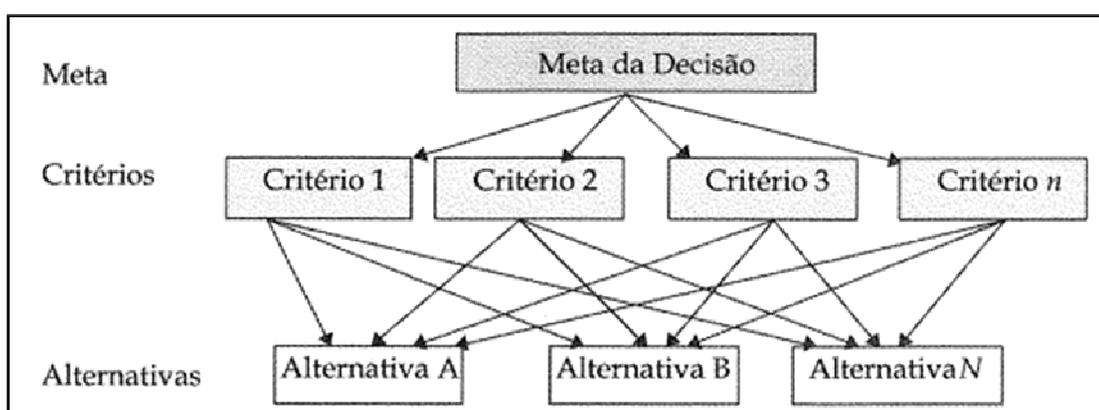


Figura 9. Modelo de estrutura hierárquica genérica no método AHP.
Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

A estruturação do problema exige uma participação ativa dos decisores ou grupo de decisores no processo de resolução, ocasionando assim um maior comprometimento para implementação da decisão.

Após a modelagem do problema, segue a fase de avaliação, por meio de comparação paritária, ou seja, par a par, entre os critérios, sub critérios (se houver). A partir das comparações é possível a determinação da importância relativa (pesos) de cada critério e/ou subcritério na estrutura hierárquica. Os critérios são comparados segundo à escala de julgamentos indicada por Saaty (1990) (Quadro 5).

| Grau de Importância | Definição | Explicação |
|---------------------|--|---|
| 1 | Igual importância | As duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo. |
| 3 | Importância moderada | A experiência e o julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação à outra. |
| 5 | Forte importância | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra. |
| 7 | Importância muito forte | Uma alternativa é fortemente favorecida em relação à outra e sua dominância é demonstrada na prática. |
| 9 | Importância Absoluta | A evidência favorece uma alternativa em relação à outra, com o mais alto grau de segurança. |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes | Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições. |

Quadro 5. Escala de julgamento de importância do AHP.
Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

Os resultados das comparações são apresentados na seguinte forma matricial:

$$\begin{array}{cccccc}
 a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\
 a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{n4}
 \end{array}$$

Figura 10. Escala de julgamento de importância do AHP.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Desta maneira, cada julgamento representa o quanto um elemento da coluna à esquerda é mais importante que o elemento da linha. Os julgamentos devem obedecer ao axioma da reciprocidade, ou seja:

$$a) a_{ij} = \alpha \quad b) a_{ji} = \frac{1}{\alpha} \quad c) a_{ii} = 1 \quad \text{onde:}$$

a_{ij} = comparação paritária entre os critérios i e j ;

α = valor de intensidade de importância.

A equação 1 permite a resolução da matriz, resultando nos autovetores (W_i) de prioridades, ou seja, expressando a importância relativa de cada critério (COSTA, 2006).

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^n W_{ij} \right)^{1/n}$$

Equação 1: Cálculo da Resolução da Matriz
Fonte: Costa (2006)

O cálculo de Normalização dos autovetores pela equação 2, possibilita a comparabilidade entre os critérios e alternativas (MENDES, 2013).

$$T = \left| \frac{W_1}{\sum W_i} ; \frac{W_2}{\sum W_i} ; \frac{W_3}{\sum W_i} \right|$$

Equação 2: Cálculo de Normalização dos Autovetores
Fonte: Mendes (2013)

A equação 3 permite relacionar os critérios da matriz de consistência e os pesos dos critérios.

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \frac{[W]_i}{W_i}$$

Equação 3: Cálculo da Relação entre os Critérios da Matriz de Consistência e os Pesos dos Critérios.
Fonte: Mendes (2013)

De posse das importâncias relativas dos critérios é testada a integridade dos julgamentos, calculando-se o índice de consistência (IC). Este índice permite avaliar o grau de inconsistência na matriz de julgamentos pariados (COSTA, 2006).

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{(n-1)}$$

Equação 4: Cálculo do Índice de Consistência (IC)

Fonte: Costa (2006)

A próxima etapa é calcular a Razão de Consistência (RC) para medir o quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos completamente aleatórios. A RC esta baseada no índice de consistência (IC) pelo índice de consistência aleatório (CA), conforme mostra a equação 5.

$$RC = \frac{IC}{CA}$$

Equação 5: Cálculo da Razão da Consistência (RC)

Fonte: Costa (2006)

O CA pode ser obtido a partir da Tabela 6, onde o mesmo pode ser obtido em função do número de critérios.

Tabela 6: Índices de consistência de aleatoriedade

| | Nº de critérios constantes na modelagem do problema | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Quantidade | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Índice de consistência de Aleatório | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: Mendes (2013)

Caso o RC seja maior que 0,1, Saaty (1990) indica uma revisão nos julgamentos dos decisores/especialistas, buscando torná-los consistente. Essa consistência é obtida com $RC < 0,1$.

4.4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em: pesquisa de campo por meio de aplicação de questionários; estruturação do problema; e uso do método AHP na modelagem. O AHP clássico foi desenvolvido utilizando a ferramenta computacional IPÊ 1.0.

A região estudada compreende o município de São Francisco do Itabapoana, localizado no litoral norte do estado do Rio de Janeiro (Figura 10) e possui cerca de 41.291 habitantes, segundo estimativa de 2015 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O município tem como vocação regional a agricultura, pecuária, pesca e turismo.



Figura 11. Localização de São Francisco de Itabapoana no Rio de Janeiro
Fonte: IBGE (2015)

Foram aplicados questionários (APÊNDICE A) visando o esclarecimento de questões relacionadas à produção e conservação do leite no município. O questionário aplicado foi estruturado em 2 blocos. O primeiro possui questões que visam coletar informações sobre a capacidade de produção das propriedades leiteiras, enquanto que o segundo bloco, visa coletar informações sobre a qualidade de energia elétrica na propriedade.

Este trabalho restringe-se ao processo de produção e resfriamento do leite cru tipo B, o qual inicia-se com o enchimento do tanque após a ordenha dos animais e encerra-se no esvaziamento do tanque, no momento da coleta do leite pela empresa laticínio. Segundo a Normativa 51, entende-se leite cru refrigerado tipo B, o produto integral quanto ao teor de gordura, sendo refrigerado na própria propriedade produtora, mantido nela pelo período máximo de 48 h, em temperatura igual ou inferior a 4°C. Essa temperatura deverá ser atingida no máximo três horas após o término da ordenha.

Os questionários foram aplicados durante os meses de março e abril de 2016. No total foram entrevistados 25 produtores de leite, além do secretário de agricultura do município. A pesquisa se concentrou nas regiões de Praça João Pessoa, onde segundo a Emater regional, é responsável por cerca de 80% da produção de leite no município.

4.4.1. Estruturação do problema

Após análise dos questionários e as visitas às propriedades da região, foi possível o levantamento da infraestrutura e as demandas energéticas das mesmas. Bem como os problemas relatados pelos proprietários a respeito da continuidade no fornecimento de energia elétrica na região.

A produção média diária de leite na região é de 500 litros, com tanques resfriamento de leite de 2000 litros instalados. Além de bombas, ordenhadeiras e picadeiras instaladas no local de produção. O Quadro 6 que consta a lista as cargas encontradas nas propriedades, bem como suas respectivas características elétricas e finalidades, conforme informações repassadas pelos produtores.

| Maquina / Equipamento | Potência (kW) | Finalidades |
|--------------------------------|----------------------|---|
| Bomba d'água | 0,736 | Bomba de uso geral, usada para limpeza da sala de ordenha, de equipamentos e máquinas, entre outras. |
| Bomba d'água | 3,5 | Bomba usada para irrigação dos pastos utilizados na complementação da alimentação dos animais. |
| Picadeira Estacionária | 2,2 | Executam o corte de material verde, como a cana, capins, forragens, utilizados no trato diário dos animais. |
| Ordenhadeira | 1,5 | Usado no processo de ordenha dos animais, sendo a bomba de vácuo a principal parte desta máquina. |
| Refrigerador/Taque de expansão | 2,6 | Usado para a conservação do leite após a ordenha. Tem por objetivo inibir o crescimento bacteriano e prolongar o armazenamento do produto na propriedade rural de forma a reduzir os custos de transporte e evitar a perda da qualidade do produto. |
| Iluminação | 0,5 | Iluminação com lâmpadas fluorescentes ou incandescentes da sala de ordenha |

Quadro 6. Maquinas e Equipamentos elétricos na área produtiva das propriedades.

Fonte: Elaborado pelo autor. (2016).

Diante dos resultados preliminares das visitas e questionários definiu-se o padrão de consumo de energia elétrica em propriedades leiteiras na região, bem como a potência elétrica média instalada nas mesmas. Considerou-se então um consumo médio de energia elétrica de 500kWh/mês e 12 kVA de potência instalada.

Sendo assim, o foco principal deste trabalho é escolher o melhor sistema alternativo de geração de eletricidade para propriedades leiteiras situadas em São Francisco do Itabapoana-RJ.

4.4.2. Critérios, alternativas e estruturação hierárquica

A partir do estudo bibliométrico apresentado no capítulo 2 deste trabalho, 6 critérios foram identificados como os mais relevantes para a modelagem do problema, são eles: Custo de Aquisição, Custo de Produção, Segurança no Abastecimento, Custo de Manutenção, Eficiência da Tecnologia e Emissão GEE.

Além dos 6 critérios levantados, outro critério foi considerado na modelagem, o critério “Possibilidade de Conexão à Rede”. Este se refere à possibilidade da propriedade fornecer energia na rede da distribuidora local de eletricidade, recebendo assim créditos, quando a quantidade injetada na rede superar a quantidade consumida. A redução nos custos de energia elétrica representa menores custos de produção, aumentando assim competitividade do produtor no mercado leiteiro. O Quadro 7 apresenta os critérios, bem como detalhes dos mesmos.

| Critério | Descrição | Escala (Unidade) | Direção de Preferência | Autor |
|---------------------------------|--|---|-------------------------------|------------------------------|
| Custo de Aquisição | Custo necessário na aquisição e instalação dos equipamentos na propriedade. | \$/kW | Minimização | Rozali et al. (2016) |
| Custo de Produção | Custo necessário para a produção de energia (kWh). Aplicado principalmente nos sistemas com geradores a diesel, por meio da compra de combustível para obtenção de eletricidade. | \$/kWh | Minimização | ANP (2016) |
| Possibilidade de Conexão à Rede | Possibilidade de conexão à rede elétrica convencional, possibilitando a venda do excedente de energia. | Sim, Não | - | ANEEL (2015b) |
| Segurança no Abastecimento | Avalia se a fonte de energia primária se encontra disponível no local, e se a mesma será suficiente para a geração de eletricidade. | Alta, média, baixa | Maximização | Ribeiro (2010) |
| Custo de Manutenção | Custo necessário para manter o sistema de geração em plena condição de funcionamento, prevenindo falhas e paradas inesperadas. | \$/kW.ano | Minimização | Rozali et al. (2016) |
| Eficiência da Tecnologia | Capacidade do sistema de geração de energia na conversão de um tipo de energia (solar, eólica, entre outras) em energia elétrica útil. | % | Maximização | Stein (2013) Barin (2010) |
| Emissões GEE | Quantidade de emissões de gases de efeito estufa consequente da geração de energia pela tecnologia usada. | Quantidade de gases emitidos por cada kWh gerado. | Minimização | IEA (2016) |

Quadro 7. Critérios selecionados para a análise.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da avaliação do potencial energético das opções de geração de

energia elétrica na região, quatro sistemas (Eólico, Fotovoltaico, Híbrido e Grupo Gerador a Diesel) de energia foram escolhidos como alternativas para a análise multicritério. Estas opções não cobrem toda a gama de possíveis soluções para a região estudada, no entanto, elas foram selecionadas como os mais relevantes para esta avaliação. Pode-se citar a produção de biogás a partir dos dejetos dos animais das propriedades, porém o mesmo não foi considerado devido ao baixo volume e dispersão da matéria prima.

Definidos os critérios e alternativas, desenvolveu-se a árvore da estrutura hierárquica (Figura 12) do problema em questão para seleção de um sistema alternativo de geração de energia elétrica para propriedades com produção leiteira em São Francisco do Itabapoana/RJ.

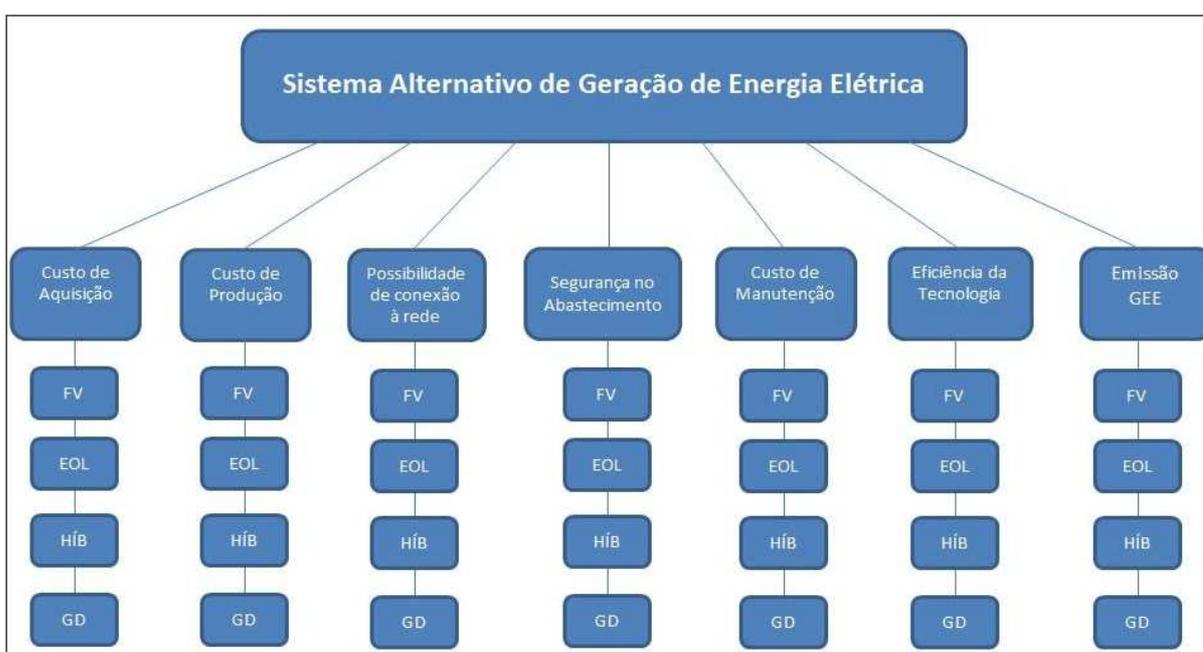


Figura 12. Estrutura hierárquica do problema: Sistema Fotovoltaico (FV); Sistema Eólico (EOL); Sistema Híbrido (HÍB); Gerador a Diesel (GD).

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observam-se na árvore hierárquica as alternativas de sistemas de geração de energia elétrica (Fotovoltaico, Sistema Eólico, Sistema Híbrido e Gerador a Diesel), levando-se em consideração para tomada de decisão os critérios selecionados, tais como: o custo de aquisição, custo de produção, possibilidade de conexão à rede,

segurança no abastecimento, custo de manutenção, eficiência da tecnologia e emissão de gases de efeito estufa.

4.4.3. Definição dos pesos dos critérios

Para definição dos pesos dos critérios existentes na estrutura hierárquica, 3 especialistas (Quadro 8) na área de planejamento energético e de regiões diferentes do Brasil foram consultados para uma visão mais ampla nos julgamentos dos critérios.

| Especialista | Titulação | Experiências |
|--------------|-----------------------------------|--|
| A | Doutor em Planejamento Energético | Atua em Eficiência Energética desde 1997, como engenheiro, consultor e docente. Atualmente presta consultoria em Eficiência Energética e atua como pesquisador na UFBA |
| B | Doutor em Engenharia Elétrica | Professor e Pesquisador no IFF, desenvolvendo projetos e pesquisas na área de energias renováveis, além de experiência em eletrônica de potência, qualidade/eficiência de energia e redes neurais. |
| C | Doutor em Engenharia Elétrica | Professor e Pesquisador (UFSC) atuando nos seguintes temas: regulação e mercado de energia, geração de energia elétrica (mini e microgeração), distribuição de energia elétrica, sistemas hidrotérmicos e sistemas de tarifação de energia elétrica. Atuou também como consultor técnico na ANEEL. |

Quadro 8. Perfil profissional e acadêmico dos especialistas participantes da pesquisa
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Cada especialista criou um ranking do critério mais importante ao menos importante. A Tabela 7 apresenta a escolha dos especialistas de acordo com a prioridade dos critérios na seleção de um sistema alternativo de geração de energia elétrica.

Tabela 7: Ranking dos critérios por especialista

| | Especialista A | Especialista B | Especialista C |
|----|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1º | Custo de Aquisição | Possibilidade de Conexão à Rede | Custo de Aquisição |
| 2º | Segurança no abastecimento | Custo de Produção de energia | Custo de Produção de energia |
| 3º | Possibilidade de Conexão à Rede | Custo de Aquisição | Eficiência da Tecnologia |
| 4º | Emissão GEE | Custo de Manutenção | Segurança no abastecimento |
| 5º | Custo de Manutenção | Eficiência da Tecnologia | Custo de Manutenção |
| 6º | Custo de Produção de energia | Segurança no abastecimento | Emissão GEE |
| 7º | Eficiência da Tecnologia | Emissão GEE | Possibilidade de Conexão à Rede |

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A partir desta tabela aplicou-se o método Borda para obtenção do ranking global e, conseqüentemente, a definição dos pesos para os critérios para realização da análise. O método Borda foi proposto por Jean Charles Borda em 1781, na França. O objetivo central deste método é o estabelecimento de uma combinação das ordenações (ranking) individuais realizadas por cada decisor em um ranking global (COSTA, 2014). Para isso alguns passos devem ser tomados para aplicação do método.

- (A). Definição dos avaliadores/decisores/juízes;
- (B). Definição das alternativas a serem ordenadas;
- (C). Obtenção dos julgamentos individuais dos decisores;
- (D). Associação do número de ordem ou “score de ranking” para cada alternativa, considerando os julgamentos individuais de cada avaliador/decisor;
- (E). Soma dos números obtidos por cada alternativa, obtendo-se assim o número de ordem global;
- (F). Obtenção da ordenação final das alternativas, baseado nos números globais.

Seguindo os passos descritos acima, o Quadro 9 foi elaborado, apresentando o resultado da aplicação do método borda.

| CRITÉRIOS | Especialista A | Especialista B | Especialista C | Somatório Total | Posição no Ranking Global |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| Custo de Aquisição | 7 | 5 | 7 | 19 | 1º |
| Possibilidade de conexão à Rede | 5 | 7 | 1 | 13 | 3º |
| Segurança no abastecimento | 6 | 2 | 4 | 12 | 4º |
| Custo de Manutenção | 3 | 4 | 3 | 10 | 5º |
| Emissões GEE | 4 | 1 | 2 | 7 | 7º |
| Custo de Produção de Energia | 2 | 6 | 6 | 14 | 2º |
| Eficiência da Tecnologia | 1 | 3 | 5 | 9 | 6º |

Quadro 9. Ranking geral dos critérios considerando os julgamentos dos especialistas.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Com base nos números obtidos no somatório total é possível identificar a importância dos critérios para o estudo proposto, sendo possível a ordenação global dos mesmos. O critério “Custo de Aquisição” é o mais relevante para o estudo, obtendo 19 pontos globais e o critério “Emissões GEE” é o menos importante, segundo o somatório global, obtendo sete pontos.

4.4.4. Considerações sobre as alternativas à luz de cada critério

Após a formulação do problema, o estudo concentrou-se no levantamento de parâmetros quantitativos e qualitativos das alternativas à luz de cada critério. Segundo Barin et al. (2010), os parâmetros quantitativos são representados por valores reais, ou seja, dados reais de cada característica técnica e econômica avaliada para cada fonte de geração, enquanto que os parâmetros qualitativos são aqueles em que não é possível quantificação ou apresentam dificuldade na sua quantificação.

Para estimar o custo de aquisição dos possíveis sistemas alternativos de energia, este trabalho baseou-se no levantamento realizado por Rozali et al. (2016), onde o mesmo aponta os custos médios em dólar para cada kW adquirido nos sistemas fotovoltaicos (PV), eólicos (EOL) e gerador a diesel (GD), sendo \$3000, \$1400 e \$313, respectivamente. Para estimar os custos dos sistemas híbridos (HIB), considerando um sistema PV+EOL, optou-se por usar a média dos custos de cada sistema individual, ou seja, \$3000 e \$1400, resultando num valor de \$2200 por cada kW.

O custo de produção de energia está relacionado ao gasto por cada kWh gerado pelo sistema alternativo de geração de eletricidade. Para os sistemas PV, EOL e HÍB não há a necessidade de aquisição de combustíveis para a geração. Porém é necessária a aquisição de combustível fóssil, óleo diesel, para o funcionamento dos geradores. Para esse parâmetro foi utilizado o preço médio do litro de óleo diesel no Município de São Francisco do Itabapoana/RJ. O custo foi obtido por meio do “Sistema de Levantamento de Preços” disponível no site da Agência Nacional do Petróleo – ANP, onde o mesmo aponta um preço médio de R\$ 3,03 pelo litro do óleo diesel no mês de dezembro de 2016.

No critério Possibilidade de Conexão à Rede, este trabalho baseou-se na Resolução Normativa nº482/2012 (ANEEL, 2012) alterada pela Resolução Normativa nº687/2015 (ANEEL, 2015b), onde a mesma estabelece as condições gerais para acesso da microgeração (potência menor ou igual a 75kW) e minigeração (potência maior que 75kW e menor ou igual a 3MW) à rede de distribuição de energia elétrica para sistemas baseados em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Sendo assim, é permitida a conexão dos sistemas FV, EOL e HIB aplicados no estudo, não sendo permitida a conexão dos geradores a diesel à rede para o sistema de compensação de energia elétrica.

A segurança no abastecimento está relacionada à continuidade das fontes para a geração de energia elétrica. Mendes (2013) em seu trabalho indica uma velocidade dos ventos no litoral de São Francisco do Itabapoana e outros municípios da região de 6 a 7,5m/s. E segundo o Plano Nacional de Energia – 2030 (PNE-2030) (EPE, 2011) a velocidade de 4m/s a 10m de altura já torna viável, do ponto de vista técnico, a implantação de pequenos aerogeradores para sistemas isolados. Ainda

segundo o PNE-2030 a radiação solar no Brasil varia entre 8 a 22 MJ/m². A radiação global média diária no litoral do Norte do Estado do Rio de Janeiro é de 16MJ/m².dia, ou seja, a radiação é favorável para a geração fotovoltaica. No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (BEM) Ano base 2015 (EPE, 2016), o consumo de óleo diesel girou entorno de 59509 km³, sendo o setor de transportes o maior demandante deste combustível. Desse total, cerca de 2866km³ foram usados na geração de eletricidade. Segundo ainda o BEN 2016, apenas 11,6% do diesel consumido foi proveniente de importação. Com base nos dados apresentados anteriormente, este trabalho buscou qualificar o nível de segurança no abastecimento para geração de eletricidade. Baseando-se na afirmativa de Ribeiro (2012), as fontes solar e eólica são de natureza intermitente, ou seja, baixo nível de segurança. Integrar as fontes solar e eólica no mesmo sistema (híbrido) aumenta o nível de segurança para o abastecimento, sendo então o sistema híbrido classificado com nível médio de segurança. Já os geradores a diesel foram classificados com nível de segurança alto, uma vez que, na região estudada, esse combustível possui fácil obtenção.

Para o parâmetro quantitativo referente ao custo de manutenção dos sistemas alternativos de energia empregados no estudo, optou-se novamente em tomar como referência o trabalho de Rozali et al. (2016), onde ele descreve que o custo anual de manutenção por kW em dólar chega a \$10 para os sistemas fotovoltaicos, \$28 para sistemas eólicos e de \$313 para os geradores a diesel. O custo de manutenção dos sistemas híbridos foi estimado pela média dos valores dos sistemas PV e EOL, resultando em um valor médio de \$19/kW.ano.

Outro critério Quantitativo levantado foi a eficiência dos sistemas alternativos de geração de energia. A verificação da eficiência dos sistemas foi realizada a partir dos trabalhos de Stein (2013) e Barin et al (2010). Eles indicam uma eficiência de 20% para os sistemas PV, 35% para os sistemas eólicos, 45% para os sistemas híbridos e 48,4% para os geradores a diesel.

O último parâmetro levantado foi emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) durante a geração de energia. Nesse parâmetro as emissões foram consideradas nulas pelos sistemas fotovoltaico, eólico e híbrido, pois, durante a operação desses sistemas não há a emissão gases nocivos à natureza. Nos geradores a diesel várias

substâncias poluentes são emitidas para a atmosfera pelos motores durante a combustão, pode-se citar o dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), entre outros, sendo CO₂ a principal fonte de emissão. Segundo estimativas cerca de 715 gCO₂ são emitidos por cada kWh gerado a partir do óleo diesel (IEA, 2016).

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.5.1. Análise dos questionários

A dos questionários consistiu em verificar o nível de produção e modernização das propriedades produtoras de leite na região. Com relação a produção de leite, 80% das propriedades visitadas obtinham uma produção média diária de 100 litros (Tabela 8).

Tabela 8: Produção média diária de leite das propriedades visitadas

| Produção média diária (em litros) - P | Nº de Produtores | Percentual (%) |
|--|---------------------|-------------------|
| P ≥ 100 | 5 | 20 |
| 100 > P ≤ 500 | 12 | 48 |
| P > 500 | 8 | 32 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A Tabela 9 mostra a capacidade dos taques de resfriamento do leite nas propriedades, o mesmo é utilizado na conservação do leite até ser retirado pelos laticínios. Ressalta-se que nem todos os produtores entrevistados possuíam tanques de resfriamento, foram 19 entrevistados que possuíam tanques de resfriamento de leite. A produção das propriedades que não possuem tanques é escoada para reservatórios particulares de propriedades vizinhas ou nos tanques disponibilizados pela prefeitura.

Tabela 9: Capacidade de armazenamento dos tanques de refrigeração de leite em litros

| CAPACIDADE (C) | Quantidade | Percentual (%) |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| C ≤ 1000 l | 4 | 21 |
| 1000 > C ≤ 1500 l | 2 | 10 |
| 1500 > C ≤ 2000 l | 4 | 21 |
| C < 2000 l | 7 | 37 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Além de identificar o quantitativo de tanques na região, as visitas às propriedades permitiram o levantamento da infraestrutura para produção e conservação do leite. Equipamentos que demandam o uso de energia elétrica foram listados, bem como suas características elétricas para melhor avaliação do sistema como um todo (Tabela 10).

Tabela 10: Equipamentos demandantes de energia elétrica identificados na área de produção e conservação do leite das fazendas

| Maquina / Equipamento | Faixa de Potência (W) | Nº de Propriedades |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Bomba d'água | 500 - 1000 | 17 |
| Bomba d'água | 3000 - 4000 | 8 |
| Picadeira Estacionária | 2000 - 2500 | 8 |
| Ordenhadeira | 1000 - 2000 | 12 |
| Resfriador/Tanque de expansão | 2500 - 3000 | 19 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Sobre a qualidade da energia elétrica dos sistemas de alimentação das propriedades, anomalias foram observadas e destacadas nesse trabalho. Os problemas mais frequentes percebidos pelos usuários foram: Falta frequente de energia, oscilação da tensão na rede elétrica e falta de fase no circuito alimentador. São conceituadas a seguir as anomalias citadas (Gráfico 7).

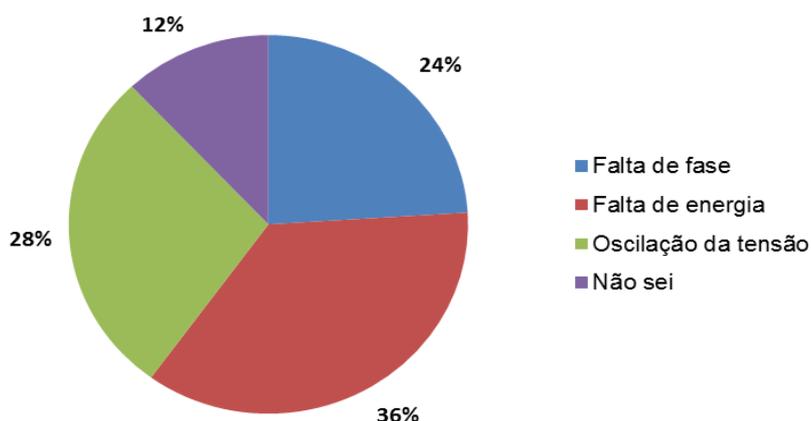


Gráfico 7. Anomalias apontadas pelos produtores de leite da região.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016),

A descontinuidade do fornecimento de energia caracteriza um dos principais problemas percebidos na rede elétrica pelos produtores. A ANEEL possui um mecanismo de avaliação sendo verificadas a frequência e a duração das interrupções ocorridas nos consumidores. A oscilação da tensão é uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão (ANEEL, 2008). A oscilação da tensão na rede diminui a potência elétrica entregue às instalações e máquinas, influenciando no desempenho das mesmas. A Falta de Fase ocorre nos sistemas trifásicos ou bifásicos, nessa situação os equipamentos eletroeletrônicos trifásicos e/ou bifásicos, como bombas d'água, compressores, entre outros, não podem permanecer ligados à rede elétrica, pois danos, muitas das vezes irreversíveis, poderão ser causados aos equipamentos.

A baixa qualidade de energia na região prejudica diretamente a produção local e conseqüentemente a produção municipal de leite de vaca. Na falta de energia ou instabilidade na rede, o funcionamento dos sistemas de produção e conservação de leite ficam comprometidos, gerando diminuição ou perda da produção, desencadeando maiores custos aos produtores. Segundo a pesquisa realizada, cerca de 45% dos entrevistados perderam produção de leite por falta ou oscilação de energia elétrica em 2015, enquanto que 45% afirmam não ter perdido produção e 10% não opinaram.

Vale ressaltar que o número de produção perdida em 2015 só não é maior devido a procedimentos emergenciais adotados pelos produtores no momento da

falta ou queda de energia, como por exemplo, a retirada da produção para outra propriedade com energia elétrica ou a retirada emergencial pelo caminhão do laticínio.

4.5.2. Resultados da análise multicriterial

A partir do levantamento dos parâmetros quantitativos e qualitativos de cada sistema alternativos a luz de cada critério, elaborou-se a Tabela 11 (Tabela de pagamento). A mesma apresenta de forma resumida o resultado das pesquisas bibliográficas, sustentando o estudo realizado.

Tabela 11: Tabela de pagamento obtida para os critérios avaliados para escolha do sistema alternativo de geração de energia elétrica

| Critérios de Escolha | Alternativas de sistemas de geração de energia elétrica | | | |
|---|---|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| | Sistema Fotovoltaico (FV) | Sistema Eólico (EOL) | Sistema Híbrido (FV+EOL) | Gerador a Diesel (GD) |
| Custo de Aquisição (\$/kW) | 3000 | 1400 | 2200 | 313 |
| Custo na Produção de Energia (R\$) | 0 | 0 | 0 | 3,03 |
| Possibilidade de Conexão à rede | Sim | Sim | Sim | Não |
| Segurança no abastecimento | Baixa | Baixa | Média | Alta |
| Custo de Manutenção (\$/kW.ano) | 10 | 28 | 19 | 210 |
| Eficiência da Tecnologia (%) | 20 | 35 | 45 | 48,4 |
| Emissões GEE (gCO₂/kWh) | 0 | 0 | 0 | 715 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Baseado na ordenação realizada pelos especialistas no item 3.4.3, foi determinada a importância relativa dos critérios. Os procedimentos de comparação

paritária entre os critérios, utilizando-se a escala de julgamentos proposta por Saaty (1991), resultaram na matriz exposta na Figura 12.

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| C1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| C2 | 1/3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| C3 | 1/4 | 1/2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| C4 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| C5 | 1/6 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1 | 2 | 4 |
| C6 | 1/7 | 1/5 | 1/4 | 1/4 | 1/2 | 1 | 3 |
| C7 | 1/8 | 1/6 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1 |

Figura 12. Matriz de comparação paritária entre os critérios.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O problema foi implementado utilizando o software IPÊ 1.0, gerando autovetores, conforme apresenta Tabela 12. Nela é possível verificar que de acordo com os julgamentos feitos, os critérios para escolha de um sistema alternativo de geração energia em propriedades com produção leiteira em São Francisco apresentam a seguinte ordem de importância: 1) Custo de aquisição (39,9%); 2) Custo de Produção de Energia (20,7%); 3) Possibilidade de Conexão à Rede (14,5%); 4) Segurança no abastecimento (11,3%); 5) Custo de Manutenção (6,5%); 6) Eficiência da Tecnologia (4,5%); e 7) Emissões GEE (2,6%).

Tabela 12: Autovetores do Método AHP na Seleção de um Sistema Alternativo de Geração Energia Elétrica

| Índices de Consistência dos Julgamentos das Alternativas | | | | | | |
|--|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------|
| Custo de Aquisição | Custo de Produção de Energia | Possibilidade de Conexão à Rede | Segurança no Abastecimento | Custo de Manutenção | Eficiência da Tecnologia | Emissão GEE |
| 0,399 | 0,207 | 0,145 | 0,113 | 0,065 | 0,045 | 0,026 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A razão de consistência (RC) dos julgamentos apontou para um nível de **0,054**, ou seja, $RC \leq 0,1$, o qual é tolerado pelo método AHP.

A Figura 13 apresenta a determinação do nível de preferência das alternativas à luz de cada critério. Nessa etapa é feita a comparação paritária entre as alternativas para geração de energia, que são os sistemas FV, EOL, HÍB. E GD. A comparações das alternativas são feitas em cada um dos critérios, de acordo com a escala de julgamento de Saaty, resultando em 7 matrizes.

| | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|
| C1 - Custo de Aquisição | | | | | C2 - Custo de Produção de Energia | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A4 | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| A1 | 1 | 1/5 | 1/4 | 1/8 | A1 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| A2 | 5 | 1 | 3 | 1/4 | A2 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| A3 | 4 | 3 | 1 | 1/7 | A3 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| A4 | 8 | 4 | 7 | 1 | A4 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 |
| C3 - Possibilidade de Conexão à Rede | | | | | C4 - Segurança no Abastecimento | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A4 | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| A1 | 1 | 1 | 1 | 8 | A1 | 1 | 1 | 1/5 | 1/8 |
| A2 | 1 | 1 | 1 | 8 | A2 | 1 | 1 | 1/5 | 1/8 |
| A3 | 1 | 1 | 1 | 8 | A3 | 5 | 5 | 1 | 1/5 |
| A4 | 1/8 | 1/8 | 1/8 | 1 | A4 | 8 | 8 | 5 | 1 |
| C5 - Custo de Manutenção | | | | | C6 - Eficiência da Tecnologia | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A4 | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| A1 | 1 | 4 | 3 | 8 | A1 | 1 | 1/5 | 1/7 | 1/8 |
| A2 | 1/4 | 1 | 1/3 | 4 | A2 | 5 | 1 | 1/5 | ¼ |
| A3 | 1/3 | 3 | 1 | 7 | A3 | 7 | 5 | 1 | 1/2 |
| A4 | 1/8 | 1/4 | 1/7 | 1 | A4 | 8 | 6 | 2 | 1 |
| C7 - Emissões GEE | | | | | Legenda: | | | | |
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A1 - Sistema Fotovoltaico | | | | |
| A1 | 1 | 1 | 1 | 8 | A2 - Sistema Eólico | | | | |
| A2 | 1 | 1 | 1 | 8 | A3 - Sistema Híbrido | | | | |
| A3 | 1 | 1 | 1 | 8 | A4 - Gerador Diesel | | | | |
| A4 | 1/8 | 1/8 | 1/8 | 1 | | | | | |

Figura 14. Matrizes de comparação paritária das alternativas à luz de cada critério.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Após realização dos cálculos, foi possível a obtenção dos níveis de preferência das alternativas para cada um dos critérios do problema, e ainda, os índices de consistência. O Gráfico 8 apresenta o resumo dos resultados dos níveis de preferência das alternativas à luz dos critérios levantados utilizando o método AHP.

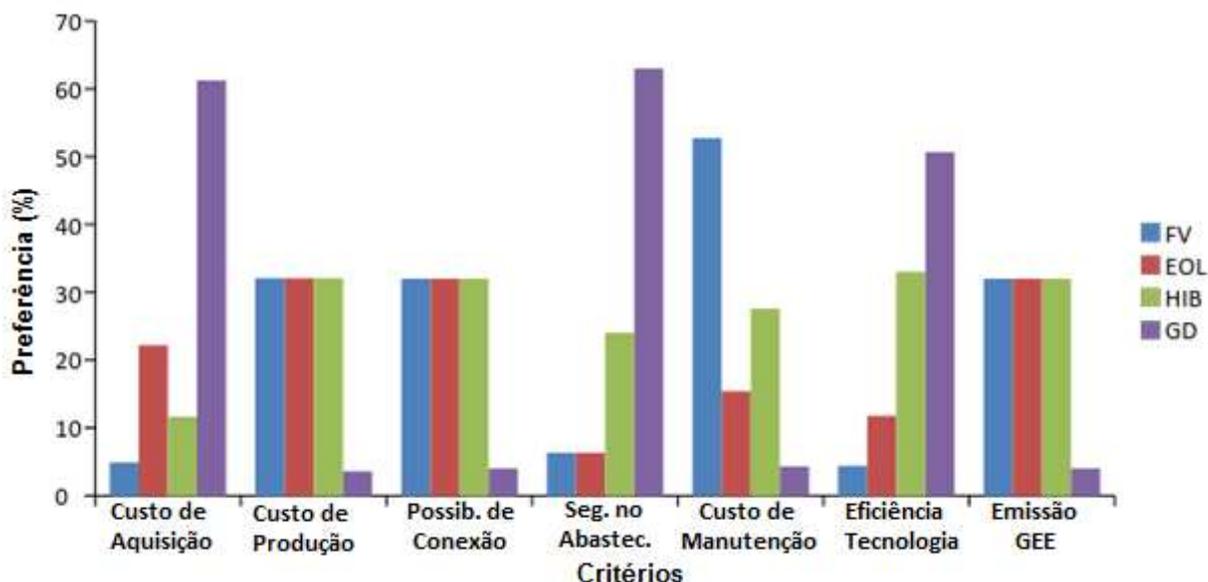


Gráfico 8. Resumo dos resultados à luz dos critérios.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A Tabela 13 apresenta os índices de consistência obtidos a partir dos julgamentos das alternativas à luz dos critérios. Todos estão dentro do limite estabelecido pelo método AHP.

Tabela 13: Índices de consistência dos julgamentos das alternativas a luz de cada critério

| Índices de Consistência dos Julgamentos das Alternativas | | | | | | |
|--|----|----|-------|-------|-------|----|
| C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
| 0,085 | 0 | 0 | 0,062 | 0,089 | 0,099 | 0 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observando o gráfico 8 observa-se que a alternativa 4 – Gerador a Diesel possui expressiva preferência nos critérios custo de aquisição (61,2%), segurança no abastecimento (63%) e eficiência da tecnologia (50,7%). Isso se deve ao fato

deste tipo de geração oferecer menores custos e melhores rendimentos, pois são mais desenvolvidos tecnicamente dentro do contexto tecnológico de geração distribuída. No critério custo de manutenção a alternativa 1 – Sistema Fotovoltaico desponta a frente das outras alternativas, visto o baixo custo para manutenção e operação deste tipo de sistema. Nos critérios custo de produção de energia, possibilidade de conexão à rede e emissão GEE, não houve diferença na preferência entre os sistemas FV, EOL e HIB, sendo esses as melhores opções à luz dos critérios supracitados quando comparadas com a alternativa 4 – gerador a diesel.

Por fim, o gráfico 9 apresenta o resultado global para o problema de seleção de um sistema de geração de energia elétrica para uma propriedade com produção leiteira em São Francisco do Itabapoana/RJ.

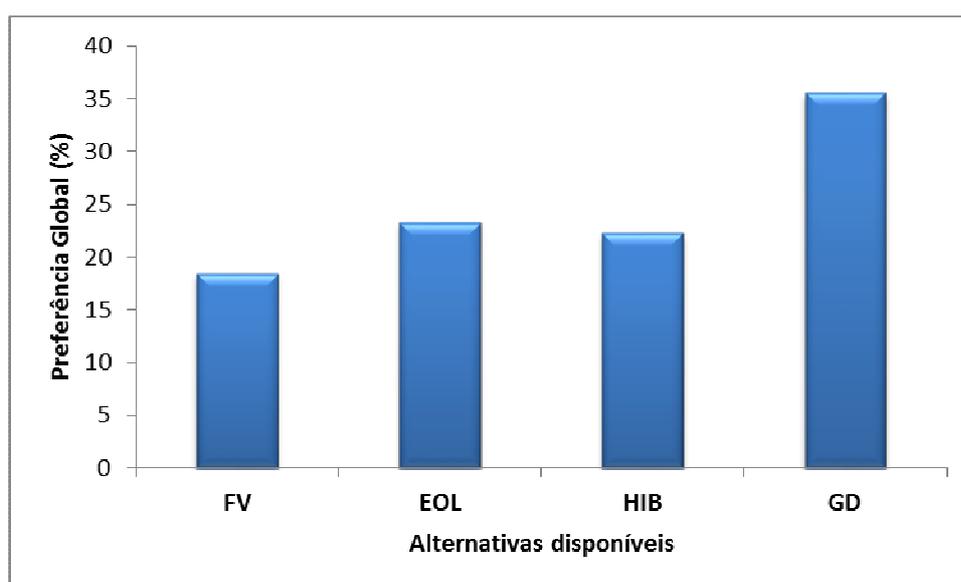


Gráfico 9. Resultado final da análise multicritério.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Os resultados finais apresentados no gráfico 9 mostram que o sistema utilizando Gerador a Diesel (35,54%) representa a melhor alternativa de sistema alternativo de geração de energia elétrica; enquanto que o sistema eólico (23,26%) é a segunda melhor alternativa; a terceira melhor alternativa é o sistema híbrido (22,77%), e o sistema fotovoltaico (18,43%) ocupa a última colocação.

4.6. CONSIDERAÇÕES ACERCA DA SELEÇÃO DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA

Este estudo mostrou que, em problemas complexos, como o da escolha de um sistema alternativo de geração de energia envolvendo múltiplos parâmetros, é adequado o uso de métodos multicritérios no apoio à tomada de decisão. Das ferramentas disponíveis, o método AHP demonstrou ser uma das metodologias científicas de apoio a tomadas de decisão de fácil aplicação e interpretação. Demonstrou ainda ser indicado para o tratamento de problemas que envolvem variáveis de diferentes dimensões quantitativas e qualitativas. O mesmo possui uma abordagem matemática simples, porém robusta onde os resultados podem ser facilmente interpretados pelos tomadores de decisão.

Para a aplicação proposta nesse trabalho, que consiste na seleção de sistema alternativo de geração de energia elétrica em propriedades com produção leiteira, localizadas no município de São Francisco do Itabapoana/RJ, os resultados finais apontaram a alternativa *Gerador a Diesel* (35,54%) como a mais indicada para o problema levantado. Em segundo lugar figura o sistema *Eólico* (23,26%), em terceiro o sistema *Híbrido* (22,77%) e em quarto lugar o sistema *Fotovoltaico* (18,43%).

O estudo aponta o Gerador a Diesel como melhor opção, mesmo não sendo a melhor opção do ponto de vista ambiental, essa tecnologia apresenta o custo de aquisição bem inferior aos custos das demais alternativas constantes no estudo. Além disso, a eficiência na geração de energia elétrica é superior às demais. A disponibilidade de diesel para a geração também não é um problema, já que é possível encontrar esse recurso energético em todos os postos da região, aumentando assim a confiabilidade do sistema em caso de falta de energia por tempo prolongado.

4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADARAMOLA, Muyiwa S.; PAUL, Samuel S.; OYEWOLA, Olanrewaju M.. Assessment of decentralized hybrid PV solar-diesel power system for applications in Northern part of Nigeria. **Energy For Sustainable Development**, v. 19, p.72-82, abr. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2013.12.007>>. Acesso em: 12 maio 2016.

ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. 2010, v. 6, n. 1, p. 165-188. Disponível em: <<http://rbgdr.net/012010/artigo8.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

BARIN, Alexandre et al. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica fuzzy. **SBA: Controle e Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 21, n. 5, p.477-486, out. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592010000500004>. Acesso em: 22 dez. 2016.

COSTA, H.G. **Auxílio multicritério à decisão**: método AHP. Rio de Janeiro: ABREPRO, 2006.

_____. Sistemas de votação pelo método de Borda. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, Niterói, v. 14, n. 0, p.1-10, fev. 2014. Disponível em: <http://www.producao.uff.br/images/rpep/2014/RPEP_-_B1.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2016.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. **Plano Nacional de Energia: 2030**. Disponível em:<http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf> . Acesso em: 26 dez. 2016.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). **Balanco Energético Nacional 2016**: ano base 2015: relatório síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

GADANHA JUNIOR, C. D; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; UAHAN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991.

GAN, Leong Kit; SHEK, Jonathan K.h.; MUELLER, Markus A.. Hybrid wind–photovoltaic–diesel–battery system sizing tool development using empirical approach, life-cycle cost and performance analysis: A case study in Scotland. **Energy Conversion and Management**, v. 106, p.479-494, dez. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.09.029>>. Acesso em: 12 maio 2016.

HODGE, B.K. **Sistema e aplicações de energia alternativas**. São Paulo: LTC, 2011. 324p.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **CO2 emissions from fuel combustion**. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2016.

LORA, E. S.; HADDAD, J. **Geração distribuída aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

MENDES, Luiz Fernando Rosa. **Análise multicritério para universalização dos serviços elétricos em domicílios rurais isolados da Região Norte Fluminense**. 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Cândido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2013. Disponível em: <http://pep.ucam-campos.br/images/arquivos/Dissertacoes/Luiz_Fernando_Rosa_Mendes.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2016.

MOTA, Henrique de Senna. **Análise técnica econômica de unidades geradoras de energia distribuída**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-26012012-150252/pt-br.php>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

RASHED, M; ELMITWALLY, A; KADDAH, S. New control approach for a pv-diesel autonomous power system. **Electric Power Systems Research**, v. 78, n.6, p.949-956, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779607001654>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

RIBEIRO, Luiz A. de S. et al. Making isolated renewable energy systems more reliable. **Renewable Energy**, v. 45, p.221-231, set. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.014>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

ROZALI, Nor Erniza Mohammad et al. Integration of diesel plant into a hybrid power system using power pinch analysis. **Applied Thermal Engineering**, v. 105, p.792-798, jul. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.035>>. Acesso em: 21 jul.2016.

SAATY, TL; ALEXANDER; J. **Conflict resolution: the analytic hierarchy approach**. New York: Praeger, 1989.

_____. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, n. 48, p. 9-26, 1990. Disponível em: <<https://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

SANTOS, Joost; PAGESUYOIN, Sheree Ann; LATAYAN, Jana. A multi-criteria decision analysis framework for evaluating point-of-use water treatment alternatives. **Clean Technologies And Environmental Policy**, v. 18, n. 5, p.1263-1279, 14 nov. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10098-015-1066-y>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

SEN, Souvik et al. Renewable energy scenario in India: Opportunities and challenges. **Journal of African Earth Sciences**, v. 122, p.25-31, out. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.06.002>>. Acesso em: 12 maio 2016.

STEIN, Eric W.. A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p.640-654, jun. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.001>>. Acesso em: 12 maio 2016. .

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as conclusões relativas ao presente estudo, advindas da revisão de literatura, da análise multicritério para escolha de um sistema alternativo de energia em propriedades leiteiras localizadas no município de São Francisco do Itabapoana/RJ. Além das conclusões, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

5.1. CONCLUSÕES

Para alcançar o propósito principal desta pesquisa foi realizado um mapeamento da produção científica sobre os métodos de análise multicritério e geração de energia elétrica.

A bibliometria foi realizada nas bases Scopus e ISI (Web of Knowledge) e identificou 49 artigos relacionados ao tema da pesquisa. O artigo mais antigo data de 1997 e em 2011 foi o ano em que ocorreu o pico de publicações, totalizando onze artigos publicados. Verificou-se também que o país que mais publicou artigos relacionados ao tema em questão foi a Grécia (seis artigos) na base SCOPUS e Grécia, Estados Unidos, Turquia, Inglaterra, Espanha e Itália na base ISI, todos com três artigos cada.

Foram apresentados os três trabalhos mais relevantes para este trabalho, sendo realizada uma análise circunstanciada dos mesmos.

Realizou-se uma análise mais detalhada nos trabalhos obtidos somente na

base SCOPUS, esta foi escolhida por conter uma maior quantidade de trabalhos e a maioria deles estava presente na base ISI. Sendo assim, 24 artigos foram submetidos à leitura com o objetivo de identificar os métodos, os critérios e subcritérios foram considerados nos mesmos. Observou-se que o método AHP foi o mais aplicado nos estudos envolvendo análise multicritério e geração de energia elétrica. Os critérios ambiental, econômico, político, social e técnico foram considerados nos trabalhos consultados. Além dos critérios, os subcritérios emissão GEE, custo de produção de energia, custo de aquisição, segurança no abastecimento e eficiência da tecnologia foram os mais citados.

Com objetivo de identificar as características das do setor agropecuário no município de São Francisco do Itabapoana/RJ, aplicou-se um questionário a cerca de 25 produtores de leite da região. O mesmo elucidou informações sobre a capacidade de produção de leite das propriedades, bem como informações a respeito da qualidade de energia fornecida. As propriedades possuem um consumo médio de 500kWh/mês. Sobre a qualidade da energia elétrica dos sistemas de alimentação das propriedades, anomalias na rede foram apontadas e observadas. Os problemas mais frequentes percebidos pelos usuários foram: Falta frequente de energia, oscilação da tensão na rede elétrica e falta de fase no circuito alimentador.

Com base nos resultados do estudo bibliométrico apresentado e questionários respondidos, esse trabalho teve como principal objetivo, realizar um estudo de análise multicritério para determinação de um sistema alternativo de geração de energia elétrica em propriedades leiteiras, com aplicação na região de São Francisco do Itabapoana, norte do estado do Rio de Janeiro. Os critérios mais citados nos trabalhos consultados foram considerados para a modelagem, além do critério possibilidade de conexão com a rede. O método AHP foi aplicado, indicando o gerador a diesel como melhor opção nesse momento. Tal fato decorre por essa alternativa possuir menor custo de aquisição, maior segurança no abastecimento e apresenta a maior eficiência na geração de energia elétrica.

Fica evidenciado nesse trabalho, que os sistemas de geração de eletricidade baseados em fontes renováveis necessitam de maiores incentivos, principalmente no que tange aos custos de aquisição. Pois assim poderão se sobre sair quando comparadas as fontes convencionais de geração de energia, pois essas já estão

maduras e disseminadas no mercado.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se uma análise mais ampla de critérios e alternativas, mediante as especificidades de cada região. Pois apesar deste estudo apenas considerar a geração fotovoltaica, eólica, híbrida e o gerador a diesel, é possível que outras alternativas sejam viáveis, como por exemplo, a geração por biogás, utilizando os dejetos dos animais da propriedade. Sugere-se também o estudo para verificação de outros métodos de auxílio multicritério à decisão para a abordagem do problema proposto neste trabalho, pode-se citar o TOPSIS, pois este foi o 2º método mais aplicado nos trabalhos consultados na bibliometria.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADARAMOLA, Muyiwa S.; PAUL, Samuel S.; OYEWOLA, Olanrewaju M.. Assessment of decentralized hybrid PV solar-diesel power system for applications in Northern part of Nigeria. **Energy For Sustainable Development**, v. 19, p.72-82, abr. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2013.12.007>>. Acesso em: 12 maio 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2.ed. Brasília: ANEEL, 2005.

_____. **Banco de Informações da Geração**: capacidade de geração do Brasil. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

_____. **Geração distribuída**. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/_/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 23 jul. 2016.

_____. (ANEEL, 2015a). **Nota Técnica n. 17/2015**, de 13 de abril de 2015: proposta de abertura de audiência pública para o recebimento de contribuições visando aprimorar a resolução normativa nº 482/2012 e a seção 3.7 do módulo 3 do PRODIST. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/026/documento/nota_tecnica_0017_2015_srd.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2016.

_____. (ANEEL, 2015b). **Resolução Normativa 687 de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

_____. **Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. 2010, v. 6, n. 1, p. 165-188. Disponível em: <<http://rbgdr.net/012010/artigo8.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

ANDRADE JÚNIOR, L.m.l.; MENDES, L.f.r.. Microgeração Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica: Considerações Acerca de Sua Difusão e Implantação no Brasil. **Revista Vértices**, [s.l.], v. 18, n. 2, p.31-51, 30 ago. 2016. Essentia Editora. <http://dx.doi.org/10.19180/1809-2667.v18n216-03>

AZIZ, Muhammad Shahzad et al. A review on bi-source, off-grid hybrid power generation systems based on alternative energy sources. **Journal of Renewable And Sustainable Energy**, v. 7, n. 4, p.431421-4314235, jul. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.4929703>>. Acesso em: 12 maio 2016.

BARIN, Alexandre et al. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica fuzzy. **SBA: Controle e Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 21, n. 5, p.477-486, out. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592010000500004>. Acesso em: 22 dez. 2016.

BEHZADIAN, M. *et al.* PROMETHEE: a comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, n. 200, p. 198–215. 2010. Disponível em: <http://econpapers.repec.org/article/eeeejores/v_3a200_3ay_3a2010_3ai_3a1_3ap_3a198-215.htm >. Acesso em: 12 maio 2016.

BELTON, V., Stewart, T.J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers Norwell, 2002.

BEUREN, I.M.; SOUZA, J.C. Em busca de um delineamento de proposta para classificação dos periódicos internacionais de contabilidade para o Qualis CAPES. **Revista Contabilidade e Finanças**. 2008, v. 19, n.46, p. 44-58. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rcf/v19n46/v19n46a05.pdf> >. Acesso em: 20 mar. 2016.

BORAN, F. E. et al. A Multidimensional Analysis of Electricity Generation Options with Different Scenarios in Turkey. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 8, n. 1, p.44-55, 2 jan. 2013. Disponível em: <DOI: 10.1080/15567240903117591>. Acesso em: 20 mar. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Instrução normativa n. 51, de 18 de setembro de 2002**. Disponível em: <www.camara.gov.br/sileg/integras/141673.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2016.

_____. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto n. 30691, de 29 de março de 1952:** regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/d30691.htm>. Acesso em: 12 maio 2016.

CAVALCANTE, Márcio Oliveira. **Conservação de energia elétrica em unidades de resfriamento de leite.** 2010. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2010.1/M%C3%81RCIO%20OLIVEIRA%20CAVALCANTE.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO; CENTRO DE PESQUISA EM ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas do potencial eólico brasileiro.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

CHIGUERU, Tiba et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil:** banco de dados solarimétricos. Recife: UFPE, 2000.

CIDAD, Nathalia Cacicedo; MANZANI, Paula Salarini. **Metodologia multicritério para a análise de riscos em projetos de P&D:** um estudo de caso na Light. 2015. 60 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012905.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8, 2011, 12-14 set; Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre-RS: Instituto de Gestão de Desenvolvimento de Produtos, 2012. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/15903>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

COSTA, H.G. **Auxílio multicritério à decisão:** método AHP. Rio de Janeiro: ABREPRO, 2006.

_____. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista da FAE,** Curitiba, p. 115-126. Jan; 2010. Disponível em: <<img.fae.edu/galeria/getImage/351/780580343311021.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

_____. Sistemas de votação pelo método de Borda. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção,** Niterói, v. 14, n. 0, p.1-10, fev. 2014. Disponível em:

<http://www.producao.uff.br/images/rpep/2014/RPEP_-_B1.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2016.

DIAKOULAKI, D.; ANTUNES, C.H.; MARTINS, A.G. MCDA and energy planning. In: FIGUEIRA, J (org)., GRECO, S (org)., EHRGOTT, M. (org.). **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. New York: Springer, 2005.

_____. KARANGELIS, F.. Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 4, p.716-727, maio 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.007>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

DUTRA, R.M. (org.). **Energia eólica princípios e tecnologias**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Gado de leite: Importância econômica**. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteSudeste/importancia.html>> . Acesso em: 07 Jul. 2009.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). . **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2016: ano base 2015: relatório síntese**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

_____. **Consumo de energia no Brasil: análises setoriais**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/geracao/documents>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

_____. **Plano Nacional de Energia: 2030**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2016.

FOELL, W.K. Energy planning in developing countries. **Energy Policy**, v.13; n.4; aug.1985; p.350-354. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/225353699_Energy_policy_planning_and_the_environment_in_developing_countries>. Acesso em: 12 maio 2016.

FREITAS, A. L. P.; MARINS, C. S.; SOUZA, D. O. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. **Revista GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 2, p. 51-60,

2006. Disponível em: < <http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/116>>. Acesso em: 12 maio 2016.

GADANHA JUNIOR, C. D.; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; UAHAN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991.

GAN, Leong Kit; SHEK, Jonathan K.h.; MUELLER, Markus A.. Hybrid wind–photovoltaic–diesel–battery system sizing tool development using empirical approach, life-cycle cost and performance analysis: A case study in Scotland. **Energy Conversion and Management**, v. 106, p.479-494, dez. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.09.029>>. Acesso em: 12 maio 2016.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Thomson, 2004.

HODGE, B.K. **Sistema e aplicações de energia alternativas**. São Paulo: LTC, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da pecuária municipal**: 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2014/>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **CO2 emissions from fuel combustion**. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2016.

_____. **Monthly electricity statistics**: 2014. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications>>. Acesso em: 30 maio 2016.

_____. **Monthly electricity statistics**: 2015. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/topics/Electricity/>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

JANNUZZI, Gilberto; VARELLA, Fabiana; GOMES, Rodolfo. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil**: panorama da atual legislação. Campinas-SP: International Energy Initiative, 2009. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.

KRISHNA, K. Shivarama; KUMAR, K. Sathish. A review on hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p.907-916, dez.

2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.187>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

KURKA, Thomas; BLACKWOOD, David. Selection of MCA methods to support decision making for renewable energy developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p.225-233, nov. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.001>>. Acesso em: 12 ago 2016.

LIMA, Juaceli Araújo de; SOUZA, Enio Pereira de. Avaliação da sustentabilidade na geração híbrida solar e eólica. **Revista Espacios**, Caracas, v. 36, n. 15, p.1-11, jun. 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n15/15361512.html>>. Acesso em: 12 maio 2016.

LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão e Produção**, São Paulo, v. 22, n. 1, p.17-34, mar. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1190>>. Acesso em: 12 maio 2016.

LORA, E. S.; HADDAD, J. **Geração distribuída aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

MENDES, Luiz Fernando Rosa. **Análise multicritério para universalização dos serviços elétricos em domicílios rurais isolados da Região Norte Fluminense**. 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Cândido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2013. Disponível em: <http://pep.ucam-campos.br/images/arquivos/Dissertacoes/Luiz_Fernando_Rosa_Mendes.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2016.

MEKHILEF, S.; SAIDUR, R.; SAFARI, A.. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.1777-1790, maio 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.018>>. Acesso em: 12 maio 2016.

MOTA, Henrique de Senna. **Análise técnica econômica de unidades geradoras de energia distribuída**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-26012012-150252/pt-br.php>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

MOURMOURIS, J.c.; POTOLIAS, C. A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece. **Energy Policy**, v. 52, p.522-530, jan; 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.074>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

NEHRIR, M. H. et al. A Review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: configurations, control, and applications. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, v. 2, n. 4, p.392-403, out. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/tste.2011.2157540>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

NOBLE, Bram F. A multi-criteria analysis of Canadian electricity supply futures. **The Canadian Geographer / Le Géographe canadien**, v. 48, n. 1, p.11-28, mar. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1085-9489.2004.002b16.x>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

NUNES JUNIOR, Luiz Fernando. **Tomada de decisão com múltiplos critérios: pesquisa-ação sobre o método AHP em pequenas empresas**. 2006. 128f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Universidade de Taubaté, Taubaté-S, 2006. Disponível em: <http://ppga.com.br/mestrado/2006/nunesjr-luis_fernando.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2016.

OLIVEIRA, Paulo André; SIMON, Elias José. O consumo de energia elétrica produtiva e o valor produção agropecuária na região de Botucatu. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v2/088.pdf>>. Acesso em: 30 Jan. 2017.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas para sistemas fotovoltaicos**. São Paulo: Hemus; Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

PEARCE, D; WEBB, M.; Rural electrification in developing countries: a reappraisal. **Energy Policy**; v.15; n.4; p. 329-338; ago; 1987. Disponível em: <<https://www.mysciencework.com/publication/show/e13ad085f11939f4a6ef4728832cd5a9>>. Acesso em: 12 maio 2016.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Coord.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

PRASAD, Ravita D; BANSAL, R.c.; RATURI, Atul. Multi-faceted energy planning: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p.686-699, out. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.021>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

RAMAN, P. et al. Opportunities and challenges in setting up solar photo voltaic based micro grids for electrification in rural areas of India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p.3320-3325, jun. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.065>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

RASHED, M; ELMITWALLY, A; KADDAH, S. New control approach for a pv-diesel autonomous power system. **Electric Power Systems Research**, v. 78, n.6, p.949-956, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779607001654>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

RIBEIRO, Luiz A. de S. et al. Making isolated renewable energy systems more reliable. **Renewable Energy**, v. 45, p.221-231, set. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.014>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

ROZALI, Nor Erniza Mohammad et al. Integration of diesel plant into a hybrid power system using power pinch analysis. **Applied Thermal Engineering**, v. 105, p.792-798, jul. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.035>>. Acesso em: 21 jul.2016.

ROJAS-ZERPA, Juan C.; YUSTA, Jose M.. Methodologies, technologies and applications for electric supply planning in rural remote areas. **Energy for Sustainable Development**, v. 20, p.66-76, jun. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2014.03.003>>. Acesso em: 21 abr 2016.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração de energia fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica**. Florianópolis: UFCS/LABSOLAR, 2004.

SAATY, TL; ALEXANDER; J. **Conflict resolution: the analytic hierarchy approach**. New York: Praeger, 1989.

_____. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, n. 48, p. 9-26, 1990. Disponível em: <<https://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf> >. Acesso em: 13 abr. 2016.

SANTOS, Joost; PAGESUYOIN, Sheree Ann; LATAYAN, Jana. A multi-criteria decision analysis framework for evaluating point-of-use water treatment alternatives. **Clean Technologies And Environmental Policy**, v. 18, n. 5, p.1263-1279, 14 nov. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10098-015-1066-y>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

SANTOS, Raimundo Nonato Macedo. Produção científica: por que medir? O que medir? **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 1, n. 1, p.22-38, maio 2003. Disponível em: <<http://www.brapci.ufpr.br/brapci/index.php/article/view/0000015295/44dd0918ad14531d4014536ec47e2832>>. Acesso em: 21 abr 2016.

SEN, Souvik et al. Renewable energy scenario in India: Opportunities and challenges. **Journal of African Earth Sciences**, v. 122, p.25-31, out. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.06.002>>. Acesso em: 12 maio 2016.

SILVA, Adriano J, MUNHOZ, Fernando C. and CORREIA, Paulo B. Qualidade na utilização de energia elétrica no setor rural: problemas, legislação e alternativas. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v2/115.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SINGH, G.k. **Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review.** **Energy**, v. 53, p.1-13, maio 2013. Disponível em. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>>. Acesso em: 12 maio 2016.

STEIN, Eric W.. A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p.640-654, jun. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.001>>. Acesso em: 12 maio 2016. .

STOUT, B. A. **Energy: use and management in agriculture.** Massachussets : Breton, 1984.

STREIMIKIENE, Dalia et al. Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p.3302-3311, jun. 2012. Disponível em. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.067>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

TAHA, Rimal Abu; DAIM, Tugrul. Multi-criteria applications in renewable energy analysis, a literature review. **Research and Technology Management In The Electricity Industry**, p.17-30, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-5097-8_2>. Acesso em: 12 mar. 2016.

TREIMIKIENÉ, Dalia; LIOGERIENÉ, Jūratė; TURSKIS, Zenonas. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. **Renewable Energy**, v. 85, p.148-156, jan. 2016. Disponível em: Disponível em: <DOI: 10.1016/j.renene.2015.06.032>. Acesso em: 09 fev. 2016.

THERY, R; ZARATE, P. Energy planning: a multicriteria decision making structure proposal. **Central European Journal of Operations Research**, v.17, p. 265-274, 2009. Disponível em: <>. Acesso em: 12 maio 2016.

UPTON, J. et al. Energy demand on dairy farms in Ireland. **Journal Of Dairy Science**, v. 96, n. 10, p.6489-6498, out. 2013 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6874>>. Acesso em: 12 maio 2016.

VILLALVA, Marcelo; GAZOLI, Jonas. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações: sistemas isolados e conectados à rede**. São Paulo: Erica, 2012.

ZILLES, R. Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos. In: BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas: Relatório do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF): Portaria n. 36, de 26 de novembro de 2008**. Brasília-DF: SPE/DDE, 2009. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mmegtsf.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

APENDICE A: QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PRODUTORES DE LEITE DO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DO ITABAPOANA/RJ



Questionário

Nome (opcional): _____
 Localidade: _____
 Possui ordenha mecanizada: () Sim () Não
 Frequência semanal da ordenha: _____
 Produção média diária: _____ litros
 Nº de vacas em lactação: _____
 Capacidade do reservatório de leite: _____ litros
 Consumo de energia elétrica da propriedade: _____ kWh
 Índices de qualidade de energia: _____

| Sistema de produção e conservação do leite | | | |
|---|------------------------|------------|--------------------------|
| Descrição do equipamento (nome, tensão, etc) | Tempo de utilização | Quantidade | Potência Unitária (W) |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

➤ Com relação à qualidade de energia elétrica, qual frequência mensal de problemas na alimentação da rede elétrica e qual o problema(s) observados?

➤ Qual o tempo médio em horas para o restabelecimento da energia no caso de falta?

➤ Em qual(is) período(s) do dia percebe-se anomalias na rede de alimentação elétrica?

➤ Grau de importância da energia elétrica na PRODUÇÃO de leite?

() Alto () Médio () Baixo

- Grau de importância da energia elétrica na CONSERVAÇÃO do leite?
() Alto () Médio () Baixo
- Já perdeu produção de leite por conta da falta ou inconstância da energia elétrica no ano de 2015? Se sim, qual a quantidade de litros em média?
() Sim () Não () Não me recordo
Quantidade: _____
- Caso haja falta de energia, qual o procedimento adotado para não perder a produção de leite?

- Qual seu nível de satisfação com a atividade leiteira?
() Muito satisfeito () Satisfeito () Insatisfeito () Muito insatisfeito () Sem Opinião
Motivo: _____
- Qual seu nível de satisfação com a AMPLA?
() Muito satisfeito () Satisfeito () Insatisfeito () Muito insatisfeito () Sem Opinião
- Existe outro sistema alternativo de energia elétrica já instalado na propriedade (ex. gerador a diesel)? Se sim qual a potência?

- Já perdeu produção de leite por conta da falta ou inconstância da energia elétrica?
() Sim () Não () Não me recordo