

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MAPEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE FONTES DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COMO SUPORTE AO
NOVO PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Herton Naressi Azzolin

Santa Maria, RS, Brasil

2015

MAPEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COMO SUPORTE AO NOVO PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO

Herton Naressi Azzolin

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciane Neves Canha

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Azzolin, Herton Naressi
Mapeamento e Priorização de Fontes de Geração
Distribuída como Suporte ao Novo Planejamento da
Distribuição / Herton Naressi Azzolin.-2015.
134 p.; 30cm

Orientadora: Luciane Neves Canha
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, RS, 2015

1. Analytic Hierarchy Process 2. Geração Distribuída 3.
Planejamento da Distribuição 4. Potencial Energético 5.
Recursos Renováveis I. Canha, Luciane Neves II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**MAPEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA COMO SUPORTE AO NOVO
PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO**

elaborada por
Herton Naressi Azzolin

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica

Comissão Examinadora

Luciane Neves Canha, Dr^a.
(Presidente/Orientador)

Felix Alberto Farret, PhD (UFSM)

Paulo Ricardo da Silva Pereira, Dr. (Unisinos)

Santa Maria, 16 de março de 2015.

“O universo sempre conspira a seu favor quando você possui um objetivo claro e uma disponibilidade de crescimento. De uma coisa podemos ter certeza: de nada adianta querer apressar as coisas, tudo vem ao seu tempo”.

Paulo Coelho

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelas oportunidades e pessoas que colocou em meu caminho, pela serenidade e força interior que encontrei quando necessário.

Em especial a minha esposa Gabriela, incentivadora maior dessa escolha e fonte de inspiração para meu aperfeiçoamento. Obrigado pelos momentos de alegria, paciência, convívio, carinho e compreensão.

A minha família, pais, irmão, cunhada e afilhada, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e apoio constantes.

A Professora Dra. Luciane Neves Canha, pela confiança, oportunidade de aprendizado, dedicação, paciência e orientação desse trabalho. Também pelo seu exemplo de determinação e força.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon e Prof. Dra. Alzenira da Rosa Abaide, que muito contribuíram para a construção do meu conhecimento científico.

A COPREL que acreditou no meu plano de desenvolvimento e investiu em minha capacitação.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

MAPEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COMO SUPORTE AO NOVO PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO

AUTOR: HERTON NARESSI AZZOLIN

ORIENTADORA: LUCIANE NEVES CANHA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 16 de março de 2015.

Apesar do movimento crescente da participação de renováveis na matriz energética global, o peso de fontes como gás natural, carvão e derivados do petróleo é consideravelmente significativo. Neste aspecto, a necessidade de diversificação da matriz elétrica é notória e urgente, principalmente pela demanda crescente por energia, e requer um planejamento adequado do processo de transição da matriz, de modo a atender o crescimento de demanda em bases sustentáveis e de forma equilibrada. Sendo a Geração Distribuída (GD) uma alternativa viável e concreta para contribuir favoravelmente com esse cenário, e ainda, considerando a quantidade de variáveis intrínsecas à GD que podem impactar positiva ou negativamente no sistema elétrico, o desenvolvimento de métodos e ferramentas para suporte às técnicas usuais de planejamento precisam ser revistos. Neste sentido, propõe-se nesse estudo uma metodologia para mapeamento e priorização de fontes de GD a partir de recursos renováveis para suporte à nova ótica de planejar a distribuição. O foco é dado para as fontes eólica, fotovoltaica, hídrica e biomassa, abordadas na literatura atual como as mais promissoras para diversificação da matriz energética. A metodologia contempla a realização de um mapeamento dos recursos energéticos disponíveis em uma área delimitada para estudo, indicando os pontos mais favoráveis de aproveitamento. Utilizam-se como referências de informações para o mapeamento, documentos já consolidados relativos ao potencial energético, tais como, atlas e balanços energéticos. Uma vez mapeado os recursos disponíveis, estima-se a capacidade energética que os mesmos representam, através de métodos e equacionamentos que consideram as variáveis principais de estimação do potencial de cada fonte. A metodologia contempla ainda a etapa de priorização das fontes mapeadas, a partir de múltiplos critérios de ordem quantitativa e qualitativa, de modo a indicar a melhor forma de participação das fontes em duas perspectivas distintas de análise. A primeira sob o ponto de vista da distribuidora, com o foco no aproveitamento do potencial para suporte à expansão e operação do sistema, e a segunda sob a ótica dos investidores, voltada para o aproveitamento do potencial para expansão do seu mix de geração. Para a abordagem multicritério de priorização das fontes utiliza-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). A modelagem é aplicada a partir de um estudo de caso desenvolvido na área de atuação de uma distribuidora de energia do estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: *Analytic Hierarchy Process*. Geração Distribuída. Planejamento da Distribuição. Potencial Energético. Recursos Renováveis.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post Graduation Program in Electric Engineering
Federal University of Santa Maria

MAPPING AND PRIORITIZATION OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES AS SUPPORT TO THE NEW DISTRIBUTION PLANNING

AUTHOR: HERTON NARESSI AZZOLIN

ADVISOR: LUCIANE NEVES CANHA

Defense Place and Date: Santa Maria, March 16th, 2015.

Despite the growing movement of the share of renewable sources in the global energy matrix, the weight of sources such as natural gas, coal and petroleum derivatives is considerably significant. In this respect, the need for diversification of the energy matrix is evident and urgent, mainly due to the growing demand for energy, and requires appropriate planning of the matrix transition process in order to attend the growing demand on a sustainable basis and in a balanced way. Being the Distributed Generation (DG) a viable and real alternative to contribute to this scenario favorably, beyond the amount of intrinsic variables to DG that can impact positively or negatively on the electrical system, the development of methods and tools to support the usual techniques of planning need to be reviewed. In this sense, it is proposed in this study a methodology for mapping and prioritizing of DG sources from renewable resources, to support the new perspective of distribution planning. The focus is given to the wind power, photovoltaic, hydro and biomass, dealt in the current literature as the most promising for diversification of energy sources. The methodology includes the realization of a mapping of available energy resources in an enclosed area for study, indicating the most favorable places of exploitation. Documents already established concerning energy potential, such as atlas and energy balances, are used as reference information for the mapping. Once mapped the resources available, it is estimated the energy capacity that they represent, through methods and equations which consider the main variables to estimate the potential of each source. The methodology also includes a step of prioritization of mapped sources from multiple quantitative and qualitative criteria, to indicate the best form of participation of them in two different perspectives of analysis. The first one under the point of view of electric utilities, with the focus on the potential use to support the system expansion and operation, and the second one from the perspective of investors, aimed at exploitation the potential for expansion of its generation mix. For the multi-criteria approach of prioritizing the sources it is used the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The modeling is applied as a case study from the area of operation of a electric utility in the state of Rio Grande do Sul.

Keywords: *Analytic Hierarchy Process*. Distributed Generation. Distribution Planning. Energy Potential. Renewable Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fluxo convencional de planejamento na perspectiva da GD.....	21
Figura 2.2 – Matriz energética do Brasil em 2013	32
Figura 2.3 – Matriz da capacidade instalada de geração no Brasil em 2013.....	33
Figura 2.4 – Aplicações da energia eólica.....	35
Figura 2.5 – Parque fotovoltaico em operação no Brasil.....	37
Figura 2.6 – Tipos de geração por biomassa na matriz energética brasileira.....	38
Figura 2.7 – Evolução da capacidade instalada de geração hídrica (2009-2013).....	40
Figura 2.8 – Exemplos de aplicações de mapeamento do potencial energético.	44
Figura 2.9 – Banco de informações para estimação do potencial de CGH e PCH.....	48
Figura 3.1 – Fluxo geral da metodologia proposta.....	51
Figura 3.2 – Fluxo detalhado da metodologia proposta.....	52
Figura 3.3 – Exemplos de delimitação de área de estudo.....	53
Figura 3.4 – Fluxo de potência eólica do RS.....	56
Figura 3.5 – Variação da radiação solar do RS.....	57
Figura 3.6 – Estrutura da hierarquia do problema.....	64
Figura 3.7 – Modelo hierárquico do Cenário Distribuidora.....	69
Figura 3.8 – Modelo hierárquico do Cenário Investidor.....	69
Figura 3.9 – Matriz de julgamentos paritários à luz de cada critério.....	70
Figura 3.10 - Exemplo de matriz de julgamentos entre os critérios.....	71
Figura 3.11 – Consistência lógica da matriz de julgamentos entre os critérios....	71
Figura 3.12 – Matriz de priorização das fontes energéticas.....	72
Figura 4.1 – Área delimitada para aplicação da metodologia.....	76
Figura 4.2 – Mapeamento do potencial eólico da área de estudo.....	77
Figura 4.3 – Mapeamento do potencial solar da área de estudo.....	79
Figura 4.4 – Mapeamento do potencial de biomassa: casca de arroz.....	80
Figura 4.5 – Mapeamento do potencial de biomassa: cana de açúcar.....	81
Figura 4.6 – Mapeamento do potencial de biomassa: silvicultura.....	81
Figura 4.7 – Mapeamento do potencial de biomassa: dejetos de animais.....	82
Figura 4.8 – Mapeamento do potencial hídrico.....	83
Figura 4.9 – Mapa do potencial energético na área de estudo.....	84
Figura 4.10 – Consistência lógica das matrizes de julgamentos – Cenário Distribuidora.....	92
Figura 4.11 – Consistência lógica das matrizes de julgamentos – Cenário Investidor.....	92
Figura 4.12 – Matriz de Prioridade Global das fontes para o Cenário Distribuidora.....	93
Figura 4.13 – Matriz de Prioridade Global das fontes para o Cenário Investidor.....	93
Figura 4.14 – Classificação final das fontes para o Cenário Distribuidora.....	93
Figura 4.15 – Pesos dos critérios no Cenário Distribuidora.....	94
Figura 4.16 – Classificação final das fontes para o Cenário Investidor.....	95
Figura 4.17 – Pesos dos critérios no Cenário Investidor.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Estimação do potencial eólico na área de estudo	85
Quadro 4.2 – Estimação do potencial solar na área de estudo.....	86
Quadro 4.3 – Estimação do potencial biomassa (casca de arroz) na área de estudo.....	87
Quadro 4.4 – Estimação do potencial biomassa (cana de açúcar) na área de estudo.....	87
Quadro 4.5 – Estimação do potencial biomassa (silvicultura) na área de estudo	87
Quadro 4.6 – Cálculo da quantidade de metano na área de estudo.....	88
Quadro 4.7 – Estimação do potencial biomassa (dejetos animais) na área de estudo.....	88
Quadro 4.8 – Estimação do potencial hídrico na área de estudo.....	89
Quadro 4.9 – Potencial energético estimado para a área de estudo.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Modelos de negócio da energia elétrica no Brasil.....	14
Tabela 2.1 - Parâmetros relacionados à energia eólica.....	35
Tabela 2.2 - Parâmetros relacionados à energia solar.....	36
Tabela 2.3 - Parâmetros relacionados à energia biomassa.....	39
Tabela 2.4 - Parâmetros relacionados à energia hídrica.....	41
Tabela 2.5 - Estudos relacionados ao mapeamento do potencial energético.....	43
Tabela 2.6 - Parâmetros de conversão energética para cada origem de material.....	47
Tabela 3.1 - Variáveis envolvidas na etapa de estimação da capacidade energética.....	62
Tabela 3.2 - Escala numérica de Saaty para julgamentos paritários.....	64
Tabela 3.3 - Valores referência para IR.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Analytic Network Process
BIG	Banco de Informações de Geração
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CIGRÉ	Conseil Internationale dès Grands Réseaux Électriques
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
END	Energia Não Distribuída
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GW	Gigawatt
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MAUT	Multiattribute Utility Theory
MME	Ministério de Minas e Energia
MVA	Mega Volt Ampere
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
ONS	Operador Nacional do Sistema
O&M	Operação e Manutenção
PCI	Poder Calorífico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PG	Prioridade Global
PML	Prioridade Média Local
PRODIST	Procedimentos de Distribuição ANEEL
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UHE	Usina Hidrelétrica
€	Euro

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Questionário de especialistas.....	111
Apêndice B – Modelagem AHP para o Cenário Distribuidora.....	117
Apêndice C – Modelagem AHP para o Cenário Investidor.....	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização.....	13
1.2 Motivação.....	15
1.3 Objetivos.....	17
1.4 Estrutura da dissertação.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Análise bibliográfica.....	19
2.2 Geração distribuída de energia.....	27
2.2.1 Conceitos e definições.....	27
2.2.2 Vantagens e desvantagens.....	28
2.2.3 Aspectos regulatórios.....	30
2.3 Recursos renováveis de energia.....	31
2.3.1 Energia eólica.....	33
2.3.2 Energia solar.....	35
2.3.3 Energia biomassa.....	37
2.3.4 Energia hídrica.....	39
2.4 Potencial energético.....	41
2.4.1 Mapeamento de recursos renováveis.....	41
2.4.2 Estimação da capacidade de geração.....	44
2.5 Considerações finais do capítulo.....	49
3 METODOLOGIA PROPOSTA	51
3.1 Considerações iniciais.....	51
3.2 Etapas da metodologia.....	53
3.2.1 Definição da área de estudo.....	53
3.2.2 Identificação dos recursos energéticos.....	54
3.2.3 Estimação da capacidade de geração.....	55
3.2.4 Priorização das fontes energéticas.....	62
3.3 Considerações finais do capítulo.....	73
4 APLICAÇÃO PRÁTICA	75
4.1 Considerações iniciais.....	75
4.2 Estudo de caso.....	75
4.2.1 Definição da área de estudo.....	75
4.2.2 Identificação dos recursos energéticos.....	77
4.2.3 Estimação da capacidade de geração.....	85
4.2.4 Priorização das fontes energéticas.....	90
4.3 Considerações finais do capítulo.....	96
5 CONCLUSÕES	99
5.1 Principais contribuições deste trabalho.....	100
5.2 Perspectivas de continuidade do trabalho.....	101
5.3 Publicações.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A utilização da energia sob suas mais diferentes formas é um dos fatores que contribuem para o desenvolvimento da humanidade. A consolidação deste desenvolvimento está diretamente ligada à garantia de que as fontes energéticas estejam suficientemente disponíveis e acessíveis, a fim de dar suporte à demanda de energia que sustenta o progresso da sociedade moderna. Levando-se em consideração o enorme avanço tecnológico verificado nos últimos anos e a necessidade de se buscar um suprimento de energia elétrica sustentável, com a qualidade e abrangência exigidas pela sociedade, a discussão acerca do tema Geração Distribuída (GD) é imprescindível. Da mesma forma, aspectos sociais, legais, econômicos e estratégicos também necessitam ser melhor explorados, haja vista que o tema encontra-se em um processo de consolidação, especialmente no Brasil.

Atualmente, segundo MME (2014), 86,6% da oferta mundial de energia é derivada de recursos não renováveis, fazendo com que pesquisadores da área debatam com a finalidade de encontrar alternativas com menor impacto ao meio ambiente, em busca do desenvolvimento sustentável. No Brasil, conforme MME (2014), os recursos renováveis representam apenas 41,0% da oferta interna de energia, sendo grande parte deste montante proveniente de grandes centrais hidrelétricas, situadas, na maioria das vezes, distantes dos grandes centros de carga. Dessa forma, devido a grave crise instalada atualmente no setor elétrico com escassez de oferta, crescimento da demanda e restrições socioambientais para expansão do sistema, a exploração dos recursos renováveis tem ganhado um destaque cada vez maior frente outras fontes energéticas, especialmente pelo grande potencial ainda a ser explorado.

Em face da desregulamentação do setor elétrico no Brasil, o “negócio” da energia elétrica por alguns anos, vem passando por um movimento de grandes mudanças. Observa-se uma migração, por assim dizer, de um modelo de negócios

tradicional para um novo modelo, os quais podem ser sucintamente comparados de acordo com o exposto na tabela 1.1, adaptado de Sinapsis & Força e Luz (2014). Aliado a isso, com o desenvolvimento de novas tecnologias de produção de energia em pequena escala, a injeção de potência através de GD tem se apresentado como uma alternativa concreta para contribuir com o suprimento energético nos próximos anos, posicionando-se favoravelmente a grandes empreendimentos centralizados, diversificando a matriz energética global e no eixo desse novo modelo de negócios que se apresenta.

Tabela 1.1 – Modelos de negócio da energia elétrica no Brasil

Modelo Tradicional	Novo Modelo
Mercado cativo com um único supridor de energia, da geração até o uso final	Múltiplas fontes de energia, de múltiplos usuários e proprietários trabalhando integrados
Uso de capital intensivo, foco no crescimento de energia e demanda	Custos altamente competitivos, foco em uso eficiente e gerenciamento da demanda
Retorno de investimentos em décadas, normalmente em 30 anos	Retorno de investimento em menos de 10 anos
Concessões de infraestrutura baseado em tarifas públicas	Acesso livre à tecnologia, construa e tenha a sua própria infraestrutura de energia
Produtos principais: energia (kWh) e demanda (kW)	Produtos principais: gestão do uso, diferenciais em serviços, redes inteligentes, GD, etc.

Inúmeros são os benefícios que se apresentam a partir da conexão de GD ao sistema elétrico. Em contrapartida, sua penetração torna esse sistema bem mais complexo do ponto de vista de operação, manutenção e planejamento, principalmente no que tange a novos arranjos de redes, modos de operação, fluxo de potência bidirecional, controle de tensão, perdas, entre outros. A composição destes fatores repercute num aumento na diversidade de cenários de planejamento das redes de distribuição, trazendo riscos e incertezas às distribuidoras. Nesta nova perspectiva, o planejamento do sistema elétrico passa a incorporar uma importante variável aos seus estudos, sendo necessário buscar formas de suprimento energético compatíveis com as necessidades e potencialidades de uma determinada área, por exemplo. Faz-se necessário um aproveitamento estratégico de cada fonte de energia, tanto do ponto de vista das distribuidoras, quanto dos investidores e até

dos consumidores, visando maximizar os benefícios e minimizar as ameaças que esses aproveitamentos possam apresentar.

Dentre todos esses fatores já mencionados, somando-se ao atual cenário de políticas públicas que visam reduzir barreiras para instalação de GD de pequeno porte, e a enorme disponibilidade de recursos energéticos ainda a ser explorada, percebe-se a real necessidade de ser incorporado aos métodos convencionais de planejamento da distribuição, o potencial de produção de energia proveniente de GD a partir do mapeamento global dessas fontes. Logo, as distribuidoras serão obrigadas a equiparem-se com métodos e ferramentas de avaliação das oportunidades e impactos desses novos entrantes ao sistema.

Neste contexto, esta dissertação propõe o desenvolvimento de uma metodologia que incorpora aos métodos tradicionais de planejamento da distribuição, o mapeamento e estimativa do potencial energético para fontes renováveis de GD de pequeno porte. O foco é dado para as fontes eólica, fotovoltaica, hídrica e biomassa. A metodologia aborda ainda a priorização dos recursos energéticos mapeados, considerando múltiplos critérios em diferentes cenários de análise, visando obter uma classificação que indique a melhor forma de participação das fontes mapeadas no desenvolvimento do sistema. O método de análise multicriterial utilizado para tal é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). A modelagem é aplicada a partir de um estudo de caso desenvolvido na área de atuação de uma distribuidora de energia do estado do Rio Grande do Sul.

1.2 Motivação

Apesar do movimento crescente da participação de fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira, principalmente impulsionada pela energia eólica, o país utiliza-se de 59,0% de fontes não renováveis para a produção de energia elétrica, como o gás natural, carvão e derivados do petróleo (MME (2014)). A necessidade de diversificação da matriz energética é notória e urgente, haja vista, a atual crise do setor energético nacional e a demanda crescente por energia elétrica. Esta, por sua vez, requer a necessidade de planejar o processo de transição da matriz energética de modo a atender o crescimento de demanda em

bases sustentáveis e de forma equilibrada, ou seja, considerando as diversas fontes, seus potenciais, as regionalidades, além de aspectos econômicos, técnicos e ambientais.

Outro aspecto motivador deste estudo está associado ao atual cenário regulatório para instalação de GD de pequeno porte ao sistema elétrico. Embora a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tenha estabelecido regras destinadas a reduzir barreiras para instalação de pequenos geradores, esse fato ainda não atingiu grandes resultados na popularização dessa forma de geração. No entanto, a facilidade com que os consumidores podem gerar sua própria energia e injetar o excedente na rede, quando amplamente difundida, provocará uma drástica transformação do sistema de distribuição, como, por exemplo, perda da sua característica radial, deixando de operar com um único ponto de suprimento passando a várias fontes de injeção de potência. Neste sentido, sabendo-se que a difusão dessa forma de geração de energia é questão de tempo, é imprescindível que as distribuidoras adotem métodos para espreitar as fontes e suas potencialidades, bem como considerar em seus estudos de planejamento as oportunidades e ameaças desses novos agentes geradores de energia elétrica.

O desenvolvimento de métodos e ferramentas para suporte aos estudos de planejamento das distribuidoras passa a ser uma necessidade dos agentes com o advento da GD. Observa-se uma grande quantidade de pesquisas e publicações acerca da GD. No entanto, entende-se que há ainda excelentes oportunidades para novas pesquisas, principalmente relacionadas à avaliação integrada da disponibilidade dos recursos, pois, em geral, o tema tem sido avaliado por meio de estudos específicos e de forma independente. Por esta razão, estudos que complementem os tradicionais métodos de planejamento das distribuidoras com avaliações da potencialidade energética devem ser fomentados e amplamente disseminados, o que faz deste um dos motivadores desta dissertação.

Considera-se ainda como aspecto motivador da pesquisa, a premissa de que o planejamento funciona calcado na informação, dessa forma, é possível afirmar que quanto mais se conhece o que está sendo estudado, melhor é a forma de planejar seu desenvolvimento e evolução. Neste sentido, entende-se que o mapeamento do potencial de geração de uma área produz conhecimentos específicos e qualificados acerca dos recursos energéticos nela disponíveis. Este fato subsidia o planejador na

tomada de decisões a fim de aproveitar os recursos disponíveis na área de estudo, levando em conta suas regionalidades e características.

Por fim, considerando o cenário de transformações previstas para o setor energético nos próximos anos, entende-se que o planejamento do sistema elétrico não poderá ocorrer de forma isolada entre os agentes. Para aproveitar as oportunidades desse novo cenário, na busca de um desenvolvimento sustentável, é necessário concentrar esforços para que a exploração dos recursos energéticos seja avaliada de forma equilibrada e em diferentes óticas, ou seja, a da distribuidora, que tende a enxergar somente aspectos comerciais, técnicos e operacionais, e a do investidor que, via de regra, visa explorar os potenciais disponíveis para obter o máximo de lucratividade.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é propor uma nova metodologia para mapeamento e priorização de fontes alternativas de GD, para aplicação e suporte à nova ótica de planejamento de sistemas de distribuição. Para isso, destacam-se os seguintes objetivos específicos a serem atingidos:

- a) Apresentar um conjunto de estudos e referências voltadas ao potencial energético de fontes renováveis de energia, utilizando-os no desenvolvimento de um método de mapeamento do potencial de geração em uma área de interesse, identificando os recursos de geração nela disponíveis e seus locais mais favoráveis de aproveitamento;
- b) Propor formas de quantificar a capacidade energética de fontes renováveis de modo a estimar seus montantes de potência, utilizando métodos, equacionamentos e variáveis principais de estimação de potencial para cada tecnologia de geração;
- c) Através do método AHP, propor uma modelagem de apoio à tomada de decisão em que, a partir do mapeamento e estimação do potencial energético das fontes renováveis, as mesmas sejam classificadas por ordem de prioridade, a partir de diferentes critérios quantitativos e qualitativos e em cenários de avaliação distintos;

- d) Incorporar em uma mesma metodologia a análise do aproveitamento do potencial energético de uma dada área, utilizando GD, sob as óticas da distribuidora e investidores, observando aspectos característicos intrínsecos a cada uma das perspectivas;
- e) Demonstrar a aplicação da metodologia a partir de uma pesquisa desenvolvida na área de atuação de uma distribuidora de energia.

1.4 Estrutura da dissertação

Para alcançar os objetivos propostos, esta dissertação está organizada em cinco capítulos. No capítulo introdutório, descreve-se a contextualização do trabalho, os fatores que motivaram sua realização, bem como são apresentados os objetivos a que se propõe. No Capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica acerca do tema objeto de estudo e as publicações que fundamentaram a proposta, no que tange a GD, planejamento, recursos renováveis, mapeamento do potencial energético e análise multicriterial. O terceiro capítulo descreve a metodologia proposta por este trabalho, detalhando-se suas etapas principais. A aplicação prática do método é apresentada através de um estudo de caso, explorado no capítulo quatro. Já o quinto e último capítulo disserta sobre as conclusões obtidas do trabalho, assim como, são apresentadas suas contribuições principais e perspectivas de continuidade. Ao final, apresenta-se na forma de apêndice o modelo de questionário elaborado para aplicação aos especialistas e desdobramentos da modelagem AHP.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se neste capítulo uma visão geral acerca do tema foco deste trabalho, abordando-se de forma sucinta os autores e publicações que fundamentaram e contribuíram para aprofundar os conhecimentos relativos a este estudo.

2.1 Análise bibliográfica

A GD tem despertado grande interesse da comunidade acadêmica nos últimos anos, haja vista a grande quantidade de pesquisas e publicações relacionadas ao tema. Fato que se consuma pela necessidade de se avaliar as novas tecnologias, oportunidades, benefícios, bem como de se conhecer os impactos da inserção de energia em pequena escala ao sistema de distribuição.

Por exemplo, um enfoque dos impactos da GD nas características operacionais do sistema é abordado por Barin (2007), Canha (2003), CIGRÉ (2007), Falaghi (2005), Ribeiro, Ferreira e Medeiros (2005) e Souza (2009). A determinação da localização e/ou potência ótima da GD, a fim de garantir melhores desempenhos de sistemas, é apresentado por Beromi (2007), Borges (2006), César (2009), Guedes (2009), Mendonça (2006) e Ramirez-Rosado (2006). Aspectos regulatórios, comerciais, oferta de energia, oportunidades e barreiras da GD são apresentados por Arias (2006), Bayod-Rújula (2009), Farqui (2011), Lopes (2007), Macedo (2013) e Polizel (2007).

Além dessas abordagens, uma questão comumente apontada na bibliografia refere-se às formas de tratamento da GD nos métodos tradicionais ou convencionais de planejamento. O planejamento convencional, de acordo com Sant'anna (2009), está calcado em três pilares principais. O primeiro deles refere-se aos aspectos legais que regem o processo de planejamento no Brasil, que se dá atualmente através do PRODIST, em seu Módulo 2, que trata exclusivamente do planejamento. O segundo pilar está relacionado aos aspectos técnicos, onde são realizados os

estudos de ordem técnica, propriamente ditos, como previsões de carga, fluxo de potência, diagnósticos, proposições de alternativas, etc. Por fim, avaliam-se economicamente as alternativas de obras propostas, considerando custos, perdas, END, entre outros.

Outra abordagem do planejamento convencional é apresentada por Farqui (2011), que o divide em três etapas principais: planejamento de longo prazo, médio prazo e operacional. O de longo prazo define as linhas estruturais do sistema. No planejamento de médio prazo define-se o plano de obras em um horizonte de 3 a 5 anos. Já o operacional, de curto prazo, identificam-se as obras a serem implementadas que foram definidas no planejamento de médio prazo, incluindo-se as emergências ou obras provisórias.

Neste novo cenário, ao planejamento convencional da distribuição incorpora-se a GD. A rede elétrica deve ser capaz de suprir a demanda total sem registro de sobrecargas, violações dos limites de tensão e com índices satisfatórios de confiabilidade, dentro de um horizonte de planejamento. Entretanto, a expansão da presença de GD tende a influenciar significativamente nos resultados previstos dos modelos de planejamento tradicionais. A partir dessa premissa, é notória a necessidade de revisão dos métodos convencionais que vêm sendo utilizados, passando a enxergar a GD sob todos os aspectos, sejam eles, legais, técnicos e econômicos. Na figura 2.1 é ilustrada a nova perspectiva do processo de planejamento, a partir da presença de GD, onde é possível observar a quantidade de variáveis que passam a incorporar o processo.

Como reflexo disso, verificou-se a diversidade de pesquisas dispostas na literatura voltadas a novas metodologias e ferramentas, para apoio ao processo de planejamento da distribuição. Por exemplo, Viral (2012) faz uma síntese teórica dos aspectos relevantes da GD que devem ser observados no planejamento de sistemas de distribuição, especialmente no que se refere a local e potência ótimas para conexão de GD. Essa mesma ótica de planejamento é dada por Brown et al. (2001) e Brigatto (2011).

Já Dugan (2005) destaca os desafios da inclusão da GD no processo de planejamento, ressaltando a importância do desenvolvimento de métodos flexíveis e adaptáveis a diferentes problemas de planejamento com a presença de GD.

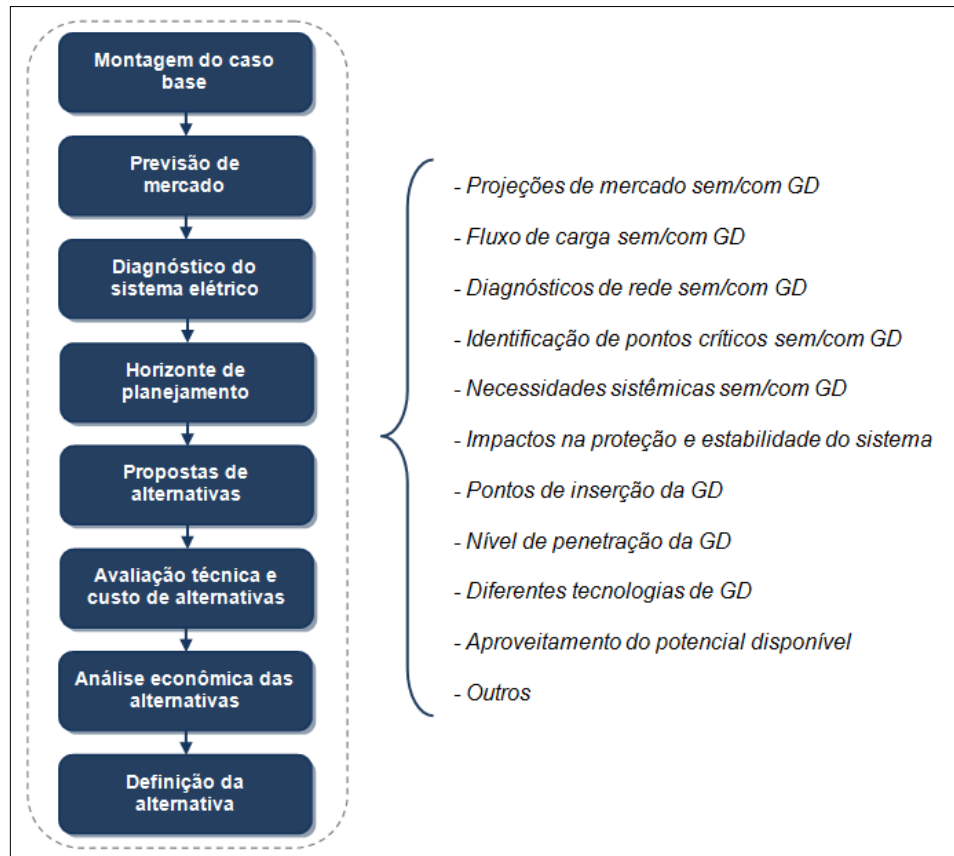


Figura 2.1 – Fluxo convencional de planejamento na perspectiva da GD

Fonte: adaptado de Sant'anna (2009, p. 32)

No que se refere ao planejamento com o viés na identificação das potencialidades energéticas a partir do aproveitamento dos recursos renováveis, Ruiz-Arias (2012) apresenta uma metodologia de avaliação do potencial de geração das fontes eólica, solar e biomassa a partir de resíduos da oliveira, junto à província de Jaén, no Sul da Espanha. O foco do estudo se dá na estimação do potencial energético das três fontes a partir de suas variáveis principais de estimação. O autor destaca a importância da utilização de fontes de dados robustas e confiáveis, uma vez que na ausência dessas, outras formas de mapeamento e estimação de potencial precisam ser utilizadas, como por exemplo, entrevistas com especialistas ou extrapolações de dados muitas vezes sem um nível de precisão satisfatório.

Em Schneider, Duic e Bogdan (2007) é abordado o mapeamento de recursos renováveis de GD na República da Croácia, com vistas ao planejamento do sistema de distribuição para eletrificação de áreas ainda não atendidas ou devastadas pela

guerra. São avaliadas possíveis implantações de empreendimentos eólico, hídrico, solar, geotérmico e biomassa, a partir da disponibilidade dos recursos. O mapeamento utiliza-se de atlas energéticos, dados de entidades e órgãos reguladores locais, quando acessíveis. Para as fontes potencialmente disponíveis, são estimadas as capacidades energéticas dos recursos. A classificação das fontes se dá na esfera econômica, onde são cruzadas variáveis de custo de implantação dos potenciais empreendimentos geradores com os custos de fornecimento de energia, para determinação das fontes mais prioritárias.

Outra abordagem é feita por Belmonte et al. (2009), que avalia o potencial energético das fontes eólica, solar, hídrica e biomassa, em uma região específica da Argentina. O estudo visa subsidiar o planejamento estratégico da região, de modo a indicar os pontos mais favoráveis de implantação das renováveis para suprir o fornecimento de energia elétrica. Os materiais e métodos de mapeamento do potencial baseiam-se em softwares e ferramentas, específicas a cada fonte energética. Já a estimativa do potencial de geração das fontes se dá através das principais variáveis de cálculo, como irradiação solar diária, velocidade dos ventos, produção dos recursos de biomassa, entre outros. Ao final, o potencial mapeado da região é apresentado sob a forma de mapas cartográficos digitais.

No caso de Ramachandra & Shruthi (2007), é explorado o mapeamento espacial do potencial energético de renováveis de modo a representar graficamente sua distribuição, e subsidiar programas de incentivo a energias limpas no estado de Karnataka, na Índia. O foco se dá nas fontes solar, eólica, biomassa e hídricas de pequeno porte. A base de cálculo do potencial solar é a radiação solar média mensal, obtida de estações de medição locais. Para eólica, utiliza-se a velocidade média anual dos ventos, agrupada em diferentes períodos do ano. Os dados de potência de geração hídrica são obtidos a partir do banco de dados do departamento energético local, assim como para a biomassa, utilizam-se dados de produção de resíduos e recursos biológicos fornecidos por órgãos ligados ao agronegócio. A partir daí são obtidos mapas da área de estudo com a distribuição das potencialidades de cada fonte.

Em Angelis-Dimakis et al. (2011), são apresentados diferentes métodos e ferramentas para avaliar a disponibilidade das fontes renováveis, dentre as quais o autor destaca como mais importantes a eólica, solar, hídrica, biomassa, marés e geotérmica. A pesquisa reúne de maneira bastante interessante, diferentes

referências de dados das variáveis principais de estimação, além das ferramentas e métodos utilizados para determinação da energia potencial explorável de cada uma das tecnologias de geração. Apresentam ainda os desafios esperados para exploração do potencial disponível. Em destaque na opinião dos autores, está a importância da utilização de atlas, mapas e sistemas georreferenciados para um mapeamento adequado de recursos energéticos exploráveis, visando seu aproveitamento de forma diversificada através de um mix de diferentes fontes geradoras.

No que se refere à abordagem multicritério, é fato que os métodos de análise multicriterial podem ser aplicados a praticamente quaisquer processos decisórios, independentemente da área de estudo e da quantidade de decisões. No segmento energético a análise multicritério é bastante difundida e amplamente encontrada na literatura, com aplicações em estudos de planejamento, alocação de recursos, localização de instalações, previsões, dentre outros.

De maneira geral, há que se considerar que nem sempre os dados e variáveis de uma análise que envolva processo decisório estão disponíveis ou estruturados na forma ideal para consolidação. Da mesma forma, existem ainda aspectos subjetivos de caráter pessoal e de difícil externalização, que dificultam a escolha da melhor alternativa, feita de maneira intuitiva ou de forma quantitativa. Este é o caso dos processos decisórios relacionados ao planejamento da distribuição considerando a conexão de fontes de GD, onde muitas vezes os interesses são conflitantes e as necessidades a serem atendidas são bastante diversas.

De acordo com Barin et. al (2010), projetos que envolvem o uso de fontes renováveis acabam sendo julgados apenas por uma única ótica, nem sempre favorável. A grande parte dos projetos que envolvem geração utiliza análises monocriteriais, no entanto, estas podem ser substituídas por análises multicriteriais que permitam a avaliação de diversos critérios, objetivando ao final uma solução harmoniosa que tende a equilibrar resultados positivos e negativos em prol de um melhor resultado.

São apresentados inúmeros métodos para auxílio ao processo decisório envolvendo análise multicriterial. Em grande destaque na literatura estão aqueles oriundos das escolas americana e francesa. Dentre estes, Gomes (2007) destaca os americanos MAUT, que trabalha com a utilização de uma lista de atributos para cada alternativa, e AHP, onde o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos. Já

para escola francesa, destacam-se os métodos da família ELECTRE, que têm como conceito central as relações de superação entre alternativas possíveis. Além destes, outros métodos são bastante difundidos e marcam presença na literatura, tais como Lógica Fuzzy (Bellman-Zadeh), TOPSIS, MACBETH, ANP, entre outros.

Como exemplo de abordagem multicritério voltada à priorização de diferentes tecnologias de geração, pode ser citado o exposto por Tasri & Susilawati (2014). O estudo propõe uma metodologia em que a partir de um conjunto de fontes de energia, determinam-se as mais adequadas para o fornecimento de energia na Indonésia. A classificação das fontes é baseada em critérios e sub-critérios utilizando o método AHP, combinado com Fuzzy. Tal combinação é aplicada para contemplar possíveis julgamentos intermediários de especialistas, os quais, na visão dos autores, não são abrangidos pelo AHP. A metodologia divide-se em quatro etapas principais: i) determinação dos pesos dos critérios; ii) determinação dos pesos dos sub-critérios em relação aos critérios; iii) avaliação de cada fonte em relação aos critérios; iv) somatório dos pesos dos critérios para cada fonte de geração, obtendo-se uma classificação final das fontes.

Em Nigim, Munier e Greem (2004), são abordados dois métodos de apoio ao processo decisório aplicados na priorização de fontes renováveis de energia. O AHP, baseado em opiniões ponderadas por especialistas, e o SIMUS, que utiliza manipulação matemática (programação linear) em conjunto com opinião de especialistas. Os métodos são aplicados para classificação de fontes de geração na província canadense de Ontário. Os critérios de classificação são divididos em dois grupos, os de ordem técnica (quantitativos) e os socioambientais (qualitativos). Em destaque no estudo está a eficiência e flexibilidade dos métodos, assim como, uma compilação das vantagens e desvantagens de ambos os modelos é apresentada.

Já Amer & Daim (2011), utiliza o método AHP para seleção de alternativas de geração de energia limpa a partir de um conjunto de critérios qualitativos e quantitativos. A partir dos resultados obtidos, os autores destacam a possibilidade de avaliar amplamente as fontes prioritárias, assim como os critérios mais relevantes na opinião dos especialistas para implantação de empreendimentos de geração, uma vez que apontam possíveis tendências de exploração dos recursos energéticos.

No caso específico da modelagem AHP, algumas considerações relevantes são apontadas por Calili (2010), Zhu (1996) e Saaty & Vargas (2005), onde citam que um dos aspectos importantes da metodologia é que toda a definição dos pesos

de um determinado critério é feita indiretamente através de uma escala de julgamento de valores a serem dados por especialistas. Mencionam também que o método AHP é especialmente apropriado para problemas que envolvam tanto análises quantitativas quanto qualitativas, como no caso do estudo em pauta. E ainda, que no AHP os resultados são apresentados sob a forma de prioridades, tornando possível avaliar o quanto uma alternativa é superior à outra, de um ponto de vista global. Da mesma forma, outros autores apontam a utilização do AHP de forma satisfatória para solução de problemas de energia, tais como Wang et al. (2008), Kagazyo et al. (1997), Kablan (2004), Tasri & Susilawati (2014), Manteghi (2012).

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, pode-se avaliar a diversidade de publicações acerca da influência da GD no âmbito do planejamento da distribuição. Dessa forma, complementarmente ao que foi até aqui apresentado, se faz possível ainda tecer alguns apontamentos em relação ao verificado na literatura:

- Grande parte dos estudos avaliados aponta a necessidade de revisão dos métodos de planejamento e da forma de enxergar o sistema elétrico a partir do novo cenário com GD;
- Os estudos, em geral, contemplam tecnologias de geração provenientes de recursos renováveis, destacando-se as fontes eólica, solar, biomassa e hídrica, tidas como as mais promissoras;
- A disponibilidade de recursos energéticos, em boa parte dos casos, tem sido avaliada por meio de estudos específicos a cada tecnologia de geração, de forma independente, ou ainda sem a perspectiva da GD;
- A avaliação da capacidade energética dos recursos, em geral, se dá a partir das variáveis principais de estimação do potencial, sendo elas: velocidade dos ventos, irradiação solar, produção dos recursos da biomassa e potência instalada dos empreendimentos hídricos;
- Nem sempre existem ou estão disponíveis referências de dados precisas e confiáveis para mapeamento e estimação do potencial das fontes, frequentemente apontado em publicações de outros países;
- A identificação de publicações relacionadas a metodologias para mapeamento do potencial de renováveis com o foco no planejamento da distribuição e GD,

praticamente se restringe à literatura internacional, sinalizando excelentes oportunidades nesse campo de estudo em nível de Brasil;

- O emprego de métodos de análise multicriterial vem sendo utilizado com frequência em problemas envolvendo fontes renováveis de geração, onde o AHP tem se mostrado satisfatório na solução de problemas dessa natureza;
- Especificamente para avaliação de alternativas de geração a partir de múltiplas perspectivas, identificaram-se grandes oportunidades para expansão dessa abordagem. Em geral, as análises concentram-se na esfera técnica ou econômica, quase sempre avaliadas de forma independente.

Logo, entende-se que um aspecto importante que poderia ser considerado em uma modelagem de planejamento com GD é a compilação das principais referências de potencialidade energética, abrangendo diferentes fontes renováveis, de modo a promover uma ampla identificação dos recursos disponíveis em uma área de interesse, em um único estudo. Neste sentido, o Brasil destaca-se pela quantidade e qualidade de referências relativas aos recursos de geração disponíveis, a partir de estudos, ferramentas computacionais, atlas e balanços energéticos, bancos de dados históricos, etc. Outro aspecto importante a ser considerado na mesma modelagem, seria a quantificação do potencial das fontes mapeadas a partir de suas variáveis principais de estimação. Neste caso, além da identificação dos recursos potencialmente exploráveis, o montante de energia que eles representam daria uma dimensão do quão representativo é o potencial de cada fonte, e como ele estaria distribuído espacialmente.

Outro aspecto importante está relacionado às etapas do processo de planejamento, em que, a partir de um diagnóstico, propõem-se alternativas, e dentre elas, define-se as prioritárias a partir de critérios pré-estabelecidos. Entende-se que a etapa de priorização de alternativas em problemas de planejamento que contemplam diferentes tecnologias de GD, passa a ser ainda mais complexa, haja vista a diversidade de variáveis intrínsecas a cada fonte. Neste caso, é importante uma abordagem que empregue análise multicritério para auxílio ao processo decisório de priorização de fontes renováveis de geração, com uso de métodos dinâmicos, flexíveis e adaptáveis à prática dos planejadores, como o AHP. Destaca-se também, a importância de uma modelagem multicriterial que considere diferentes critérios quantitativos e qualitativos em uma mesma análise, bem como uma priorização das fontes a partir de perspectivas distintas.

Neste contexto, uma metodologia capaz de integrar os diferentes aspectos citados se mostra bastante relevante e com grandes oportunidades para pesquisa, principalmente no Brasil, tamanha a abundância de recursos renováveis ainda passíveis de aproveitamento e a riqueza de referências e bases de dados confiáveis, as quais são constantemente atualizadas e acessíveis à pesquisa. Dessa forma, entende-se que a junção de importantes variáveis, como, mapeamento dos recursos de GD, estimação do potencial e priorização das fontes a partir de diferentes critérios e perspectivas, pode revelar excelentes oportunidades no campo da pesquisa. Do mesmo modo, entende-se que pode prover um amplo suporte aos agentes do setor na realização dos estudos de planejamento com GD, auxiliando no complexo processo decisório característico de problemas dessa natureza.

Assim, a partir de uma análise geral das referências bibliográficas relacionadas ao tema em estudo, na sequência apresenta-se um compêndio dos principais conceitos e definições relativos à GD, bem como, dos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e regulatórios abordados na literatura, os quais fundamentam a metodologia aqui proposta.

2.2 Geração distribuída de energia

2.2.1 Conceitos e definições

Na literatura, diversos são os conceitos que se apresentam para definir GD, dos quais Brigatto (2011) relaciona alguns deles, conforme segue:

De acordo com Lora e Haddad (2006), o IEEE define como sendo unidades de produção ou equipamentos de armazenamento de pequeno porte suficiente para serem conectadas à rede de distribuição e próxima aos consumidores. Conforme o CIGRÉ, a GD engloba unidades de até 30 MW de potência e consiste na geração não planejada e não despachada de modo centralizado, não havendo, portanto, um órgão que comande as ações destes geradores. O INEE, refere-se a unidades que possuem duas funções básicas: fonte de energia para atendimento de cargas contínuas, e fonte de reserva descentralizada para suprimento de necessidades

momentâneas devido a excessos de demanda ou para cobrir interrupções no fornecimento da rede.

Outras abordagens também são apresentadas para definir GD. Para Moreira (2004), não há um consenso sobre a definição, se alternando entre os países em função das diferentes políticas governamentais, variando de acordo com o nível de tensão, origem da energia, local de consumo ou potência máxima. Já Ackermann (2001) define com uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição do consumidor.

No Brasil, oficialmente a GD é definida através do Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, em seu Artigo 14, como sendo:

[...], a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados [...], conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, [...].

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput. (BRASIL, 2004, p. 6).

2.2.2 Vantagens e desvantagens

Na busca de apontar as vantagens e desvantagens, ou pontos favoráveis e problemáticos, da conexão de GD, são apresentadas na sequência algumas características compiladas em destaque de Brigatto (2011), INEE (2001), Moreira (2004) e Mota (2011).

Como vantagens ou pontos favoráveis:

- a) Suporte mais ágil ao crescimento da demanda, ou demanda reprimida, por apresentar tempo inferior de implantação em relação à geração centralizada e de reforços na distribuição e transmissão;

- b) Melhoria de confiabilidade no suprimento, pela adição de fontes não sujeitas a falhas na transmissão e distribuição e por localizarem-se mais próximas das cargas;
- c) Redução dos níveis de perdas na transmissão distribuição e dos seus respectivos custos de reforço, liberando capacidade no sistema;
- d) Possibilidade de operar em caráter emergencial e como energia de reserva durante horários de carga pesada, diminuindo riscos de operação e, por consequência, melhorando a continuidade e qualidade da energia fornecida;
- e) Redução dos custos das energias elétrica e térmica, disponibilizando os excedentes da primeira no mercado com preço competitivo; e,
- f) Baixos impactos ambientais da geração, com melhor utilização dos combustíveis tradicionais e, em determinados tipos de cogeração, eliminando resíduos industriais poluidores;
- g) Aproveitamento local de calor.

Como desvantagens ou pontos problemáticos:

- a) Podem provocar fluxo bidirecional na rede, sendo que em geral o sistema não está preparado para essa condição;
- b) Dependendo do nível de penetração dessas fontes ao sistema, poderá provocar um aumento das perdas elétricas;
- c) Aumento na complexidade para planejar, operar e manter o sistema elétrico, pelo fato de haver muitos pontos de injeção de potência com fontes intermitentes;
- d) Aumento na complexidade de medidas de segurança a serem tomadas e nos procedimentos administrativos comerciais das concessionárias;
- e) Em determinados casos, poderá provocar diminuição do fator de utilização das instalações das distribuidoras de energia, o que tende aumentar o preço médio de fornecimento das mesmas;
- f) Alterações nas características elétricas da rede, como aumento dos níveis de curto-circuito, variações nos níveis de tensão, distorção na forma de onda (harmônicos), podendo demandar a necessidade de investimentos de grande monta no sistema atual; e,
- g) Perda de estabilidade devido a não sincronidade da GD (fontes alternativas).

2.2.3 Aspectos regulatórios

Primeiramente, na busca de apresentar um breve histórico da evolução do sistema elétrico no Brasil, Macedo (2013) aponta que por volta da década de 40, começa a ser constituído o sistema elétrico brasileiro, o qual até então se caracterizava pela diversidade de sistemas isolados, com pequenas e médias fontes de geração conectadas a esses sistemas. Esse cenário foi se desenvolvendo a partir da criação de companhias estaduais de distribuição de energia e também da Eletrobrás, nas décadas de 50 e 60, promovendo a integração, interligação e centralização da operação do sistema elétrico. Somente ao final da década de 90 ocorreu a reforma do setor elétrico, a partir da criação do ONS - Operador Nacional do Sistema e do MAE - Mercado Atacadista de Energia, substituído mais tarde pela CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

A geração de energia teve seu marco regulatório inicial quando instituída a Lei nº 9.074, de 07 de julho de 1995, que estabeleceu dentre outras providências, o livre acesso ao sistema de transmissão e distribuição. A partir daí criou-se um cenário de maior competitividade no segmento de geração de energia, tanto os produtores quanto aos consumidores, incentivando a expansão da oferta, ampliando a construção de novos empreendimentos e, conseqüentemente, atraindo investidores da iniciativa privada.

No que tange à GD, sua inserção ao panorama energético brasileiro se dá a partir da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, e Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que dentre outras definições, regulamenta a GD no Brasil, estabelecendo, por exemplo, em seu artigo 15 que:

A contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída será precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente de distribuição, de forma a garantir publicidade, transparência e igualdade de acessos aos interessados.

Parágrafo primeiro. O montante total da energia elétrica contratada proveniente de empreendimentos de geração distribuída não poderá exceder a dez por cento da carga do agente de distribuição. (BRASIL, 2004(a), p. 6).

Mesmo com a regulamentação definida, a inserção da GD de pequeno porte à matriz energética nacional ocorreu de forma bastante lenta, enfrentando dificuldades e entraves para sua conexão às redes das distribuidoras. Diante disso, com o objetivo de promover sua expansão, foi publicada a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, em que a ANEEL (2012(b)) estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. A norma institui ainda o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar geradores provenientes de fontes incentivadas de energia (hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada), utilizando a energia gerada para abater o consumo das próprias instalações, injetando a energia excedente no sistema de distribuição acessado. A partir desse respaldo regulatório muitas das barreiras antes presentes para geradores distribuídos de pequeno porte foram amplamente reduzidas, oportunizando uma popularização do acesso dessas fontes e contribuindo para a expansão da geração distribuída na matriz energética brasileira.

2.3 Recursos renováveis de energia

Recursos renováveis de energia são assim designados por serem gerados a partir de recursos considerados infinitos. Segundo Almeida (2010), consiste em fontes que empregam como matéria prima elementos que podem ser recompostos pela natureza em um processo inesgotável, ou em processos cujas reposições são realizadas em curto prazo. Já Ramachandra & Shruthi (2005), define como sendo uma fonte de energia que se renova por natureza e cujo fornecimento não é afetado pela taxa de consumo.

As energias renováveis, principalmente aquelas provenientes dos ventos e radiação solar, são responsáveis por boa parte do crescimento da produção de energia global no ano de 2009, afirma Mota (2011). Conforme MME (2014), os recursos renováveis correspondiam no ano de 2013 a 13,4% da matriz energética global, enquanto no Brasil a participação foi de 41,0%, como mostrado na figura 2.2.

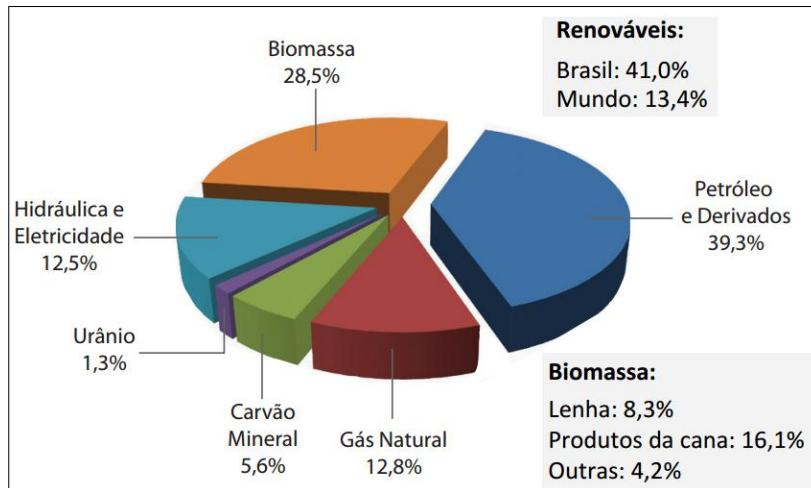


Figura 2.2 – Matriz energética do Brasil em 2013

Fonte: adaptado de MME, 2014, p. 7

No que tange à capacidade instalada de geração, é apresentado na figura 2.3 a matriz de oferta de potência de energia elétrica no ano de 2013 no Brasil, onde a participação das renováveis correspondia a 79,6% da capacidade instalada total. Somente os recursos hídricos representavam 64,9% na participação, sendo a grande parte proveniente de grandes centrais hidrelétricas. Para dar uma dimensão da supremacia dos empreendimentos hídricos de grande porte, atualmente, segundo dados do BIG (ANEEL, 2014), as CGH e PCH em operação representam juntas apenas 5,6% da potência hídrica instalada no Brasil, ou seja, os outros 94,4% são provenientes de UHE.

Outro dado importante e que chama a atenção diz respeito à capacidade total instalada de renováveis de menor porte, como por exemplo, potências de até 5,0 MW. Conforme dados levantados no BIG (ANEEL, 2014), atualmente esses empreendimentos representam apenas 1,2% da capacidade total instalada de empreendimentos de geração em operação no Brasil. Em face desse cenário, em que na matriz energética predominam geradores de grande porte e que impactam no meio ambiente, é notória a necessidade de diversificação das fontes de suprimento e ampliação da participação dos recursos renováveis, principalmente os de pequeno porte na forma de GD.

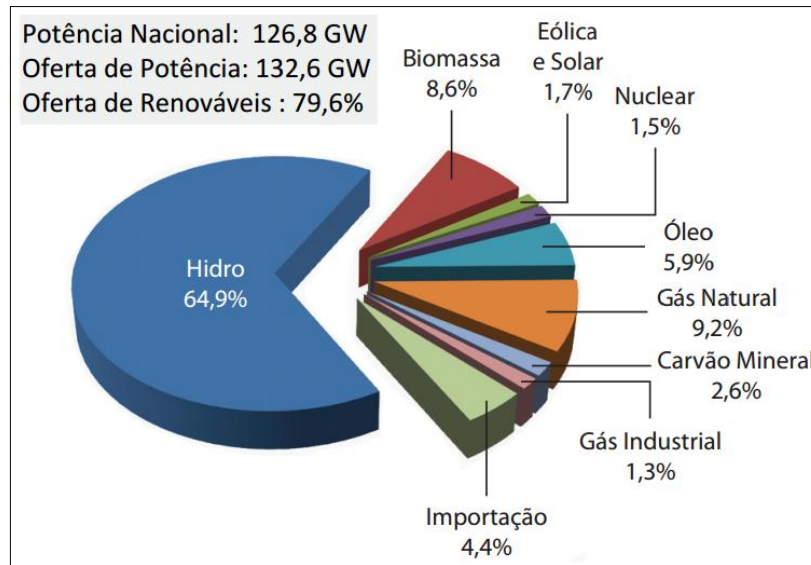


Figura 2.3 – Matriz da capacidade instalada de geração no Brasil em 2013

Fonte: adaptado de MME, 2014, p. 11

Neste sentido, adiante é feita uma breve abordagem teórica das fontes de energia renováveis que fazem parte da proposta deste trabalho. Embora exista uma grande gama de tecnologias associadas à GD, julga-se como mais oportuna uma abordagem nas fontes de energia mais presentes na realidade brasileira e promissoras de aplicação. Neste caso, esta dissertação explora as fontes de energia eólica, solar, biomassa e hídrica, predominantes nos programas de incentivo à diversificação da matriz energética.

2.3.1 Energia eólica

Em um cenário de grande destaque atualmente dentre as fontes renováveis, a energia eólica é a que mais vem crescendo no mundo durante a última década, conforme exposto por Almeida (2010). Está entre as mais promissoras fontes naturais e em estágio de maturidade tecnológica avançado, o que pode ser comprovado pela expansão de parques eólicos e a redução dos custos de contratação de energia aplicados nos últimos leilões.

Como vantagens dessa tecnologia, Mota (2011) destaca a não emissão de gases do efeito estufa quando em operação, baixa taxa de ocupação de área com possibilidade de aproveitamento do entorno para fins agrícolas e a não necessidade de custeio do recurso e transporte. Já as desvantagens estão relacionadas ao impacto sobre a fauna, ruídos e a intermitência na geração quando em períodos sem vento, o que dificulta a integração da produção dessa tecnologia.

No que concerne aos impactos dessa tecnologia ao sistema elétrico, os mesmos estão mais associados à qualidade de energia. De acordo com Kema (2011), harmônicos, pela eletrônica de potência embarcada e tipo de aerogerador, e flicker, pela intermitência na geração na falta de vento, podem tornar-se fontes causadoras de distúrbios na qualidade de energia se não mitigadas.

Na tabela 2.1 apresentam-se de forma sumarizada alguns parâmetros quantitativos para essa tecnologia, com base em Kema (2011), EPE (2014(b)), Mota (2011), Barin (2010) e Cesaretti (2010). Da mesma forma, a partir dessas referências são tabelados os parâmetros das demais fontes, os quais são utilizados mais adiante na metodologia, como critérios quantitativos do método AHP na etapa de priorização das fontes energéticas.

Em relação aos parâmetros, considera-se:

- a) Custo de implantação: é o custo de investimento de capital para cada kW instalado no sistema de geração;
- b) Custo de energia: são os custos de comercialização de energia, baseados em preços de leilões. Utilizam-se como referência os valores adotados pela EPE (2014(b)) para elaboração dos planos decenais de expansão de energia;
- c) Custo de operação e manutenção (O&M): são os custos anuais de operação e manutenção do sistema de geração, dado em percentual em relação ao custo de implantação;
- d) Tempo de vida útil: é o tempo de vida útil das instalações, em anos.
- e) Eficiência energética e operacional: é a associação da eficiência de conversão energética com o fator de capacidade da geração. Baseia-se no proposto por Cesaretti (2010), onde o valor é calculado pelo produto dessas duas grandezas;
- f) Tempo de operação a plena carga: consiste no número médio anual de horas que as instalações operam a plena carga.

Tabela 2.1 - Parâmetros relacionados à energia eólica

Parâmetro	Valor	Referência
Custo de implantação	900-1.200 €/kW	Kema (2011)
Custo de energia	128,30 R\$/MWh	EPE (2014(b))
Custo de operação e manutenção (O&M)	1,0 %	Kema (2011)
Tempo de vida útil	25 anos	Barin (2010)
Eficiência energética e operacional	0,31	Cesaretti (2010)
Tempo de operação a plena carga	2.000 horas/ano	Kema (2011)

Na figura 2.4, são mostradas as formas de aplicação da energia eólica em função do porte dos aerogeradores.

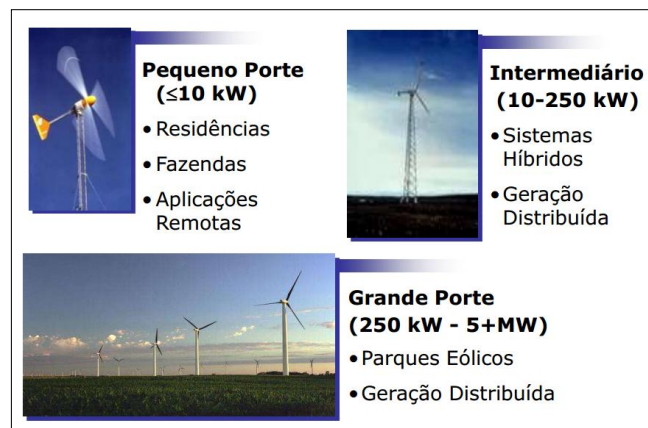


Figura 2.4 – Aplicações da energia eólica

Fonte: CEPEL, 2014

2.3.2 Energia solar

Uma importante fonte de energia e que muito tem a contribuir para diversificação da matriz energética é a solar. No entanto, ainda não atingiram um resultado satisfatório na geração de energia elétrica, contribuindo timidamente para

a expansão dos recursos renováveis na matriz brasileira. Atualmente, segundo dados da ANEEL (2014), existem apenas 130 empreendimentos geradores fotovoltaicos em operação no país. A potência total instalada equivale a 9,94 GW, o que representa menos de 0,01% da capacidade instalada da nossa matriz energética. Apesar disso, especialistas têm afirmado que o momento é propício para o desenvolvimento da tecnologia, uma vez que a oferta de energia está escassa e os custos de produção da energia solar, até então elevados, vêm reduzindo consideravelmente.

O sistema fotovoltaico é caracterizado pelo baixo impacto ambiental na produção de energia elétrica e com grande potencial energético a ser aproveitado no Brasil. Outras vantagens dessa tecnologia, segundo Almeida (2010), estão a modularidade, a segurança dos componentes, ausência de ruídos e baixos custos com manutenção. Como desvantagens desse sistema, destaca-se a intermitência do recurso energético, necessidade de sistema de armazenamento de energia para operação em períodos sem incidência de sol e custo elevado de implantação.

Da mesma forma que a eólica, a energia solar pode impactar na qualidade de energia do sistema acessado. Outra preocupação com essa tecnologia, segundo Kema (2011), está relacionada ao seu grau de incerteza na produção de energia devido à intermitência do recurso energético. Quando da entrada de outras fontes para compensar essas incertezas, variações na frequência do sistema podem ocorrer. Observam-se na tabela 2.2 os parâmetros de referência para energia solar.

Tabela 2.2 - Parâmetros relacionados à energia solar

Parâmetro	Valor	Referência
Custo de implantação	3.500 €/kW	Kema (2011)
Custo de energia	300,00 R\$/MWh	EPE (2014(b))
Custo de operação e manutenção (O&M)	1,0 %	Kema (2011)
Tempo de vida útil	28 anos	Barin (2010)
Eficiência energética e operacional	0,13	Mota (2011) e Cesaretti (2010)
Tempo de operação a plena carga	1.800 horas/ano	Kema (2011)

Na figura 2.5, a título de ilustração de um parque fotovoltaico, é apresentado um dos principais empreendimentos em operação atualmente no Brasil, na cidade de Campinas/SP, com capacidade instalada de 1,1 MW.



Figura 2.5 – Parque fotovoltaico em operação no Brasil

Fonte: UNICAMP, 2014

2.3.3 Energia biomassa

Outra tecnologia com potencial expressivo de crescimento na matriz energética é a biomassa, seja no mercado interno quanto externo, haja vista a riqueza de recursos energéticos para geração de energia por meio dessa fonte. Atualmente, a participação da biomassa na matriz energética brasileira encontra-se em 8,45%, contabilizando os 481 empreendimentos em operação no país (ANEEL, 2014). Destes, a grande maioria são de médio e grande portes, aqui considerados acima de 5,0 MW e, conforme figura 2.6, derivados da queima do bagaço e da palha da cana de açúcar.

Segundo ANEEL (2008), a participação da biomassa no Brasil é importante não só para a diversificação da matriz energética, mas também porque a safra da cana coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período auxilia, portanto, na complementaridade dos níveis dos

reservatórios das UHE. Outras vantagens da biomassa estão relacionadas ao baixo nível de poluição pela não emissão de dióxido de carbono, aproveitamento sustentável de restos produzidos e impactos ambientais reduzidos. Por outro lado, conforme destacado por Almeida (2010), um ponto importante a ser considerado é de que grande parte dos aproveitamentos da biomassa se dá pela utilização de resíduos agrícolas, florestais e lixo urbano. Dessa forma, considerando um cenário de expansão da geração de eletricidade a partir da biomassa, o suprimento de matéria prima estaria condicionado à expansão das atividades agrícola e florestal. Outros fatores importantes vistos como desvantagens da biomassa estão a baixa eficiência de conversão energética, a localização muitas vezes inadequada para o sistema elétrico, assim como as sazonalidades e custos de armazenagem e transporte dos insumos.

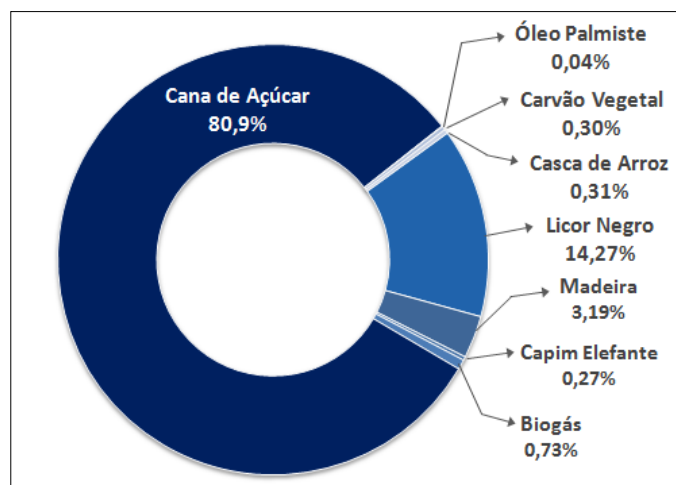


Figura 2.6 – Tipos de geração por biomassa na matriz energética brasileira

Fonte: adaptado de ANEEL, 2014

Do ponto de vista de estágio de desenvolvimento tecnológico, segundo Kema (2011), a biomassa pode ser considerada madura, porém com espaços para avanços na eficiência do processo de geração para melhor aproveitamento dos insumos disponíveis. Quanto ao grau de impactos no sistema elétrico, a biomassa tem menor influência em relação a outras renováveis como eólica e solar, já que não sofre com paradas repentinas no processo de geração, ocasionados pela

intermitência de recursos energéticos, exceto em caso de utilização de matéria prima irregular. Na tabela 2.3 os parâmetros de referência para energia proveniente da biomassa são apresentados.

Tabela 2.3 - Parâmetros relacionados à energia biomassa

Parâmetro	Valor	Referência
Custo de implantação	2.000-3.000 €/kW	Kema (2011)
Custo de energia	134,90 R\$/MWh	EPE (2014(b))
Custo de operação e manutenção (O&M)	7,5%	Kema (2011)
Tempo de vida útil	20 anos	Barin (2010)
Eficiência energética e operacional	0,22	Cesaretti (2010)
Tempo de operação a plena carga	8.000 horas/ano	Kema (2011)

2.3.4 Energia hídrica

O potencial de recursos hídricos para geração de energia elétrica se destaca na matriz energética brasileira, diferente de outros países, que utilizam basicamente combustíveis fósseis ou nucleares em sua matriz elétrica. No entanto, considerando o atual cenário que se buscam alternativas de geração de energia com menor impacto ambiental, projeto de hídricas de grande porte vêm sofrendo grandes entraves para concretização. Prova disso é a participação das UHE na evolução anual da capacidade instalada de geração no Brasil, mostrada na figura 2.7, que se apresenta sem notório crescimento, diferentemente das demais tecnologias. Por outro lado, embora timidamente, verifica-se um crescimento das demais alternativas hídricas, as PCH e CGH.

A geração de energia através de aproveitamentos hídricos de pequeno porte mostra-se como alternativa interessante, já que a tecnologia e técnicas de construção empregadas são totalmente dominadas, apresentam baixos impactos ambientais e custos de implantação. Outro aspecto importante a ser considerado para essa fonte é a sua forte contribuição à segurança da matriz energética em

função da baixa intermitência do recurso energético. Por outro lado, em períodos de escassez de chuvas necessitam de complementaridade de outras fontes.

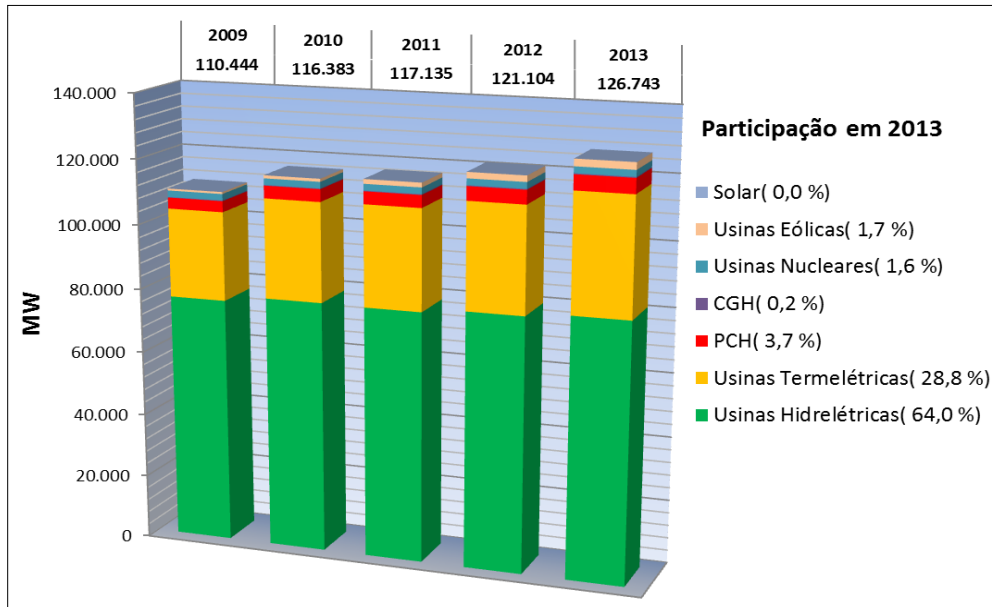


Figura 2.7 – Evolução da capacidade instalada de geração hídrica (2009-2013)

Fonte: adaptado de EPE, 2014(a), aba Gráfico 2.1.

Os impactos da geração hídrica, especificamente para CGH e PCH, estão muito relacionados às características do recurso hídrico onde a geração está instalada. Embora essa tecnologia apresente elevado fator de capacidade e possibilidade de armazenamento do recurso energético, em períodos secos poderão ser necessárias outras fontes complementares para suprir o fornecimento de energia da rede acessada. Poucos impactos na qualidade de energia são verificados quando utilizados geradores síncronos porém, segundo Kema (2011), podem contribuir com o aumento das correntes de curto-circuito da rede.

Semelhante às demais fontes apresentadas, na tabela 2.4 estão sumarizados os parâmetros quantitativos para a geração hídrica (CGH e PCH).

Tabela 2.4 - Parâmetros relacionados à energia hídrica

Parâmetro	Valor	Referência
Custo de implantação	1.000-2.500 €/kW	Kema (2011)
Custo de energia	128,40 R\$/MWh	EPE (2014(b))
Custo de operação e manutenção (O&M)	1,0%	Kema (2011)
Tempo de vida útil	30 anos	Cesaretti (2010)
Eficiência energética e operacional	0,61	Cesaretti (2010)
Tempo de operação a plena carga	3.000 horas/ano	Kema (2011)

A partir desta abordagem acerca das fontes renováveis de energia de que trata a dissertação, avaliando as características, o atual cenário e a participação de cada fonte na matriz energética, observa-se a importância e necessidade de estudos focados na expansão da participação das fontes renováveis. Apesar de o Brasil destacar-se em relação à média mundial em participação de energia limpa na sua matriz elétrica, muito se tem a avançar na diversificação e expansão da mesma, especialmente sob a forma de GD. Dessa forma, estudos relacionados à exploração de recursos renováveis para geração de energia são providenciais. Alinhado a isto, no que segue apresenta-se um relato teórico voltado ao mapeamento e estimativa do potencial energético para fontes renováveis, que serve de base para formulação de uma das etapas da metodologia a que se propõe este trabalho.

2.4 Potencial energético

2.4.1 Mapeamento de recursos renováveis

A partir do movimento de transformação que o setor elétrico vem passando, pela necessidade de diversificação da matriz energética com fontes renováveis para dar sustentabilidade ao *mix* de geração e promover maior segurança energética para o sistema elétrico, o mapeamento do potencial de geração passa a ser uma

importante variável a ser considerada nos estudos de planejamento do setor. No que tange à GD, o mapeamento do potencial dessa forma de geração vem ao encontro desse movimento de transformação e ganha ainda mais importância pelos seus benefícios ao sistema de distribuição.

Em linhas gerais, a ANEEL (2002) destaca que a reunião de informações sobre disponibilidade de recursos energéticos tem papel fundamental na elaboração e cumprimento das políticas e diretrizes do setor elétrico brasileiro. Um mapeamento sistematizado dessas informações certamente pode auxiliar na identificação, análise e solução de problemas relacionados ao suprimento e/ou à demanda de energia elétrica.

Diversos documentos relacionados ao mapeamento do potencial de geração de energia têm sido apresentados, os chamados atlas energéticos, que em geral partem de empresas voltadas ao ramo de energia, abrangendo as mais diferentes fontes de geração. Atualmente essa iniciativa tem ocorrido também por parte de governos estaduais, os quais visam principalmente estreitar cada vez mais relações com o setor elétrico a fim de se mostrarem mais atrativos para potenciais empreendedores do ramo.

Como exemplos de documentos relativos ao mapeamento energético podem ser citados inúmeros trabalhos, dos quais são apresentados na tabela 2.5 aqueles utilizados como referência neste estudo, nas suas versões mais recentes e disponíveis para pesquisa.

Embora alguns pareçam defasados, haja vista o ano de elaboração frente ao avanço tecnológico dos últimos anos, como CEPEL (2000) e CEPEL (2001), são documentos com grande riqueza de informações e extremamente úteis para o mapeamento energético dessas fontes. Por outro lado, importantes da mesma forma, alguns estudos como os balanços energéticos nacional e do estado do RS, bem como o atlas da bioenergia no Brasil apresentam dados bastante atualizados, vindo à esteira da elaboração de um programa de incentivos de energias renováveis que se vê atualmente no país e até mesmo a nível mundial.

Tabela 2.5 - Estudos relacionados ao mapeamento do potencial energético

Referência	Estudo	Fonte Energética
CEPEL (2001)	Atlas eólico brasileiro	Eólica
Amarante & Silva (2002)	Atlas eólico do Rio Grande do Sul	Eólica
LACTEC (2007)	Atlas eólico do Paraná	Eólica
Amarante, Silva e Andrade (2010)	Atlas eólico de Minas Gerais	Eólica
Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2012)	Atlas eólico de São Paulo	Eólica
ANEEL (2008)	Atlas nacional de energia elétrica	Hídrica, biomassa, Eólica, Solar, Outras
CEPEL (2000)	Atlas solarimétrico do Brasil	Solar
Pereira (2006)	Atlas brasileiro de energia solar	Solar
Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2013)	Potencial fotovoltaico de São Paulo	Solar
CEMIG (2013)	Atlas solarimétrico de Minas Gerais	Solar
IBGE (2009(a))	Efetivo dos rebanhos bovinos, suínos, e aves no Rio Grande do Sul	Biomassa
Coelho, Monteiro e Karniol (2012)	Atlas da bioenergia do Brasil	Biomassa
Capeletto & Moura (2011)	Balanço energético do Rio Grande do Sul	Hídrica, Biomassa, Eólica, Solar
EPE (2013) / EPE (2014(b))	Balanço energético nacional	Hídrica, Outras
MME (2007)	Plano nacional de energia 2030	Hídrica, Biomassa, Eólica, Solar, Outras
ANEEL (2012(a))	Banco de dados de PCH e CGH	Hídrica

Na figura 2.8 são apresentados alguns mapas relacionados ao potencial energético de fontes renováveis, disponíveis nas referências listadas na tabela 2.5.

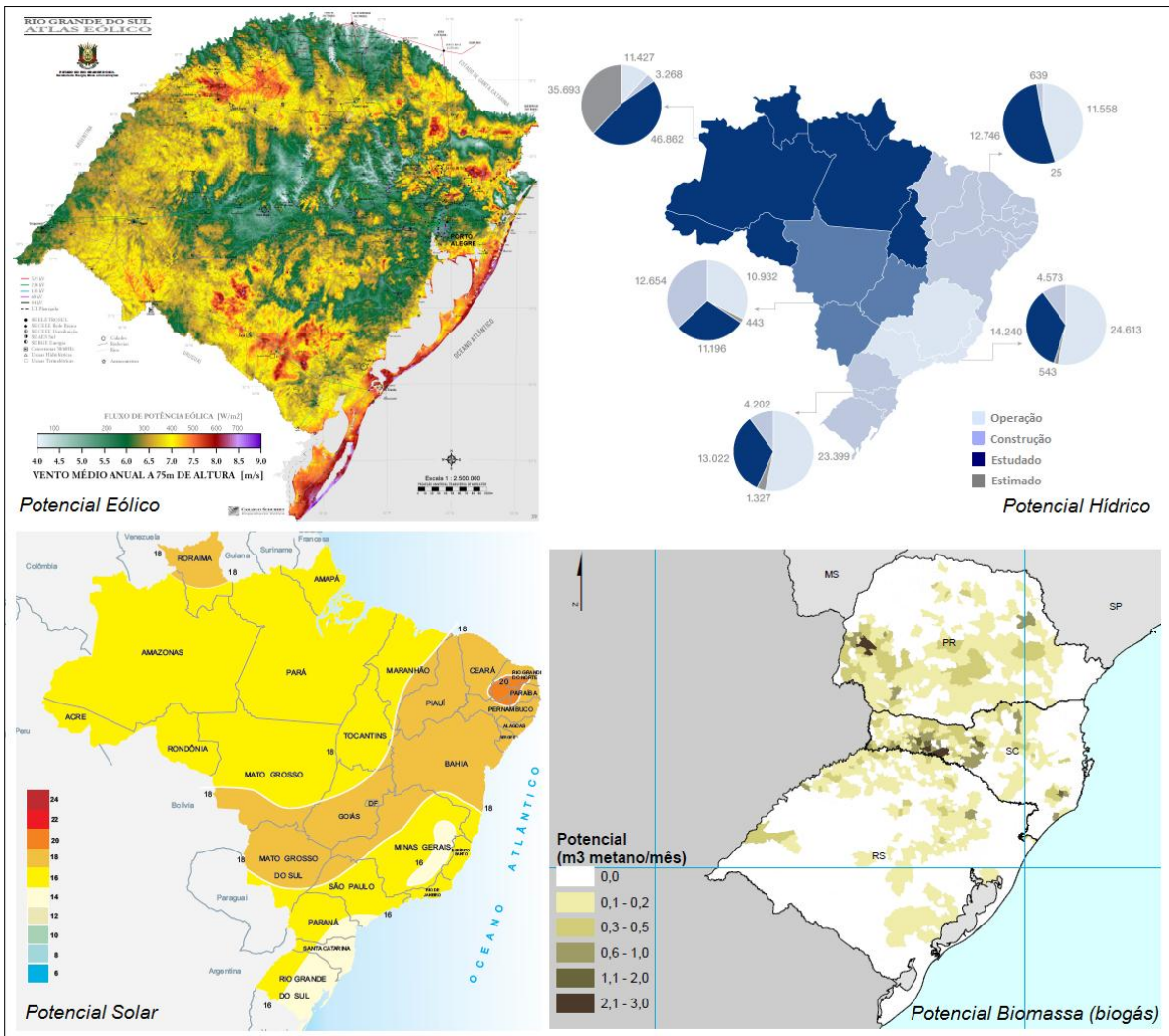


Figura 2.8 – Exemplos de aplicações de mapeamento do potencial energético
 Fonte: adaptado de Amarante & Silva (2002); Eletrobrás (2011); CEPEL (2000); Coelho, Monteiro e Karniol (2012)

2.4.2 Estimação da capacidade de geração

A partir do mapeamento das fontes energéticas disponíveis em uma determinada região, é possível avaliar o potencial de geração de energia que a mesma apresenta. Para isso existem métodos específicos aplicados a cada tecnologia que possibilitam estimar a capacidade energética, baseando-se nas especificidades, particularidades e variáveis principais de estimação do potencial das fontes de geração, as quais são apresentadas no que segue.

a) Energia eólica:

O cálculo do potencial de geração de energia eólica baseia-se principalmente em uma variável denominada Taxa de Ocupação Média. Segundo Amarante & Silva (2002), essa variável é determinada a partir de critérios de espaçamento de densidade de aerogeradores e simulações de interferência aerodinâmica.

Considerando uma média representativa das áreas mais promissoras para aproveitamento eólico, em terrenos planos e sem obstáculos, Amarante & Silva (2002) estimam uma taxa de ocupação média no RS de 1,5 MW/km². O cálculo do potencial considera ainda a altura de medição dos ventos, geralmente 50, 75 e 100 metros, a velocidade média anual dos ventos, o tamanho da área de estudo e o fator de capacidade da instalação.

b) Energia solar:

O potencial de geração de energia a partir desta fonte, segundo o MME (2007), leva em consideração aspectos como condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar, temperatura ambiente, etc.), disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, e depende ainda da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Esse conjunto de fatores é representado pela variação da radiação solar, em MJ/m².dia, a qual considera-se como parâmetro principal de estimação do potencial para essa fonte de geração. Para Capelleto & Moura (2011), o potencial fotovoltaico pode ser estimado considerando ainda a dimensão da área de interesse, a taxa de ocupação da área com coletores solares e o fator de conversão da energia irradiada para energia elétrica.

c) Energia biomassa:

Para a biomassa, são considerados neste estudo os seguintes tipos para avaliação do potencial energético: casca de arroz, cana de açúcar, silvicultura, e dejetos de suínos, aves e bovinos.

▪ *Casca de arroz*: para determinação do potencial energético a partir da queima de casca de arroz, segundo Coelho, Monteiro e Karniol (2012), leva-se em consideração a produção agrícola da área de estudo através da quantidade de toneladas de arroz em casca produzida, o poder calorífico da casca de arroz, além da eficiência do processo. Neste caso, considera-se somente a casca como resíduo aproveitável para geração de energia, a qual representa aproximadamente 30% do peso total do arroz com casca. O poder calorífico da casca de arroz, segundo Coelho, Paletta e Freitas (2000), representa 3.384,09 kcal/kg.

▪ *Cana de açúcar*: o potencial de geração de energia a partir do uso da cana de açúcar é calculado basicamente levando-se em consideração a eficiência do processo e a quantidade de cana colhida, conforme proposto por Tolmasquim (2003). Estas duas variáveis podem sofrer largas variações dependendo de uma série de fatores como clima, solo, qualidade e variedade da cana de açúcar, estágio de corte, etc. Por este motivo podem ser adotados três cenários de geração de energia a partir dos resíduos dessa cultura, conforme disposto em MME (2007), sendo eles:

- *Cenário I - 30 kWh/T_{cana}*: considera-se que o sistema opere somente durante o período de safra com os resíduos gerados, ou seja, entre os meses de abril e novembro, em 5.563 horas anuais.
- *Cenário II - 60 kWh/T_{cana}*: da mesma forma que o cenário I, considera-se o sistema operando apenas na safra, porém com geração de 60 kWh/T_{cana}.
- *Cenário III - 120 kWh/T_{cana}*: considera-se que o sistema opere durante o ano inteiro com os resíduos gerados, e que a operação ocorra em 95% das horas do ano, resultando em 8.322 horas anuais. Outra particularidade deste cenário é que são considerados, além do bagaço, a palha e as pontas resultantes da colheita da cana crua.

▪ *Silvicultura*: o potencial a partir de resíduos da silvicultura pode ser medido em três fases, a partir de resíduos deixados no campo após o corte da madeira (15%); resíduos gerados durante a fase de processamento da madeira (50%); e resíduos gerados pela indústria moveleira (20%). Neste estudo, utiliza-se como referência o proposto por Coelho, Monteiro e Karniol (2012), onde leva-se em conta apenas os resíduos gerados na fase de processamento da madeira, que

representam 50% do seu peso total. Dessa forma, o cálculo do potencial leva em consideração a quantidade de madeira em tora; o poder calorífico do resíduo, cujo valor representa 2.000 kcal/kg segundo Coelho, Paleta e Freitas (2000); e a eficiência do processo.

- *Dejetos de suínos, aves e bovinos:* baseia-se principalmente na quantidade de gás metano (em m³), contida no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras desses rebanhos. O cálculo dessa variável leva em conta o tamanho do rebanho e os parâmetros de conversão energética para cada tipo de material, dispostos na tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Parâmetros de conversão energética para cada origem de material

Origem do Material	kg esterco/dia.unidade geradora	kg biogás / kg esterco	Concentração de Metano
Suínos	2,25	0,062	66%
Bovinos	10,00	0,037	60%
Aves	0,18	0,055	60%

Fonte: Adaptado de Coelho, Monteiro e Karniol (2012, p. 12).

De acordo com Coldebella, et al. (2006), Oliveira (2005) e Mazzucchi (1980), o biogás pode apresentar uma variação no poder calorífico entre 4,95 e 7,92 kWh/m³, em função do percentual de metano presente na mistura, neste caso 50 e 80%, respectivamente. Deve ser considerando ainda a eficiência do processo. Neste caso, essas duas variáveis associadas à quantidade de gás metano presente nos materiais, possibilitam estimar o potencial energético para essa tecnologia de geração.

d) Energia hídrica:

Para a estimativa do potencial de geração de energia a partir de recursos hídricos são considerados aqui somente os aproveitamentos de pequeno porte, que

incluem as CGH e PCH. Entretanto, é importante ressaltar que estimar o potencial hídrico de uma determinada região não se trata de uma tarefa trivial, sendo necessárias avaliações detalhadas e criteriosas das características topográficas e hidrológicas de cada aproveitamento. Por esta razão, o presente estudo considera como referências e base de informações para estimação do potencial hídrico de pequeno porte, apenas as potências dos empreendimentos outorgados e que não iniciaram sua construção, conforme mostrado na figura 2.9, disposto em ANEEL (2014), e banco de dados de distribuidoras quando disponível.

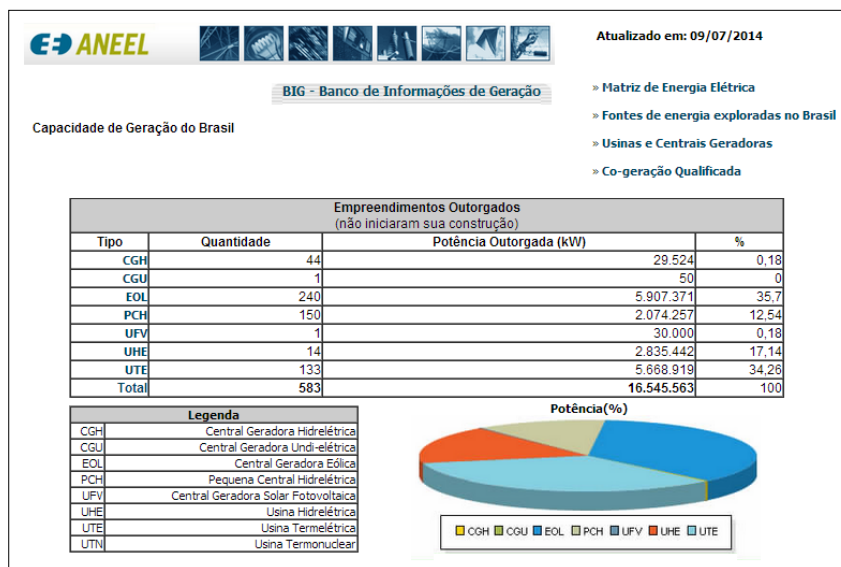


Figura 2.9 – Banco de informações para estimação do potencial de CGH e PCH

Fonte: adaptado de Aneel, 2014

É necessário destacar que tanto o mapeamento do potencial energético quanto a estimativa da capacidade de geração aqui abordados, baseiam-se em estudos e métodos avançados, já consolidados e disponíveis para pesquisa. Sendo assim, é importante que fique claro, que não faz parte do escopo desta dissertação qualquer desenvolvimento e proposição de novas técnicas de estimação e mapeamento de potencial energético. O que está sendo proposto é uma metodologia de apoio às formas tradicionais de planejamento, que inclui juntamente com outras variáveis, o mapeamento e estimação de potencial baseado nas referências apresentadas ao longo deste estudo.

2.5 Considerações finais do capítulo

Da análise geral do capítulo de revisão da literatura, em que se buscou apresentar uma visão geral da GD na ótica do planejamento a partir das publicações afins, e que fundamentam este estudo, é notório que a geração descentralizada vem despertando grande interesse dos pesquisadores, de forma a avaliar as oportunidades e ameaças desses novos agentes conectados ao sistema elétrico.

Observou-se que, de modo geral, as pesquisas apontam a necessidade de promover um maior aproveitamento do potencial de renováveis com GD para diversificação da matriz energética, assim como, a necessidade de revisão dos métodos usuais de planejamento a partir da conexão da geração descentralizada. No entanto, entende-se que a disponibilidade dos recursos, em boa parte dos casos, tem sido avaliada por meio de estudos específicos e de forma independente. Fato que sinaliza excelentes oportunidades para pesquisas que integrem diferentes tecnologias de GD.

Outro aspecto relevante identificado se refere ao emprego de métodos multicritérios na solução de problemas com diferentes tecnologias de GD, dada à quantidade de variáveis envolvidas. Neste sentido, se fez possível avaliar o desempenho do método AHP em pesquisas similares, o qual tem se mostrado satisfatório. Verificou-se ainda, que a avaliação de diferentes alternativas de geração concentra-se, basicamente, nas esferas técnica ou econômica, quase sempre avaliadas de forma independente.

Neste contexto, verificou-se que a junção de importantes variáveis como o mapeamento dos recursos de GD, a estimação do potencial e a priorização das fontes a partir de diferentes critérios e perspectivas, podem revelar excelentes oportunidades no campo da pesquisa e no dia a dia das distribuidoras.

Sendo assim, à frente apresenta-se o capítulo de desenvolvimento da metodologia. O mesmo irá contemplar as etapas que a compõe, fundamentadas pela revisão bibliográfica apresentada, contemplando o mapeamento e estimação do potencial energético para fontes renováveis e a modelagem AHP para priorização das tecnologias de geração.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

3.1 Considerações iniciais

A partir do objetivo geral desta dissertação, que consiste na proposição de uma metodologia para mapeamento e priorização de fontes renováveis de GD como suporte às formas convencionais de planejamento da distribuição, o Capítulo 3 apresenta seu desenvolvimento, com os materiais e métodos empregados.

O estudo desenvolvido propõe um método de apoio à tomada de decisão em que, a partir de um mapeamento global e estimação do potencial energético de fontes de energia em uma determinada região, as mesmas são classificadas por ordem de prioridade, de modo a indicar a melhor forma de aproveitamento dos recursos disponíveis em diferentes perspectivas: a da distribuidora, e a do investidor. Um conjunto de critérios quantitativos e qualitativos é considerado na análise, obtendo-se ao final um escalonamento das fontes prioritárias para cada um dos cenários.

Dessa forma, a metodologia é representada através dos fluxogramas das figuras 3.1 e 3.2, onde na sequência, apresenta-se o detalhamento das etapas que a compõe.

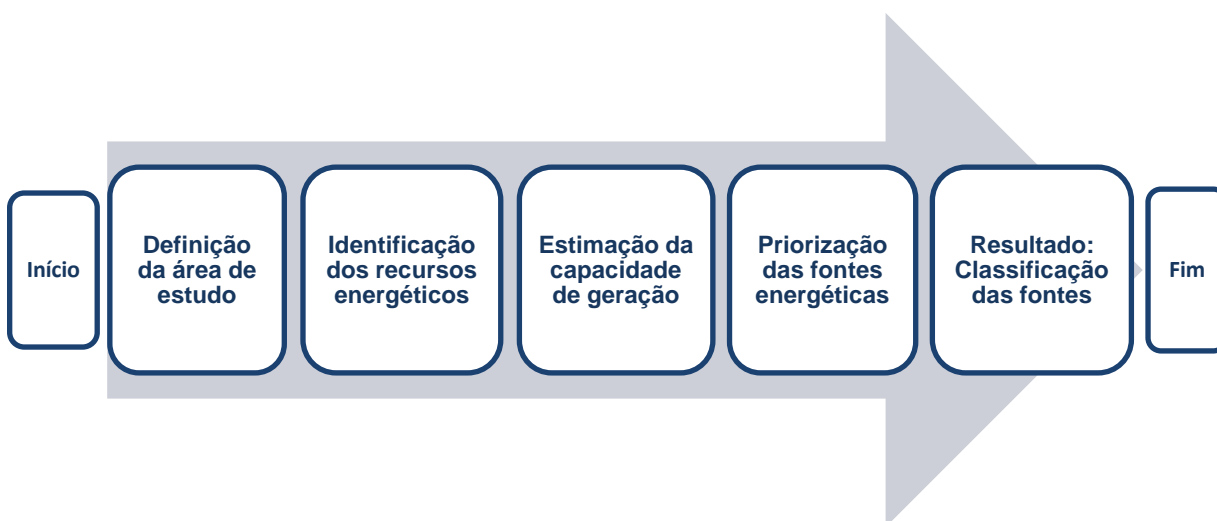


Figura 3.1 – Fluxo geral da metodologia proposta

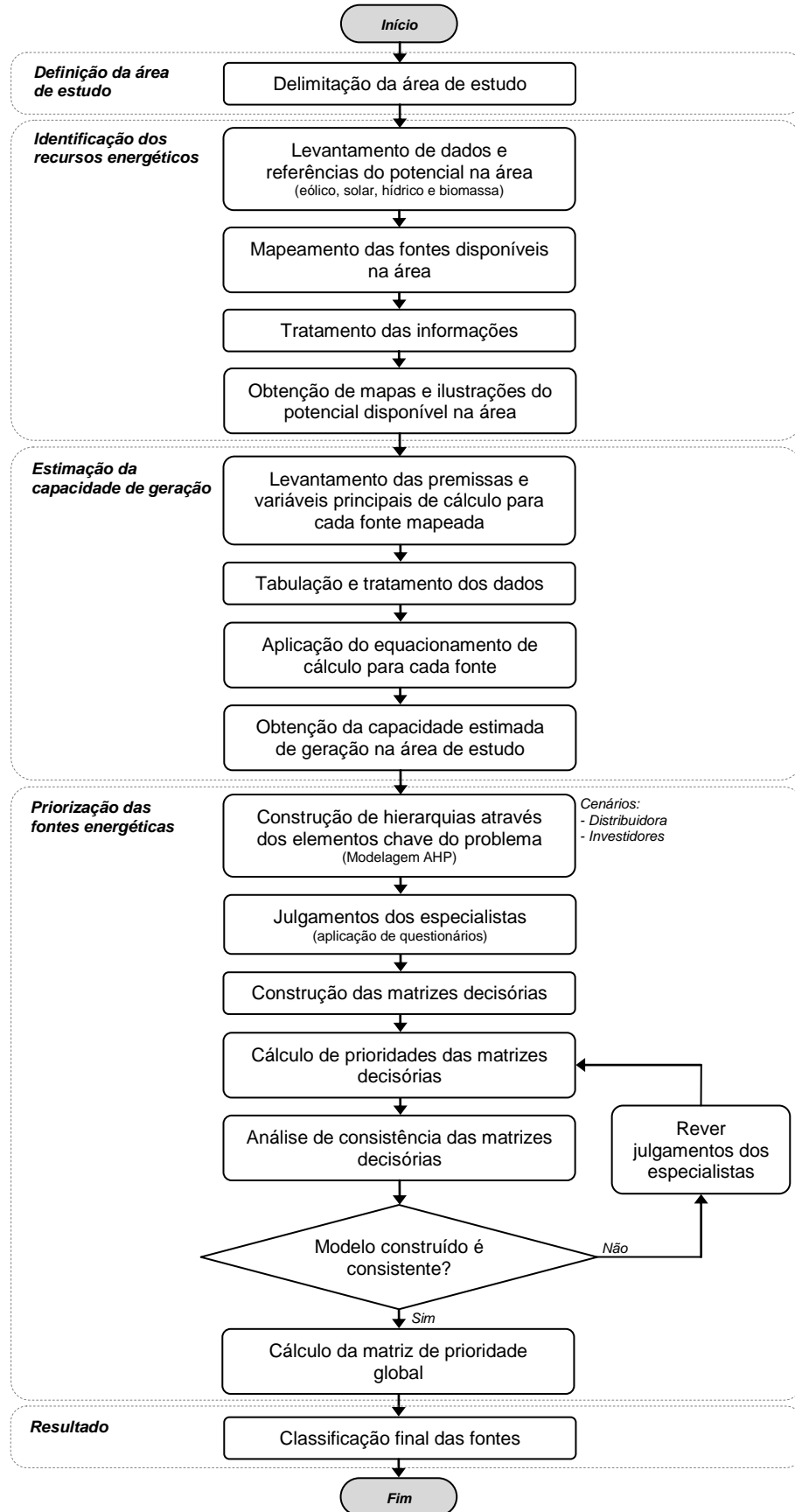


Figura 3.2 – Fluxo detalhado da metodologia proposta

3.2 Etapas da metodologia

3.2.1 Definição da área de estudo

O primeiro passo consiste na definição da área a ser estudada, delimitando o local objeto de análise, como por exemplo, um alimentador, um conjunto elétrico, a área de atuação de uma distribuidora, etc. De maneira geral, a delimitação da área é definida com base em algumas premissas básicas, tais como: a área esperada a serem explorados os recursos disponíveis; o conhecimento intrínseco da equipe de planejamento quanto às potencialidades da região, as necessidades sistêmicas, os *stakeholders*, ou partes envolvidas; e o grau das ameaças e oportunidades que se espera a partir da expansão da conexão de GD.

A definição da área a ser estudada é relevante na avaliação das potencialidades energéticas, assim como na classificação das fontes a serem exploradas. O parâmetro espacial escolhido certamente implicará no resultado dos dados obtidos e nas conclusões do estudo, uma vez que esta metodologia considera em seu processo de análise, parâmetros relativos à dimensão da área (km²), produtividade agrícola, tamanho de rebanhos por município integrante da área em pauta, perfil de carga do sistema elétrico da região, entre outros. A figura 3.3 ilustra diferentes formas de delimitação de áreas de estudo, aplicáveis nessa metodologia.

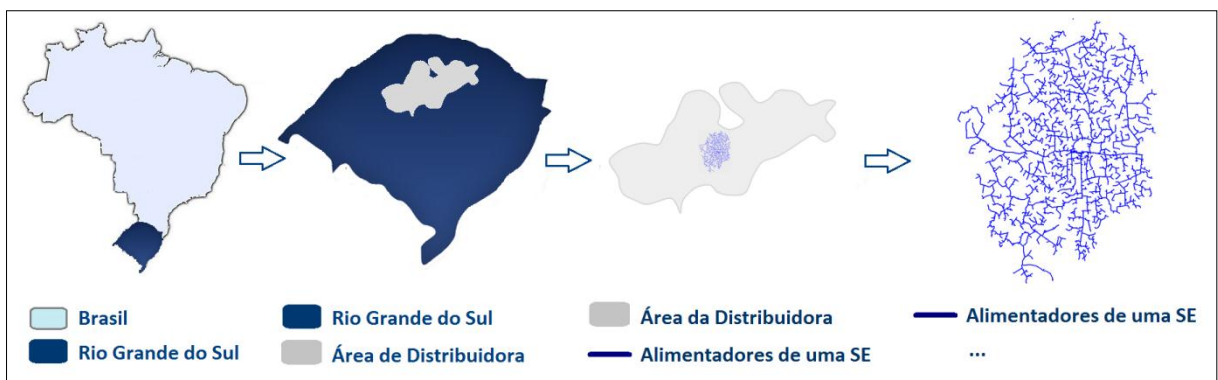


Figura 3.3 – Exemplos de delimitação de área de estudo

3.2.2 Identificação dos recursos energéticos

O segundo passo da metodologia proposta objetiva identificar quais são os recursos energéticos provenientes de fontes renováveis disponíveis na área de interesse. O foco do mapeamento nesta dissertação é dado para as fontes eólica, solar, biomassa e hídrica.

Propõe-se que a identificação dos recursos energéticos seja realizada através de um levantamento e investigação minuciosa de dados existentes, providos de estudos e documentos específicos para cada tecnologia de geração, como aqueles apresentados na tabela 2.5, e banco de dados da distribuidora. As informações assim obtidas são tratadas e apresentadas na forma de mapas e ilustrações, com a disposição, no caso de existir, dos recursos energéticos na área de estudo.

Para o caso das energias eólica e solar, é óbvia a existência dos recursos energéticos para estas fontes, vento e sol, respectivamente, em qualquer área de análise. Neste caso, avalia-se a disponibilidade dos recursos através dos mapas de intensidade dos ventos e irradiação solar, que indicam as áreas mais favoráveis de exploração desses recursos.

No que tange à energia gerada através da biomassa, o mapeamento é norteado pelas informações de produção dos insumos energéticos. Para a energia gerada a partir de dejetos agrícolas, são identificadas as regiões produtoras de arroz, cana de açúcar e silvicultura. Já de dejetos de animais, identificam-se as concentrações de rebanhos suíno, bovino e aves, na área de análise.

O mapeamento do potencial hídrico torna-se um pouco mais complexo devido à quantidade de aproveitamentos hidrológicos já explorados, e da necessidade de avaliações detalhadas das características topográficas e hidrológicas de cada aproveitamento ainda disponível. Por esta razão, o mapeamento do potencial que está sendo proposto considera somente a localização dos pequenos aproveitamentos outorgados e que não iniciaram sua construção, de acordo com ANEEL (2014), e informações do banco de dados da própria distribuidora.

A partir dos resultados obtidos nesta etapa de identificação dos recursos energéticos disponíveis na área de estudo, estima-se a capacidade de geração de energia, em MW, para cada fonte potencialmente mapeada, de acordo com o exposto na sequência.

3.2.3 Estimação da capacidade de geração

Este passo da metodologia visa apresentar através de cálculos e equacionamentos, o potencial de geração de forma estimada que as fontes mapeadas na etapa anterior representam. O cálculo é feito com base nas variáveis principais de estimação do potencial de cada fonte.

Vale destacar que os montantes de capacidade energética obtidos nessa etapa da metodologia, além de darem ao planejador uma dimensão do potencial de geração para cada fonte renovável junto à área de estudo, também são utilizados como dados de entrada para um dos parâmetros quantitativos da etapa seguinte, de priorização das fontes energéticas através do método AHP.

Importante ressaltar ainda, que a avaliação da capacidade de geração abordada neste estudo visa somente quantificar o potencial e a capacidade de geração junto à área mapeada, a fim de dar uma dimensão aproximada do montante de potência disponível de cada uma das fontes.

a) Energia eólica:

No caso da eólica, considera-se como variável principal de estimação do potencial a taxa de ocupação média do solo com aerogeradores, a qual, com base em Amarante e Silva (2002), corresponde a $1,5 \text{ MW/km}^2$ para terrenos planos e sem obstáculos. O valor é estipulado considerando as seguintes premissas básicas, as quais são igualmente adotadas neste estudo: ventos com velocidade média anual de $7,0 \text{ m/s}$; medições dos ventos a 50 metros de altura; e em solo firme (*onshore*).

Outro importante parâmetro que deve ser considerado para estimar o potencial eólico de uma região consiste na adoção, com base no mapa do fluxo de potência eólica, do percentual da área de interesse que apresenta características semelhantes às previamente citadas. Para dar uma ideia, no RS, de acordo com o Atlas Eólico do estado representado pela figura 3.4, apenas 3,0% de sua área total apresenta ventos médios na faixa de $7,0 \text{ m/s}$, medidos a 50m de altura, em solo firme.

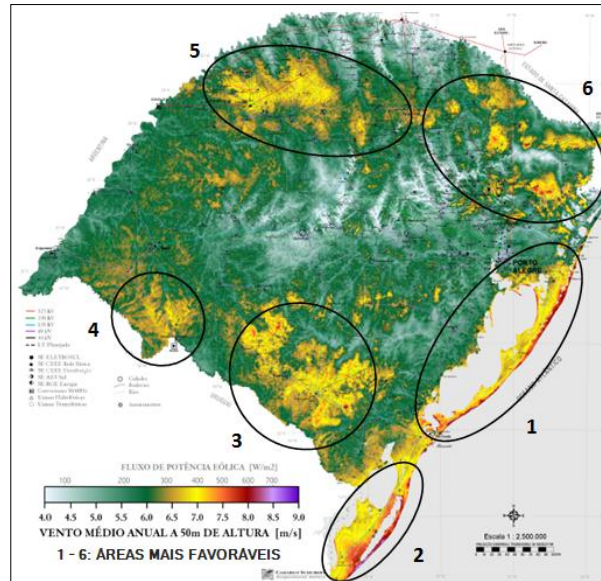


Figura 3.4 – Fluxo de potência eólica do RS

Fonte: adaptado de Amarante e Silva (2002)

Sendo assim, a partir do mapa do fluxo de potência eólica da área de estudo, para medições a 50 m de altura e em solo firme, estima-se o percentual da área de interesse que apresenta ventos na faixa de 7,0 m/s. Após, calcula-se a respectiva área, em km^2 , multiplicando em seguida pelo valor de referência da taxa de ocupação média, de $1,5 \text{ MW}/\text{km}^2$, e pela eficiência energética operacional. Dessa forma, estima-se o potencial eólico de uma dada área a partir da equação (3.1).

$$\text{Potencial(MW)} = A * x * 1,5 * \eta \quad (3.1)$$

onde:

A: área de estudo, em km^2 ;

x: parcela da área de estudo de acordo com as premissas adotadas;

η : eficiência energética e operacional.

b) Energia solar:

A definição do potencial de geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos leva em consideração um conjunto de fatores, conforme já abordado anteriormente, os quais são representados pela variação da radiação solar, em

MJ/m².dia. A figura 3.5 representa o mapa da variação da radiação solar no RS, utilizado como referência nesta metodologia.

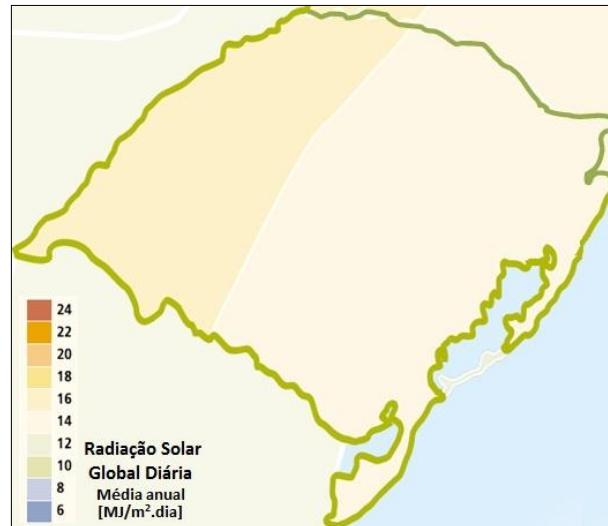


Figura 3.5 – Variação da radiação solar do RS

Fonte: adaptado de ANEEL (2008)

O cálculo é realizado conforme proposto por Capeletto e Moura (2011), através da equação (3.2), que considera uma taxa de ocupação da área com coletores solares de 0,01% da área total, e que 1,0 MJ equivale a 0,27777 kWh.

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{A * 0,0001 * \eta * R * 365 * 0,27777 * 1000}{8760} \quad (3.2)$$

onde:

- A: área de estudo, em km²;
- η : eficiência energética e operacional;
- R: radiação solar diária, em MJ/m².dia.

c) Biomassa:

Para a estimativa do potencial de geração de energia a partir da biomassa, diferentes métodos de cálculo são adotados de acordo com o tipo de biomassa.

Conforme já abordado, neste estudo são consideradas as seguintes origens de materiais: casca de arroz, cana de açúcar, silvicultura, dejetos de suínos, bovinos e aves.

▪ Casca de arroz:

Para determinação do potencial energético a partir da queima de casca de arroz, leva-se em consideração como variável principal de estimação, a produção agrícola desta cultura nos municípios integrantes da área de estudo. Os dados podem ser obtidos de Coelho, Monteiro e Karniol (2012) e IBGE (2009(b)). De acordo com Mayer (2009), considera-se que a conversão de kcal/kg para kWh/kg se dá pela divisão por 860, e que o sistema opere com resíduos gerados em 95% das horas anuais, resultando em 8.322 horas de operação por ano. Assim, aplicando a equação (3.3), obtida de Coelho, Monteiro e Karniol (2012), é possível estimar o potencial energético de biomassa a partir da queima da casca de arroz.

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{[(T * 0,3) * PCI * \eta]}{860 * 8.322} \quad (3.3)$$

onde:

T: toneladas de arroz com casca;

PCI: poder calorífico da casca de arroz (kcal/kg);

η: eficiência energética e operacional.

▪ Cana de açúcar:

Da mesma forma que a anterior, a estimação do potencial da biomassa através da cana de açúcar tem como variável principal a quantidade de cana colhida por município integrante da área de estudo. A partir da produção de cana, obtida de Coelho, Monteiro e Karniol (2012) e IBGE (2009(b)), aplicam-se os equacionamentos (3.4), (3.5) e (3.6) para cada cenário de geração de energia, conforme MME (2007), chegando ao potencial estimado de geração para este tipo de material.

Cenário I - 30 kWh/T_{cana}:

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{(T * 30)}{1.000 * 5.563} \quad (3.4)$$

Cenário II - 60 kWh/T_{cana}:

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{(T * 60)}{1.000 * 5.563} \quad (3.5)$$

Cenário III - 120 kWh/T_{cana}:

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{(T * 120)}{1.000 * 8.322} \quad (3.6)$$

onde:

T: toneladas de cana de açúcar.

▪ Silvicultura:

O potencial de biomassa a partir da silvicultura é estimado considerando a produção total de madeira em tora por município, obtido de IBGE (2009(b)). São considerados neste estudo, o mesmo proposto por Coelho, Monteiro e Karniol (2012), ou seja, somente os resíduos gerados no processamento da madeira, que representam 50% do seu peso total. Além desta, outras premissas são adotadas para aplicação na equação (3.7), como: poder calorífico do resíduo da madeira equivale a 2.000 kcal/kg; sistema operando em 95% das horas anuais; eficiência energética e operacional de 0,22; e, 1,0 m³ de madeira equivale a 0,68 toneladas.

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{[(T * 0,5) * PCI * \eta]}{860 * 8.322} \quad (3.7)$$

onde:

T: toneladas de madeira em tora;

PCI: poder calorífico da madeira (kcal/kg);

η: eficiência energética e operacional.

▪ Dejetos de suínos, bovinos e aves:

A principal variável de estimação do potencial de biomassa proveniente de dejetos de animais é a quantidade de gás metano (em m³), contida no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras de rebanhos bovinos, suínos e aves.

Primeiramente, através da equação (3.8) e dados da tabela 2.6, determina-se a quantidade de gás metano para cada origem de material. Para isso considera-se 365 dias do ano e que o volume específico do metano seja igual a $0,670 \text{ kgCH}_4/\text{m}^3\text{CH}_4$.

$$\text{Metano } (T \text{ CH}_4/\text{ ano}) = 365 * C * E_t * P_b * \text{Conc. CH}_4 * 0,670 \quad (3.8)$$

onde:

C: número de cabeças do rebanho, obtidos de IBGE (2009(a));

E_t: Esterco total (kg esterco/dia.unidade geradora);

P_b: Produção de biogás (kg biogás/kg esterco);

Conc. CH₄: Concentração de metano no biogás (%).

Uma vez calculada a quantidade de metano para cada origem de material, é possível determinar seu potencial estimado de geração. Para este estudo, levando-se em conta que as concentrações de metano indicadas na tabela 2.6 variam entre 60 e 66%, e que o poder calorífico do biogás varia entre 4,95 e 7,92 kWh/m³, para 50 e 80% de metano na mistura, respectivamente, arbitra-se como referência o valor de 6,5 kWh/m³. Neste caso, considerando uma eficiência energética operacional de 0,22, convencionou-se que 1,0 m³ de biogás equivale a 1,43kWh ou 0,00143MWh. A partir daí é possível estimar o potencial energético dessa tecnologia multiplicando esse valor à quantidade total de metano obtido através da equação (3.8).

d) Energia hídrica:

O potencial energético a partir de aproveitamentos hídricos de pequeno porte proposto neste estudo, é estimado através do somatório das potências dos empreendimentos “Outorgados”, que não iniciaram sua construção, obtidos do BIG (ANEEL (2014)), e aqueles dispostos no banco de dados da própria distribuidora, quando não relacionados no BIG.

Para os empreendimentos com status “Em Operação” e “Em Construção”, entende-se que nessas situações os mesmos já tenham sido explorados e incorporados aos estudos de planejamento realizados pela distribuidora, neste caso

não devem ser considerados na avaliação do potencial energético disponível junto à área de interesse.

Uma vez que o foco do estudo é dado para fontes de GD de pequeno porte, considera-se somente o potencial de CGH e PCH. Assim sendo, se faz necessário definir um ponto de corte de potência de PCH para estimação do potencial de fontes hídricas. Nesta metodologia são considerados apenas os empreendimentos de potência instalada inferior a 5,0 MW, pois, considera-se que até este limite de potência podem ser viáveis os acessos de PCH às redes de distribuição em média tensão.

Entretanto, em função do perfil do sistema de distribuição a ser acessado, regionalidades, sazonalidades e também das características da própria PCH, o ponto de corte de potência para esses empreendimentos deve ser definido pela equipe de planejamento, podendo, obviamente, serem adotados limites inferiores ou superiores ao empregado neste estudo.

Neste caso, o potencial estimado para geração hídrica na área de interesse é calculado somando-se as potências de CGH juntamente com as potências de PCH que foram consideradas pelo critério do ponto de corte.

Na equação (3.9) apresenta-se a forma de cálculo, no qual, considera-se ainda a eficiência energética e operacional da geração hídrica.

$$Potencial (MW) = (P_{CGH} + P_{PCH}) * \eta \quad (3.9)$$

onde:

P_{CGH} : somatório das potências de CGH;

P_{PCH} : somatório das potências de PCH;

η : eficiência energética operacional.

Sendo assim, a tabela 3.1 apresenta de forma sumarizada os métodos de estimação da capacidade energética, com a indicação das variáveis principais, equações e premissas de cálculo, para cada recurso renovável compreendido por esta metodologia.

Tabela 3.1 – Variáveis envolvidas na etapa de estimação da capacidade energética

Fonte	Variável principal	Equação	Premissas adotadas na metodologia
Eólica	Taxa de ocupação média do solo com aerogeradores (MW/km ²)	(3.1)	- Ventos com velocidade média 7,0m/s - Medições a 50m de altura, <i>onshore</i> - Eficiência energética e operacional 0,31 - Taxa de ocupação média 1,5 MW/km ²
Solar	Variação da radiação solar (MJ/m ² .dia)	(3.2)	- Taxa de ocupação da área 0,01% - 1,0 MJ equivale a 0,27777 kWh - Eficiência energética e operacional 0,13
Biomassa (casca de arroz)	Produção de arroz em casca por município (ton.)	(3.3)	- Casca são 30% do peso do arroz - PCI da casca de arroz 3.384,09 kcal/kg - Eficiência energética e operacional 0,22 - horas/ano operação com resíduo 8.322
Biomassa (cana de açúcar)	Produção de cana de açúcar por município (ton.)	(3.4), (3.5) e (3.6)	- Três cenários de geração em função da eficiência do processo e qualidade da cana - horas/ano operação com resíduo 5.563 (cenários I, II) e 8.322 (cenário III)
Biomassa (silvicultura)	Produção de madeira em tora por município (ton.)	(3.7)	- Resíduos são 50% do peso da madeira - PCI do resíduo madeira 2.000 kcal/kg - horas/ano operação com resíduo 8.322 - Eficiência energética e operacional 0,22 - 1,0 m ³ de madeira equivale a 0,68 ton.
Biomassa (dejetos de animais)	Quantidade de gás metano na decomposição do esterco dos animais (m ³)	(3.8)	- VE do metano 0,670 kgCH ₄ /m ³ CH ₄ - Dias/ano operação com resíduo 365 - Eficiência energética e operacional 0,22 - 1,0 m ³ de biogás equivale a 1,43 kWh
Hídrica	Potência instalada dos empreendimentos (kW)	(3.9)	- Somente CGH e PCH outorgadas e que não iniciaram sua construção - PCH com potência instalada ≤ 5,0 MW - Eficiência energética e operacional 0,61

3.2.4 Priorização das fontes energéticas

A quarta etapa da metodologia consiste na classificação das fontes mapeadas na área de interesse, em ordem de prioridade, de modo a obter a melhor forma de participação das mesmas no aproveitamento do potencial e expansão do sistema. Para tanto, utiliza-se como método de apoio ao processo decisório a modelagem *Analytic Hierarchy Process* (AHP), brevemente explorada no que segue, antes do detalhamento da quarta etapa.

Os tradicionais métodos de resolução de problemas relacionados à tomada de decisão, segundo Ensslin, Montibeller e Noronha (2001), buscam o enquadramento desses problemas em categorias, tornando possível resolvê-los através de procedimentos padrão. O foco dos métodos se dá na escolha de alternativas e da solução ótima, com a premissa de que as regras de racionalidade sejam seguidas e a subjetividade intrínseca aos envolvidos no processo decisório seja excluída. Partindo desse pressuposto e considerando a grande quantidade de variáveis envolvidas em problemas relacionados ao planejamento e GD, buscou-se neste estudo o emprego de um método capaz de organizar os elementos de análise em grupos, de acordo com suas prioridades, de forma a estruturar o raciocínio como suporte à tomada de decisão.

Neste sentido, optou-se pelo AHP, o qual se apresenta como um método bastante flexível, capaz de se adequar a diferentes estruturas organizacionais, com grande capacidade de abrangência e, principalmente, e que permite a modelagem através da opinião dos envolvidos no processo decisório. Outro ponto favorável ao AHP é a possibilidade de elencar as alternativas de avaliação sob a forma de escalonamento, propiciando ao avaliador a tomada de decisão de maneira hierárquica. Para estes casos, especialistas de diferentes áreas da organização podem ser envolvidos, uma vez que a GD influencia diretamente no modo de operar, manter e planejar o sistema. Outro aspecto importante que contribuiu para escolha do método é sua baixa complexidade na implementação, mesmo aplicado a problemas com uma quantidade grande de julgamentos, critérios e alternativas, tal qual se apresenta neste estudo.

O método AHP, proposto por Saaty na década de 70 (Saaty, 1991), baseia-se em três princípios fundamentais, os quais Calili (2010), Costa (2006), Marins, Souza e Freitas (2006), Trevizano & Freitas (2005) apontam:

- i) Construção de hierarquias: identificam-se os elementos chaves para a tomada de decisão, os quais são agrupados em conjuntos afins, e estruturados em níveis hierárquicos. O primeiro corresponde ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro nível às alternativas, conforme figura 3.6.



Figura 3.6 – Estrutura da hierarquia do problema

Fonte: adaptado de Marins, Souza e Freitas (2006, p. 3)

- ii) Definição de prioridades: fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetivos e situações observadas, comparando-se par a par as alternativas e critérios do problema, seguindo-se as seguintes etapas.
- *Julgamentos paritários*: julgar par a par os elementos de um nível da hierarquia à luz de cada elemento em conexão em um nível superior, compondo a matriz de julgamento A , utilizando as escalas apresentadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Escala numérica de Saaty para julgamentos paritários

Escala Numérica	Escala Verbal
1	Ambos os elementos são de igual importância.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.

Fonte: adaptado Trevizano & Freitas (2005, p. 2).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

onde:

$$\begin{aligned} a_{ij} > 0 &\rightarrow \text{positiva;} \\ a_{ij} = 1 &\therefore a_{ji} = 1; \\ a_{ij} = 1/a_{ji} &\rightarrow \text{recíproca;} \\ a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} &\rightarrow \text{consistência.} \end{aligned}$$

- *Normalização das matrizes de julgamento*: obtenção de quadros normalizados através da divisão de cada elemento das matrizes de julgamento pelo somatório dos valores da respectiva coluna.
- *Cálculo das PML - Prioridades Médias Locais*: calcula-se a partir das médias das linhas dos quadros normalizados.
- *Cálculo das PG - Prioridades Globais*: nesta etapa deseja-se identificar um vetor de prioridades global, que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal.

ii) Consistência lógica: avalia-se o modelo de priorização construído quanto à sua consistência, ou seja, evita que as comparações que possuam altos níveis de inconsistências sejam aceitas, possibilitando assim que informações discrepantes sejam reavaliadas. Neste caso o AHP se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada pela equação (3.10).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3.10)$$

O índice de consistência randômico - IR é calculado em uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. Este índice varia de acordo com a ordem da matriz (número de alternativas), conforme tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores referência para IR

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores de IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fonte: Costa (2006).

O Índice de Consistência IC é dado pela equação (3.11), onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos, calculado através da soma do produto das PML e o somatório das linhas da matriz de julgamento, e n é o valor que representa a ordem da matriz.

De acordo com Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$ para matrizes com cinco ou mais elementos. Para quatro e três elementos os valores de RC são 0,08 e 0,05, respectivamente. Se a matriz exceder esse valor máximo, há maneiras de melhorar a consistência, modificando apenas alguns dos julgamentos. No caso de inconsistência igual a zero, o problema é dito absolutamente consistente.

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{(n - 1)} \quad (3.11)$$

Dessa forma, a partir deste breve relato a respeito do AHP e seguindo seus três princípios fundamentais, apresenta-se na sequência a modelagem da quarta etapa da metodologia, a de priorização das fontes energéticas.

a) Construção de hierarquias:

Inicialmente são definidos e detalhados os elementos chave do processo decisório do problema, estruturando-os posteriormente em níveis hierárquicos.

✓ *Objetivo global:* é a meta geral do problema, sendo ela, obter uma classificação, por ordem de prioridade, das fontes energéticas disponíveis em uma área de interesse, na perspectiva da distribuidora e investidores.

✓ *Crítérios:* os seguintes critérios são definidos para avaliar as fontes de GD nessa metodologia, dos quais os quantitativos são representados pelos próprios

valores; e os qualitativos, que não podem ou são difíceis de quantificar, são representados por pesos atribuídos por especialistas a partir de um conjunto de características.

- Quantitativos:
 - Potencial energético: é o montante estimado de geração, em MW, para cada fonte energética, obtido na etapa anterior de estimação da capacidade de geração;
 - Custo de implantação: é o custo de investimento de capital para cada kW instalado no sistema de geração;
 - Custo de energia: é o custo de comercialização de energia, baseados em preços de leilões;
 - Custo de operação e manutenção (O&M): são os custos anuais de operação e manutenção do sistema de geração, dado em percentual em relação ao custo de implantação;
 - Tempo de vida útil: é o tempo de vida útil das instalações.
 - Eficiência energética e operacional: é a associação da eficiência de conversão energética com o fator de capacidade da geração;
 - Tempo de operação a plena carga: é o número médio anual de horas que as instalações operam a plena carga.
- Qualitativos:
 - Impacto ambiental: considerar a emissão de gases poluentes, presença de elementos tóxicos, poluição sonora, impactos na fauna e flora, taxa de ocupação da terra, outros impactos;
 - Capacidade de modularidade: capacidade de incremento de potência de geração pela adição de unidades geradoras modulares;
 - Intermitência do recurso energético: exposição a variações sazonais do recurso energético, intermitência dos recursos;
 - Armazenamento do recurso: capacidade de estocagem do recurso energético para geração em horários pré-definidos, dispensando sistemas alternativos de armazenamento de energia (ex. baterias);
 - Perfil da carga: característica da carga do sistema o qual a GD será conectada (ex. rural, irrigação, industrial, etc.);

- Grau de impacto no sistema: impactos na qualidade de energia, harmônicos, flicker, afundamentos de tensão oriundos da desconexão da GD, outros impactos;
- Desenvolvimento tecnológico: estágio de maturidade e consolidação da tecnologia.

✓ *Alternativas:* são as fontes energéticas de GD disponíveis na área de interesse, no caso, eólica, solar, biomassa e hídrica.

Conforme já exposto, neste estudo são considerados diferentes cenários para priorização das fontes renováveis: Cenário Distribuidora e Cenário Investidor. O primeiro deles, da distribuidora, avalia o potencial energético disponível sob o ponto de vista de seu aproveitamento para suporte à operação e expansão do sistema, ou seja, atenta para aspectos técnicos relativos às tecnologias de GD, seus impactos e benefícios da conexão à rede. Já no Cenário Investidor, o potencial energético disponível é avaliado sob a ótica de aproveitamento do mesmo para expansão do mix de geração, dando maior ênfase a aspectos econômicos e características técnicas da GD que possam influenciar na lucratividade do negócio.

O principal intuito da inclusão de diferentes perspectivas de análise nesta metodologia é trazer aos métodos convencionais de planejamento formas distintas de avaliação das potencialidades de GD. Além de propiciar à equipe de planejamento uma visão com o foco técnico do assunto, possibilita enxergar as tendências de aproveitamento do potencial de GD por parte de investidores, bem como as fontes mais propícias de serem exploradas. Dessa forma, possibilita antever potenciais concentrações de GD, pontos de inserção, restrições futuras do sistema, posicionamento de novos pontos de suprimento, etc. Outro aspecto importante relaciona-se às situações em que a partir de um diagnóstico de planejamento, no qual as projeções de mercado apontam restrições sistêmicas em uma determinada região com boa potencialidade de GD, a distribuidora, sob o ponto de vista do investidor, poderá fomentar o aproveitamento do potencial disponível junto a empreendedores de geração.

Sendo assim, as figuras 3.7 e 3.8 mostram a estruturação do modelo hierárquico desenvolvido para as duas perspectivas de priorização das fontes, distribuidora e investidor, respectivamente, com seus critérios de avaliação.

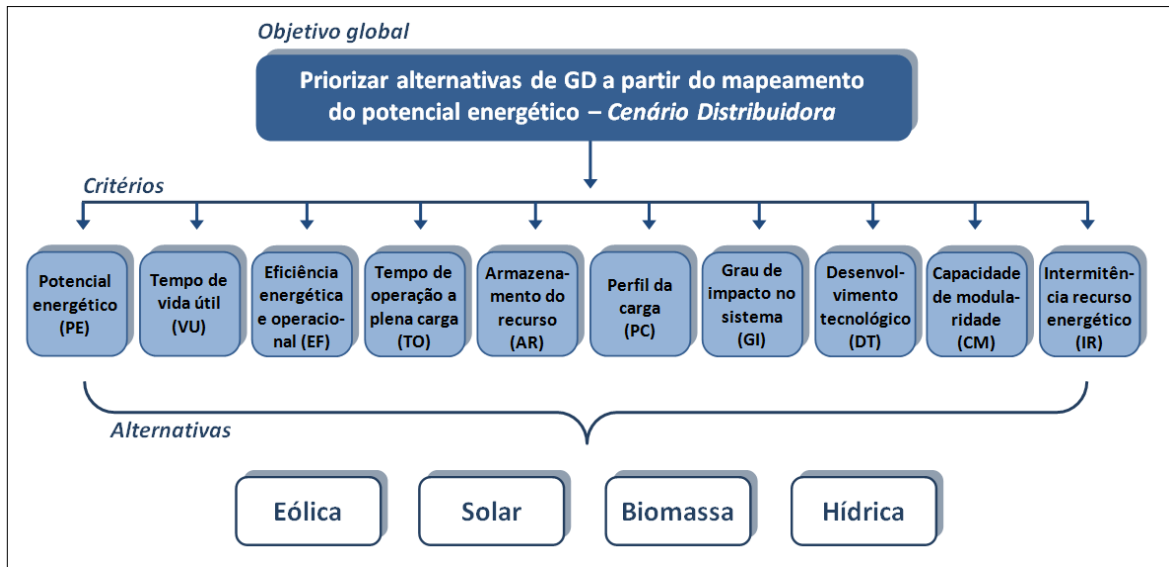


Figura 3.7 – Modelo hierárquico do Cenário Distribuidora

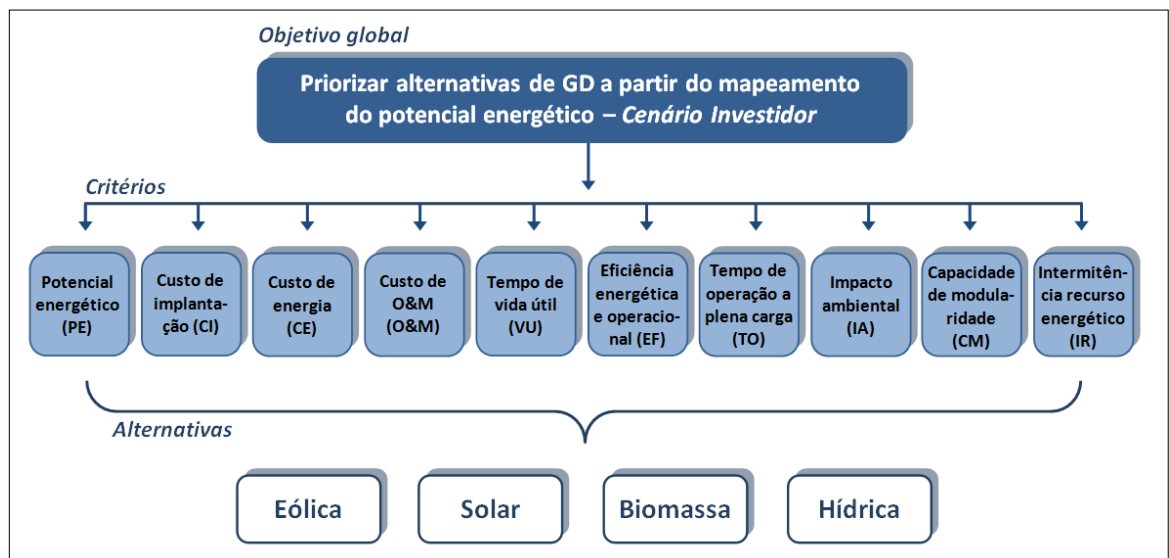


Figura 3.8 – Modelo hierárquico do Cenário Investidor

b) Definição de prioridades:

Nesta etapa são avaliadas par a par as alternativas e critérios do problema, em ambos os cenários de análise. Os julgamentos paritários são realizados por um

grupo de especialistas do campo de estudo em pauta, utilizando como base a escala de Saaty, mostrada na tabela 3.2.

A partir dos julgamentos dos envolvidos, são construídas as matrizes de julgamentos comparando as alternativas à luz de cada critério, conforme exemplo da figura 3.9. Os elementos da matriz representam os pesos atribuídos pelos especialistas na comparação entre linha versus coluna.

Critério: Intermittência do Recurso Energético (IR)					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1	1/3	1/4	1/6	0,0670
Eólica	3	1	1/3	1/4	0,1394
Hídrica	4	3	1	1/2	0,2964
Biomassa	6	4	2	1	0,4971
				$\lambda_{\max} =$	4,1154

Figura 3.9 – Matriz de julgamentos paritários à luz de cada critério

No exemplo da figura 3.9 já estão indicados os valores de PML e λ_{\max} da matriz de julgamentos normalizada. O valor de PML (Prioridades Médias Locais) se dá através da divisão de cada elemento da matriz pelo somatório dos valores da respectiva coluna, extraindo-se, posteriormente, a média para cada linha da matriz de julgamentos. Já, λ_{\max} , maior autovalor da matriz de julgamentos, é calculado através da soma dos produtos das PML pelo somatório das linhas da matriz de julgamento.

O mesmo procedimento de construção da matriz de julgamentos e cálculo das PML e λ_{\max} é realizado na comparação entre os critérios, resultando no exemplo da figura 3.10.

	PE	VU	EF	TO	AR	PC	GI	DT	CM	IR	PML
PE	1	3	4	1/5	1/5	1/4	1/5	1/3	1/4	1/4	0,0434
VU	1/3	1	2	1/4	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/5	0,0299
EF	1/4	1/2	1	1/5	1/5	1/3	1/2	1/2	1/3	1/5	0,0280
TO	5	4	5	1	1/2	3	4	3	4	4	0,2071
AR	5	5	5	2	1	3	4	3	5	3	0,2389
PC	4	5	3	1/3	1/3	1	2	3	4	1/2	0,1176
GI	5	4	2	1/4	1/4	1/2	1	2	2	1/2	0,0839
DT	3	3	2	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	1/2	0,0673
CM	4	3	3	1/4	1/5	1/4	1/2	1/2	1	1/3	0,0581
IR	4	5	5	1/4	1/3	2	2	2	3	1	0,1253
$\lambda_{max} = 11,3480$											

Figura 3.10 - Exemplo de matriz de julgamentos entre os critérios

c) Consistência lógica:

Avalia-se nesta etapa a consistência do modelo de priorização construído. Neste caso, são calculados os índices de consistência (IC) e razões de consistência (RC) conforme demonstrados na figura 3.11, devendo ser atendida a condição de consistência dos julgamentos. Para matrizes com cinco ou mais elementos RC deve ser menor ou igual a 0,10; sendo que para quatro e três elementos os valores de RC devem ser iguais ou inferiores a 0,08 e 0,05, respectivamente. Se a matriz exceder o valor máximo, devem ser modificados alguns dos julgamentos a fim de garantir sua consistência.

Critérios	IC	RC	
Potencial energético (PE)	0,00000	0,00000	✓
Tempo de vida útil (VU)	0,00000	0,00000	✓
Eficiência energética e operacional (EF)	0,00000	0,00000	✓
Tempo de operação a plena carga (TO)	0,00000	0,00000	✓
Armazenamento do recurso (AR)	0,04292	0,04769	✓
Perfil da carga (PC)	0,06308	0,07009	✓
Grau de impacto no sistema (GI)	0,02229	0,02476	✓
Desenvolvimento tecnológico (DT)	0,05556	0,06174	✓
Capacidade de modularidade (CM)	0,05776	0,06418	✓
Intermitência do recurso energético (IR)	0,05556	0,06174	✓
<i>Condição de consistência: $RC \leq 0,08$</i>			

Figura 3.11 – Consistência lógica da matriz de julgamentos entre os critérios

Feito isso, é possível determinar a classificação das alternativas do problema, no caso as fontes energéticas, através de PG (Prioridade Global). Para tanto, devem ser combinadas as matrizes de julgamentos paritários à luz de cada critério (ex. da figura 3.9) com a matriz de julgamentos entre os critérios (ex. da figura 3.10). Para melhor entendimento, é demonstrada através da equação (3.12), uma proposição de cálculo de PG de uma alternativa do problema.

$$PG_{alt.A} = PML(c1)_{alt.A} * PML(c1) + PML(c2)_{alt.A} * PML(c2) + \dots + PML(cn)_{alt.A} * PML(cn) \quad (3.12)$$

onde:

c1, c2, cn: critério 1, critério 2, critério n;

alt.A: alternativa A;

$PML(cn)_{alt.A}$: são os valores de PML da alternativa A, obtidos das matrizes de julgamentos paritários à luz de cada critério (ex. da figura 3.9);

$PML(cn)$: são os valores de PML de cada critério, obtidos da matriz de julgamentos entre os critérios (ex. da figura 3.10).

Dessa forma, calcula-se a PG para todas as alternativas do problema, resultando em uma matriz de prioridade global semelhante à mostrada na figura 3.12, indicando a classificação das fontes em relação aos critérios empregados, para cada cenário de análise.

Fonte	Critérios (pesos em PU)										PG	Classificação
	PE	VU	EF	TO	AR	PC	GI	DT	CM	IR		
Solar	0,0170	0,0137	0,0038	0,0152	0,0071	0,0074	0,0455	0,0078	0,0440	0,0085	0,1701	4ª
Eólica	0,0562	0,0123	0,0090	0,0169	0,0089	0,0141	0,0358	0,0234	0,0319	0,0149	0,2236	3ª
Hídrica	0,0062	0,0147	0,0177	0,0254	0,0587	0,0593	0,0387	0,0596	0,0146	0,0221	0,3170	1ª
Biomassa	0,0055	0,0098	0,0064	0,0677	0,0372	0,0591	0,0369	0,0097	0,0137	0,0433	0,2894	2ª

Figura 3.12 – Matriz de priorização das fontes energéticas.

3.3 Considerações finais do capítulo

Apresentou-se neste Capítulo 3 o desenvolvimento da metodologia para mapeamento e priorização de recursos renováveis de GD, a qual se apresenta inovadora, principalmente pela incorporação de um conjunto de variáveis importantes no suporte à nova ótica de planejar o sistema elétrico.

O mapeamento do potencial energético possibilita uma ampla identificação das fontes de geração disponíveis em uma área de interesse. A estimação do potencial, além de indicar o montante energético disponível na área, dá ao planejador uma dimensão das potenciais ameaças e oportunidades que se apresentam a partir do aproveitamento dos recursos. Já a priorização das fontes, propicia avaliar a melhor forma de participação das tecnologias de geração disponíveis, considerando diferentes critérios quantitativos e qualitativos, em pontos de vista distintos.

Vale destacar que a concepção do método se deu pensando na fácil implementação e enquadramento aos métodos de planejamento das distribuidoras, frente ao novo cenário com GD. Deste modo, considera-se a premissa de que um aspecto muito importante quando da proposição de novas metodologias, consiste em avaliar suas aplicabilidades. Deste modo, no capítulo seguinte demonstra-se sob a forma de aplicação prática o emprego do método ora apresentado, de mapeamento e priorização de fontes renováveis de GD como suporte a estudos de planejamento.

4 APLICAÇÃO PRÁTICA

4.1 Considerações iniciais

Busca-se através deste capítulo, demonstrar a aplicação da metodologia a um estudo de caso real, com base em uma pesquisa realizada junto à área de atuação de uma Distribuidora.

Da mesma forma, visa-se produzir resultados práticos acerca do potencial energético disponível na área em pauta, bem como das fontes mais favoráveis à exploração, de modo a auxiliar no processo decisório de problemas relativos ao planejamento de sistemas elétricos de potência sob a perspectiva da GD.

Neste sentido, no que segue é explorado cada passo do método proposto a partir de dados e características intrínsecas à área delimitada.

4.2 Estudo de caso

4.2.1 Definição da área de estudo

Delimitou-se como área de estudo para aplicação da metodologia, a área de atuação de uma distribuidora Permissionária de energia do RS, a COPREL. Optou-se pela aplicação da metodologia na totalidade da área de abrangência da Permissionária, a qual compreende 21.070 km² em 72 municípios da região norte do RS, conforme apresentado na figura 4.1.

O sistema de distribuição da COPREL é composto por 17 mil quilômetros de rede, potência instalada na ordem de 300 MVA, com predomínio de cargas rurais, industriais e irrigações. O clima predominante é o subtropical, com relevo marcado por planaltos, altitude média variando entre 400 e 700 metros, vegetação baixa e área fortemente cultivável, principalmente as culturas de soja e milho.



Figura 4.1 – Área delimitada para aplicação da metodologia

No que tange às potencialidades energéticas, de modo geral, a região caracteriza-se pela disponibilidade de aproveitamentos hídricos para empreendimentos de pequeno porte, assim como potencialidade para biomassa por reunir polos produtores de leite, suínos e aves. Não diferentemente de qualquer outra área que se analise, o potencial eólico e solar está presente, embora não concentre os pontos mais favoráveis para aproveitamento dessas duas tecnologias de geração.

Do ponto de vista do planejamento, a área em pauta apresenta um histórico de crescimento médio anual de demanda, na ordem de 6,0%. Tal crescimento se deve principalmente ao incremento de cargas industriais, rurais, incluindo irrigações e armazéns de grãos, que se caracterizam por elevadas potências, demandas sazonais, e geralmente instaladas distantes da subestação. Dessa forma, investimentos de grande monta são demandados no sistema da COPREL, anualmente.

4.2.2 Identificação dos recursos energéticos

a) Energia eólica:

Para o mapeamento do potencial energético proveniente dos ventos junto à área de estudo, utilizou-se como base o mapa do fluxo de potência eólica do RS.

Observa-se pela figura 4.2, que a velocidade média anual dos ventos no estado gira em torno de 5,5 a 6,5 m/s, superando velocidades médias de 8,0 m/s em algumas regiões, como por exemplo, no extremo sul. Na mesma figura, são indicadas de 1 a 6, as áreas mais favoráveis para o fluxo de potência eólica com medições dos ventos a 50 metros de altura, com destaque para as regiões 1 e 2.

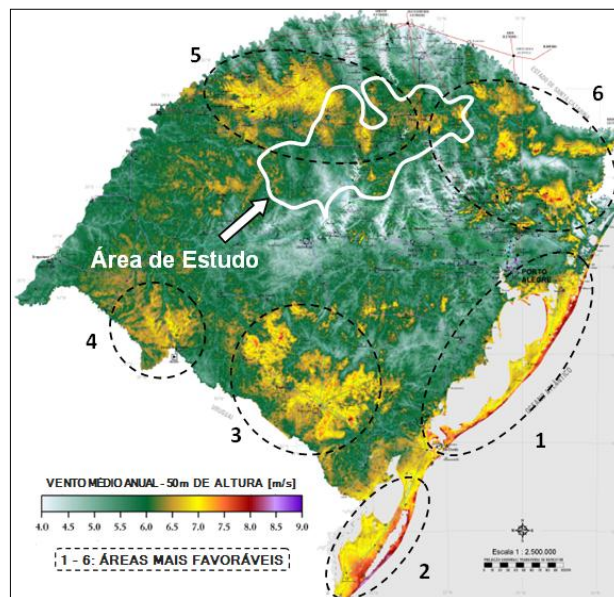


Figura 4.2 – Mapeamento do potencial eólico da área de estudo

Fonte: adaptado de Amarante & Silva (2002)

No que tange ao mapeamento eólico na área de interesse, observa-se a partir da figura 4.2 que dentre as regiões de maior potencial do estado, uma pequena parte das regiões 5 e 6 encontra-se na área da COPREL.

Em destaque quanto às microrregiões da área de estudo com maior potencial eólico, neste caso, consideram-se ventos médios anuais na faixa de 7,0 m/s, estão:

- A faixa de municípios mais ao noroeste da área em pauta, iniciando ao norte de Cruz Alta, passando por Pejuçara e Panambi, chegando até Condor. Esta região caracteriza-se por extensos alimentadores, poucos pontos de suprimento, prevalecendo cargas rurais, com significativa sazonalidade de demanda devido à concentração de irrigações e armazenagem de grãos.
- Ao centro, na faixa de municípios iniciando por Selbach e leste de Ibirubá, passando por Colorado, até Saldanha Marinho. Região caracterizada por alimentadores menos extensos, embora entre os de maior carregamento. Predomínio de cargas rurais e forte participação da indústria, sem exposições significativas a sazonalidades de consumo ao longo do ano.
- Ao leste da área da COPREL, entre os municípios de Passo Fundo e Caseiros, passando por Marau, Mato Castelhano, Gentil e Muliterno. A região apresenta características muito similares à faixa anterior, com perfil de carga industrial e rural, especialmente pela concentração de propriedades ligadas à atividade leiteira e produção de aves.

Verifica-se ainda, que boa parte da região sul da área de estudo, iniciando por Cruz Alta, passando por Fortaleza dos Valos, Salto do Jacuí, Tupanciretã e Júlio de Castilhos, está entre as áreas de menor potencial eólico do estado, com ventos na casa de 4,0 m/s. Para os demais municípios da área delimitada para estudo, a velocidade média anual dos ventos se assemelha com a do estado, ou seja, permanecendo na faixa de 5,5 a 6,5 m/s.

b) Energia solar:

O mapeamento do potencial de energia solar junto à área de estudo baseou-se no mapa da radiação solar global diária do estado do RS. Verifica-se neste caso, que o comportamento da radiação média apresenta pouca variação no território gaúcho, ficando entre 14 e 16 MJ/m².dia, conforme mostrado na figura 4.3(a).

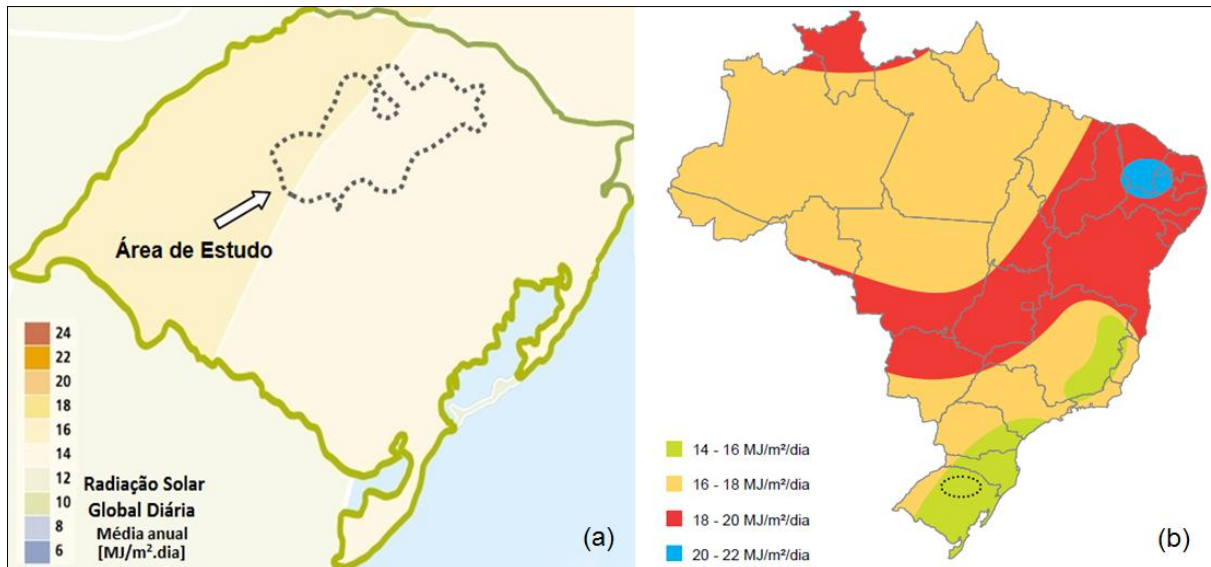


Figura 4.3 – Mapeamento do potencial solar da área de estudo

Fonte: adaptado de ANEEL (2008)

Especificamente na área de estudo, verifica-se claramente que a radiação solar global diária equivale a 14 MJ/m².dia em praticamente toda sua extensão, exceto, nos municípios localizados mais ao oeste da região, onde a condição de radiação solar é levemente mais favorável. Comparado ao restante do Brasil, a área de estudo está localizada entre os pontos de menor incidência de radiação solar do país, como pode ser observado na figura 4.3(b).

c) Energia biomassa:

Conforme já abordado, a identificação do potencial proveniente da biomassa baseia-se no mapeamento das fontes geradoras dos resíduos utilizados para gerar energia. Neste caso, são mapeadas as áreas produtoras de arroz, cana de açúcar e silvicultura, bem como se identificam as concentrações dos rebanhos criadores de bovinos, suínos e aves.

No que tange ao potencial a partir da queima da casca de arroz, a figura 4.4 dá uma ideia de onde está concentrada a produção de arroz no RS. Embora o mapa apresente a informação do potencial energético, em MW, possibilita identificar onde estão localizadas as áreas mais favoráveis ao potencial de geração através da casa

de arroz. Verifica-se neste caso, a não existência de produção arrozeira junto à área de estudo, diferentemente da metade sul do estado, em especial nos municípios da fronteira oeste e extremo sul.

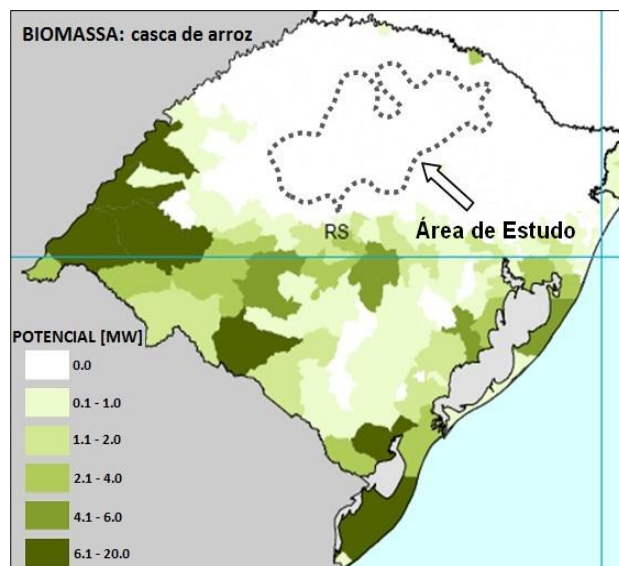


Figura 4.4 – Mapeamento do potencial de biomassa: casca de arroz

Fonte: adaptado de Coelho, Monteiro e Karniol (2012)

Para a cana de açúcar, apresenta-se na figura 4.5 a distribuição da produção média de cana no RS, no período 2009-2011. Observa-se que frente à quantidade de toneladas/ano produzida no Brasil, a produção no estado é pouco expressiva. Da mesma forma, observa-se que na área de estudo a produção é baixa, concentrando a pouca produção nos municípios da região norte, assim como no município de Salto do Jacuí, ao sul da área da COPREL.

Da mesma forma que a casca de arroz e cana de açúcar, o potencial energético a partir da silvicultura na área de estudo mostra-se pouco expressivo, como pode ser observado na figura 4.6.

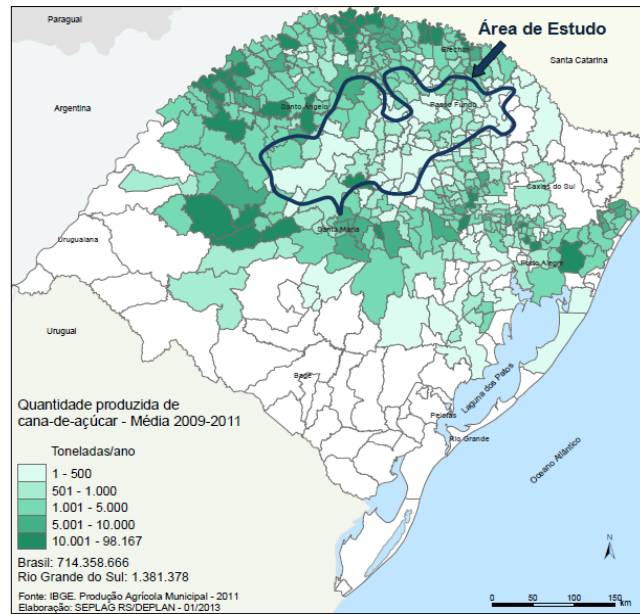


Figura 4.5 – Mapeamento do potencial de biomassa: cana de açúcar

Fonte: adaptado de SEPLAG (2013)

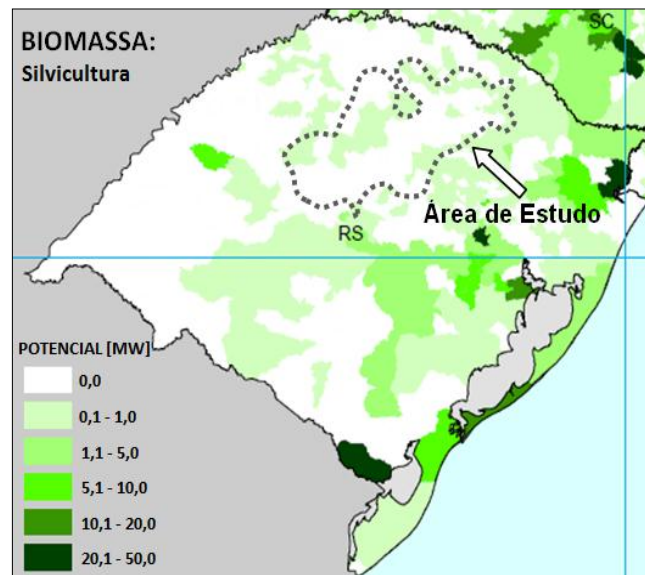


Figura 4.6 – Mapeamento do potencial de biomassa: silvicultura

Fonte: adaptado de Coelho, Monteiro e Karniol (2012)

Quanto à identificação do potencial de geração a partir de dejetos de animais, são mapeados os efetivos (nº de cabeças) dos rebanhos suínos e aves na área de

estudo. Para o caso do mapeamento de bovinos, consideraram-se somente os da atividade leiteira, com base no mapa de produção de leite na área, o qual possibilita avaliar onde se concentra o potencial energético a partir deste recurso.

Observa-se na figura 4.7, como estão distribuídos na área de estudo os efetivos de suínos e aves, bem como dos bovinos através da produção leiteira. Em destaque para o potencial de biomassa através de dejetos de suínos, estão os municípios ao centro da área em pauta, como Ibirubá, Não Me Toque e arredores. Para a atividade avícola, o potencial concentra-se praticamente todo ao leste da área de estudo, principalmente na região de Marau e municípios vizinhos. Já na atividade leiteira verifica-se potencial em praticamente toda a área de análise, destacando-se as regiões de Palmeira das Missões ao norte; Ibirubá ao centro; Jóia ao Oeste; e, Marau ao leste.

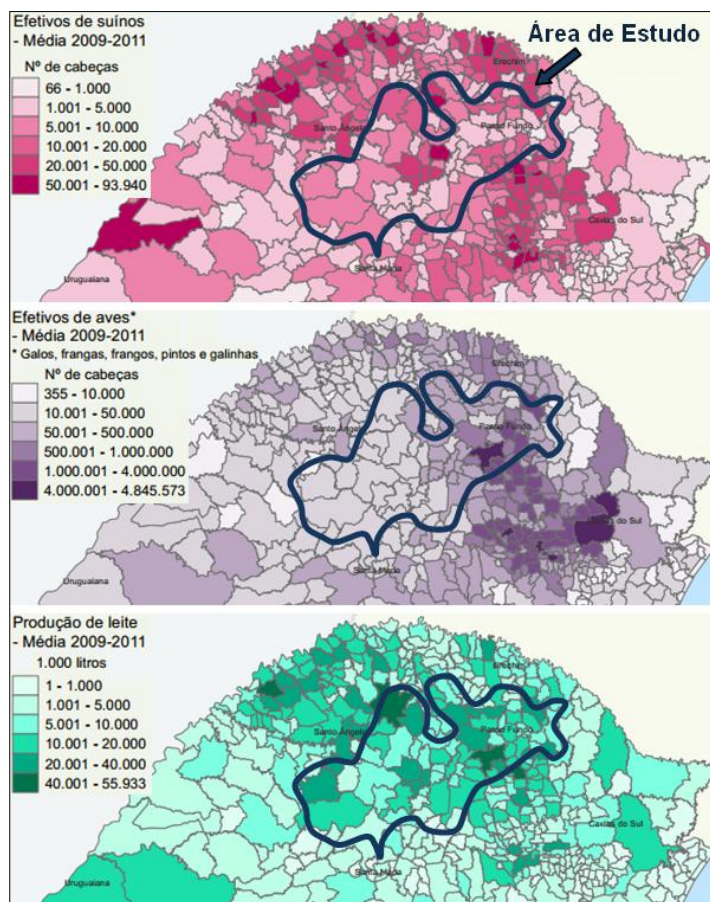


Figura 4.7 – Mapeamento do potencial de biomassa: dejetos de animais

Fonte: adaptado de SEPLAG (2013)

d) Energia hídrica:

No que tange ao potencial de geração hídrica, verificou-se através do BIG (Aneel, 2014) que na área em estudo não há empreendimentos de pequeno porte outorgados que ainda não iniciaram sua construção. Por outro lado, considerando o banco de dados da COPREL, mapeou-se 15 potenciais empreendimentos de pequeno porte em sua área de atuação, distribuídos conforme mostra a figura 4.8. Observa-se que as CGH e PCH estão concentradas mais ao centro-sul da área de estudo, bem como ao norte, na região de Panambi.



Figura 4.8 – Mapeamento do potencial hídrico

Fonte: Banco de dados da COPREL

A partir do mapeamento das fontes geradoras de energia realizado na área de atuação da distribuidora, foi possível identificar amplamente quais recursos energéticos estão disponíveis, bem como onde estão localizadas as regiões mais favoráveis para seu aproveitamento.

Através da figura 4.9, é possível avaliar como está distribuído o potencial mapeado, junto à área estudada. Os círculos apontam os locais que apresentam potencialidade energética, sendo que as cores diferenciam as tecnologias de

geração. Já o tamanho do círculo, indica o quão representativo é o potencial de um ponto em relação aos demais, neste caso, cada fonte deve ser analisada individualmente.

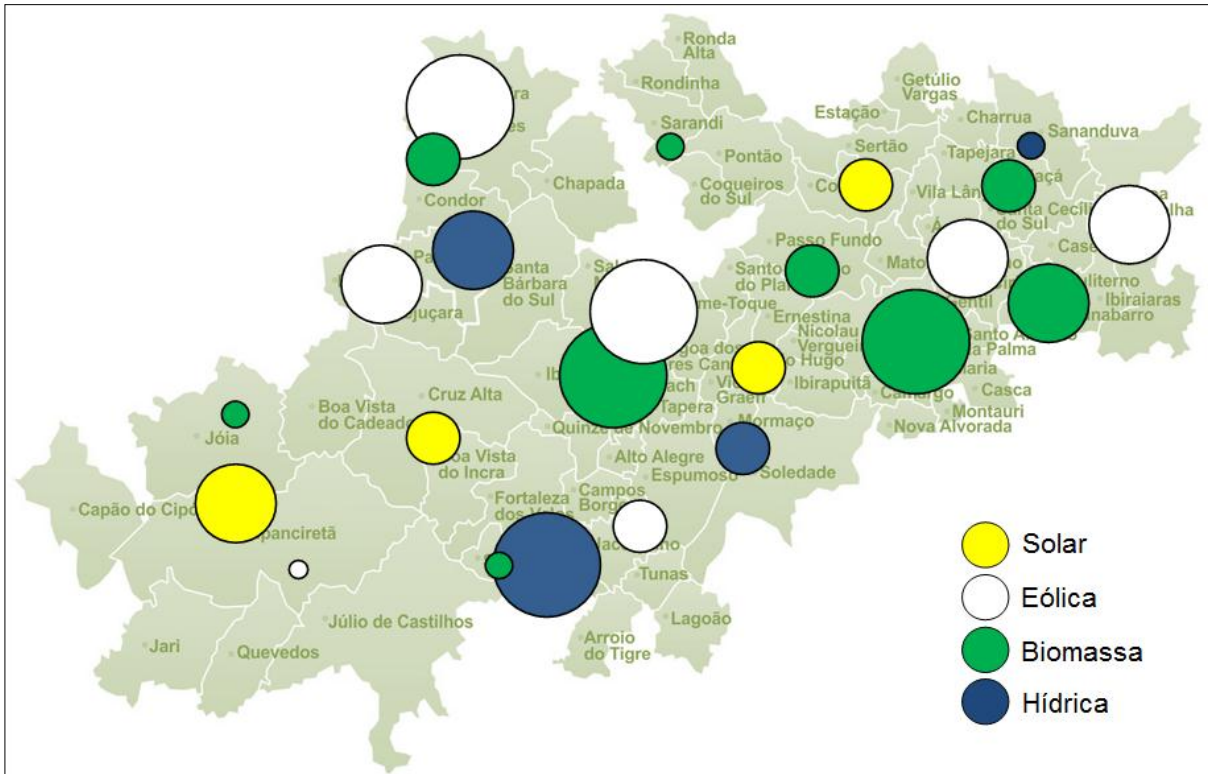


Figura 4.9 – Mapa do potencial energético na área de estudo

Observa-se pela figura anterior que o potencial energético para as fontes mapeadas se apresenta de forma heterogênea, com exceção das energias solar e eólica, naturalmente presentes em toda a área.

Nota-se, por exemplo, que o potencial de biomassa está mais concentrado em uma faixa de área que se inicia na região central, município de Ibirubá, indo em direção ao leste, até os municípios de Marau, Passo Fundo e Tapejara. Já o potencial hídrico tem seu principal foco na região de Salto do Jacuí, seguido por Panambi e Soledade.

Outro ponto que chama a atenção é o baixo potencial energético indicado pelo mapeamento, nos municípios da região oeste da área estudada. Um aspecto

que contribui para isso é a característica predominante da região, fortemente cultivável (soja e milho), com predomínio de grandes propriedades, sem diversificação da atividade agrícola.

4.2.3 Estimação da capacidade de geração

a) Energia eólica:

Primeiramente, com base na figura 4.2, estima-se o percentual da área de estudo que apresenta ventos médios anuais na faixa de 7,0 m/s, medidos a 50 metros de altura, em solo firme. Como referência, para o RS, Amarante & Silva (2002) indicam que apenas 3,0% da área territorial total apresentam essas características.

Para a área delimitada ao estudo, em um cenário bastante conservador, utiliza-se a metade do percentual adotado Amarante & Silva (2002), ou seja, estima-se que apenas 1,5% da área territorial de estudo apresentam ventos médios anuais na faixa de 7,0 m/s. Neste caso, aplicando esta premissa na equação (3.1), juntamente com os demais parâmetros de cálculo, chega-se ao potencial eólico estimado para a área de estudo, conforme quadro 4.1.

Estimação do potencial eólico	
Área de estudo (A)	21.070 km ²
Parcela da área de acordo com a premissa (x)	1,5 %
Eficiência energética e operacional (η)	0,31
Equação (3.1)	$P(MW) = A * x * 1,5 * \eta$
Potencial energético estimado	146,96 MW

Quadro 4.1 – Estimação do potencial eólico na área de estudo

b) Energia solar:

Levando-se em considerando a radiação solar global diária predominante na área de estudo, verificada através da etapa de identificação das fontes energéticas, aplica-se o equacionamento e parâmetros do quadro 4.2, obtendo o potencial energético estimado para esta fonte.

Estimação do potencial solar	
Área de estudo (A)	21.070 km ²
Radiação solar diária (R)	14,0 MJ/m ² .dia
Eficiência energética e operacional (η)	0,13
Equação (3.2)	$P \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{A * 0,0001 * \eta * R * 365 * 0,27777 * 1000}{8760}$
Potencial energético estimado	44,38 MW

Quadro 4.2 – Estimação do potencial solar na área de estudo

c) Energia biomassa:

Para o potencial de biomassa originado da casca de arroz, mesmo o mapeamento tendo apontado a não existência de produção arrozeira na área de interesse, comprova-se mesmo assim a potencialidade desta cultura através dos dados de produção agrícola nos 72 municípios da área de atuação da COPREL. Neste caso, a partir da produção total de arroz obtida de Coelho, Monteiro e Karniol (2012) e demais parâmetros do quadro 4.3, estima-se o potencial para área de estudo.

O mesmo é feito para a cana de açúcar, porém utilizando a quantidade de cana produzida pelos municípios da área de estudo. Neste caso, chega-se ao potencial energético a partir dessa cultura nos três cenários de cálculo, conforme quadro 4.4.

Para a silvicultura, semelhante às anteriores, estima-se o potencial conforme quadro 4.5.

Estimação do potencial biomassa: casca de arroz	
Toneladas de arroz em casca (<i>T</i>)	1.021 ton.
Poder calorífico da casca de arroz (<i>PCI</i>)	3.384,09 kcal/kg
Eficiência energética e operacional (η)	0,22
Equação (3.3)	$P \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{[(T * 0,3) * PCI * \eta]}{860 * 8.322}$
Potencial energético estimado	0,03 MW

Quadro 4.3 – Estimação do potencial biomassa (casca de arroz) na área de estudo

Estimação do potencial biomassa: cana de açúcar	
Toneladas de cana de açúcar (<i>T</i>)	92.115 ton.
Equação (3.4)	$P \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{(T * 30)}{1.000 * 5.563}$
Potencial energético estimado (cenário I)	0,50 MW
Equação (3.5)	$P \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{(T * 60)}{1.000 * 5.563}$
Potencial energético estimado (cenário II)	0,99 MW
Equação (3.6)	$P \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{(T * 120)}{1.000 * 8.322}$
Potencial energético estimado (cenário III)	1,33 MW

Quadro 4.4 – Estimação do potencial biomassa (cana de açúcar) na área de estudo

Estimação do potencial biomassa: silvicultura	
Toneladas de madeira em tora (<i>T</i>)	87.148 ton.
Poder calorífico do resíduo da madeira (<i>PCI</i>)	2.000 kcal/kg
Eficiência energética e operacional (η)	0,22
Equação (3.7)	$P \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{[(T * 0,5) * PCI * \eta]}{860 * 8.322}$
Potencial energético estimado	2,68 MW

Quadro 4.5 – Estimação do potencial biomassa (silvicultura) na área de estudo

Já o potencial a partir de dejetos de animais, calcula-se primeiramente a quantidade de gás metano presente no biogás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras dos rebanhos suíno, bovino e aves. O cálculo se dá conforme quadro 4.6. A partir daí, converte-se o biogás (m³) para energia (MWh), obtendo-se o potencial estimado de biomassa a partir de dejetos de animais, conforme quadro 4.7.

Cálculo da quantidade de metano no biogás	
Rebanho suíno (C)	806.513 cabeças
Rebanho bovino (C)	177.276 cabeças
Rebanho de aves (C)	25.480.890 cabeças
kg esterco/dia.unidade geradora (E_t)	Ver tabela 2.6
kg biogás/kg esterco (P_b)	Ver tabela 2.6
Concentração metano ($Conc. CH_4$)	Ver tabela 2.6
Equação (3.8)	$Metano(t CH_4/ano) = 365 * C * E_t * P_b * Conc. CH_4 * 0,670$
Metano total (suíno+bovino+aves)	63.910.139 m³/ano

Quadro 4.6 – Cálculo da quantidade de metano na área de estudo

Estimação do potencial biomassa: dejetos de animais	
Metano total (suíno+bovino+aves) (1)	63.910.139 m ³ /ano
Conversão m ³ para MWh (2)	1,0 m ³ = 0,00143 MWh
Horas no ano (3)	8.760
Potencial energético estimado = [(1)*(2)] / (3)	10,43 MW

Quadro 4.7 – Estimação do potencial biomassa (dejetos animais) na área de estudo

d) Energia hídrica:

No que tange ao potencial hídrico, somando-se as potências instaladas dos quinze empreendimentos localizados junto à área de estudo, e, considerando a

eficiência energética e operacional para esta tecnologia, chega-se ao potencial estimado do quadro 4.8.

Estimação do potencial hídrico	
Potência instalada total de CGH (P_{CGH})	3,0 MW
Potência instalada total de PCH (P_{PCH})	23,4 MW
Eficiência energética e operacional (η)	0,61
Equação (3.9)	$P(MW) = (P_{CGH} + P_{PCH}) * \eta$
Potencial energético estimado	16,1 MW

Quadro 4.8 – Estimação do potencial hídrico na área de estudo

Sendo assim, apresenta-se de forma sumarizada no quadro 4.9 o potencial energético estimado para cada tecnologia de geração, junto à área estudada.

Potencial energético total	
Energia Eólica	146,96 MW
Energia Solar	44,38 MW
Energia Biomassa	14,47 MW
Energia Hídrica	16,1 MW
Total	221,91 MW

Quadro 4.9 – Potencial energético estimado para a área de estudo

A partir dos montantes de potência verificados para cada fonte de energia na área estudada, é possível avaliar a dimensão do potencial passível de aproveitamento. Observa-se que o potencial é bastante expressivo, haja vista que a demanda máxima anual da COPREL gira em torno de 92,0 MW.

Ao passo que o potencial disponível na área de estudo representa

praticamente duas vezes e meia a demanda máxima da distribuidora, reforça ainda mais a importância de mapear e quantificar o potencial energético de uma determinada área. Neste caso específico, o potencial disponível deve ser avaliado não somente com o cunho de seu aproveitamento, mas também sob a ótica dos impactos que um alto nível de penetração de GD provocaria no sistema.

Em relação às fontes, destaca-se o potencial eólico da área. Considerando os incentivos e popularização dessa forma de geração, existe uma tendência natural de aumento de conexões de aerogeradores de pequeno porte, o que poderá impactar significativamente no sistema em caso de expansão sem o devido planejamento.

Quanto à energia solar, embora a área de estudo esteja localizada entre as regiões de menor incidência de radiação do Brasil, o potencial calculado mostrou-se bem expressivo. Mesmo que o atual cenário ainda não seja favorável à expansão dessa tecnologia de geração, um provável revés poderá trazer boas oportunidades para aproveitamento desse recurso, bem como, incertezas as distribuidoras em um panorama de alta penetração e forte exposição à intermitência do recurso energético (radiação solar).

Da mesma forma, no entanto em menor proporção, as demais fontes apresentaram bom potencial na área de estudo. Em especial a biomassa, alavancada pelo potencial energético dos dejetos de animais, já que se concentra na área de estudo boa parte da produção avícola e leiteira do estado. Em relação à hídrica, não havendo restrições ambientais e com preços de comercialização de energia que garantam viabilidade econômica aos empreendimentos, considera-se muito provável a injeção do montante de potência calculado no sistema de distribuição da COPREL.

4.2.4 Priorização das fontes energéticas

a) Construção de hierarquias:

Considerando os elementos chave do processo decisório do problema, já detalhado no item 3.2.4, foram estruturados os modelos hierárquicos para as duas perspectivas de priorização das fontes, conforme figuras 3.7 e 3.8.

b) Definição de prioridades:

Para a avaliação paritária das alternativas e critérios do problema, elaborou-se e aplicou-se um questionário, conforme apêndice A, a um grupo de especialistas do campo de estudo, composto por engenheiros, mestres e doutores da UFSM, CEEE, CERTAJA e COPREL. Foram atribuídos pesos com base na escala de Saaty (tabela 3.2), em cada comparação de alternativas e critérios, e em ambos os cenários de análise: o da distribuidora e o do investidor.

O tratamento das informações se deu, inicialmente, pela construção das matrizes de julgamentos de alternativas e critérios, compilados individualmente por especialista. Posteriormente, os resultados individuais foram agrupados através da média das opiniões dos especialistas, utilizando média geométrica, obtendo-se matrizes de julgamentos resultantes do grupo de especialistas consultados.

O resultado das matrizes resultantes dos julgamentos dos especialistas é apresentado sob a forma de apêndice. Da mesma forma, são demonstradas as demais etapas da modelagem AHP, até a obtenção da matriz de prioridade global com a classificação das fontes nos dois cenários de análise. Neste caso, consultar apêndices B e C.

c) Consistência lógica:

Prosseguindo com os passos da modelagem AHP, foram avaliadas as consistências dos julgamentos dos especialistas através do cálculo de IC e RC. As figuras 4.10 e 4.11 apresentam os resultados para os cenários da distribuidora e investidores, respectivamente.

Observa-se pela figura 4.10, que uma das matrizes de julgamentos não satisfaz a condição de consistência. Ou seja, a matriz que compara as alternativas de geração à luz do critério “Desenvolvimento Tecnológico - [DT]”, apresentou discrepâncias significativas nos julgamentos dos especialistas, necessitando reavaliação. Neste caso, identificou-se que a causa da inconsistência estava em um único julgamento de um dos especialistas, o qual foi modificado, garantindo a consistência lógica do modelo. Assim, o valor de RC passou de 0,12916 para 0,06862.

Matriz de julgamentos	IC	RC	
Potencial Energético (MW) - [PE]	0,00000	0,00000	✓
Tempo de Vida Útil (anos) - [VU]	0,00000	0,00000	✓
Eficiência Energética e Operacional - [EF]	0,00000	0,00000	✓
Tempo de Operação a Plena Carga (hs/ano) - [TO]	0,00000	0,00000	✓
Armazenamento do Recurso - [AR]	0,03178	0,03531	✓
Perfil da Carga - [PC]	0,05559	0,06177	✓
Grau de Impacto no Sistema - [GI]	0,01363	0,01514	✓
Desenvolvimento Tecnológico - [DT]	0,11624	0,12916	✗
Capacidade de Modularidade - [CM]	0,01092	0,01214	✓
Intermitência do Recurso Energético - [IR]	0,04475	0,04972	✓
<i>Condição de consistência: RC ≤ 0,08 (matriz com 4 elementos)</i>			

Matriz de julgamentos	IC	RC	
Comparação entre critérios	0,07607	0,05038	✓
<i>Condição de consistência: RC ≤ 0,10 (matriz com 10 elementos)</i>			

Figura 4.10 – Consistência lógica das matrizes de julgamentos – Cenário Distribuidora

Matriz de julgamentos	IC	RC	
Potencial Energético (MW) - [PE]	0,00000	0,00000	✓
Custo de Implantação (€/kW) - [CI]	0,00000	0,00000	✓
Custo de Energia (R\$/MWh) - [CE]	0,00000	0,00000	✓
Custo de O&M (€/kW) - [O&M]	0,00000	0,00000	✓
Tempo de Vida Útil (anos) - [VU]	0,00000	0,00000	✓
Eficiência Energética e Operacional - [EF]	0,00000	0,00000	✓
Tempo de Operação a Plena Carga (hs/ano) - [TO]	0,00000	0,00000	✓
Impacto Ambiental - [IA]	0,01273	0,01415	✓
Capacidade de Modularidade - [CM]	0,02369	0,02632	✓
Intermitência do Recurso Energético - [IR]	0,04258	0,04731	✓
<i>Condição de consistência: RC ≤ 0,08 (matriz com 4 elementos)</i>			

Matriz de julgamentos	IC	RC	
Comparação entre critérios	0,09383	0,06214	✓
<i>Condição de consistência: RC ≤ 0,10 (matriz com 10 elementos)</i>			

Figura 4.11 – Consistência lógica das matrizes de julgamentos – Cenário Investidor

Dessa forma, combinando as matrizes de julgamentos à luz de cada critério com a matriz de julgamentos entre os critérios, foi obtida a priorização global das fontes de geração para cada um dos cenários analisados, conforme mostrado nas figuras 4.12 e 4.13.

Fonte	Critérios (pesos em PU)										PG	Classificação
	PE	VU	EF	TO	AR	PC	GI	DT	CM	IR		
Solar	0,0170	0,0137	0,0038	0,0152	0,0071	0,0074	0,0455	0,0078	0,0440	0,0085	0,1701	4ª
Eólica	0,0562	0,0123	0,0090	0,0169	0,0089	0,0141	0,0358	0,0234	0,0319	0,0149	0,2236	3ª
Hídrica	0,0062	0,0147	0,0177	0,0254	0,0587	0,0593	0,0387	0,0596	0,0146	0,0221	0,3170	1ª
Biomassa	0,0055	0,0098	0,0064	0,0677	0,0372	0,0591	0,0369	0,0097	0,0137	0,0433	0,2894	2ª

Figura 4.12 – Matriz de Prioridade Global das fontes para o Cenário Distribuidora

Fonte	Critérios (pesos em PU)										PG	Classificação
	PE	CI	CE	O&M	VU	EF	TO	IA	CM	IR		
Solar	0,0123	0,0216	0,0973	0,0163	0,0255	0,0060	0,0073	0,0109	0,0118	0,0103	0,2194	3ª
Eólica	0,0407	0,0841	0,0416	0,0635	0,0228	0,0144	0,0081	0,0071	0,0096	0,0153	0,3071	1ª
Hídrica	0,0045	0,0757	0,0417	0,0571	0,0273	0,0282	0,0121	0,0065	0,0032	0,0246	0,2811	2ª
Biomassa	0,0040	0,0379	0,0438	0,0038	0,0182	0,0102	0,0323	0,0047	0,0046	0,0329	0,1924	4ª

Figura 4.13 – Matriz de Prioridade Global das fontes para o Cenário Investidor

Através da figura 4.14 é possível observar graficamente a classificação das fontes, em que a geração hídrica, a partir do mapeamento, estimação e priorização dos recursos energéticos na área estudada, apresenta-se como a mais prioritária do ponto de vista da distribuidora. Em seguida vêm as fontes biomassa, eólica e solar, nesta mesma ordem de prioridade.

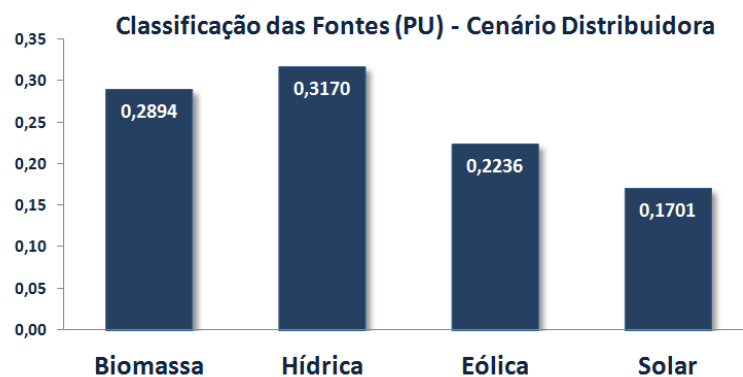


Figura 4.14 – Classificação final das fontes para o Cenário Distribuidora

Ainda no Cenário Distribuidora, observa-se a partir da figura 4.15 os pesos de cada critério avaliado, os quais determinaram a prioridade global de uma fonte frente às demais. Em destaque, os critérios que fizeram da hídrica a fonte mais prioritária, está o estágio de desenvolvimento tecnológico (*DT*), sua capacidade de armazenamento do recurso energético (*AR*), bem como, a fonte mais adequada ao perfil de carga (*PC*) avaliado. Para a biomassa, os critérios preponderantes que a levaram à segunda posição foram intermitência do recurso energético (*IR*), perfil da carga (*PC*) e o tempo de operação a plena carga (*TO*). Já a geração eólica, o alto potencial energético (*PE*) disponível destacou-se em relação aos demais critérios, porém sua baixa capacidade de armazenamento do recurso (*AR*) e eficiência energética (*EF*) pouco contribuíram na prioridade global dessa fonte. Por fim, como menos prioritária do ponto de vista da distribuidora está a solar, motivado principalmente pela baixa eficiência energética (*EF*), baixa capacidade de armazenamento do recurso (*AR*), menos adequada ao perfil de carga (*PC*) avaliado, além da forte exposição a variações sazonais do recurso energético ponderado pelo critério de intermitência do recurso (*IR*).

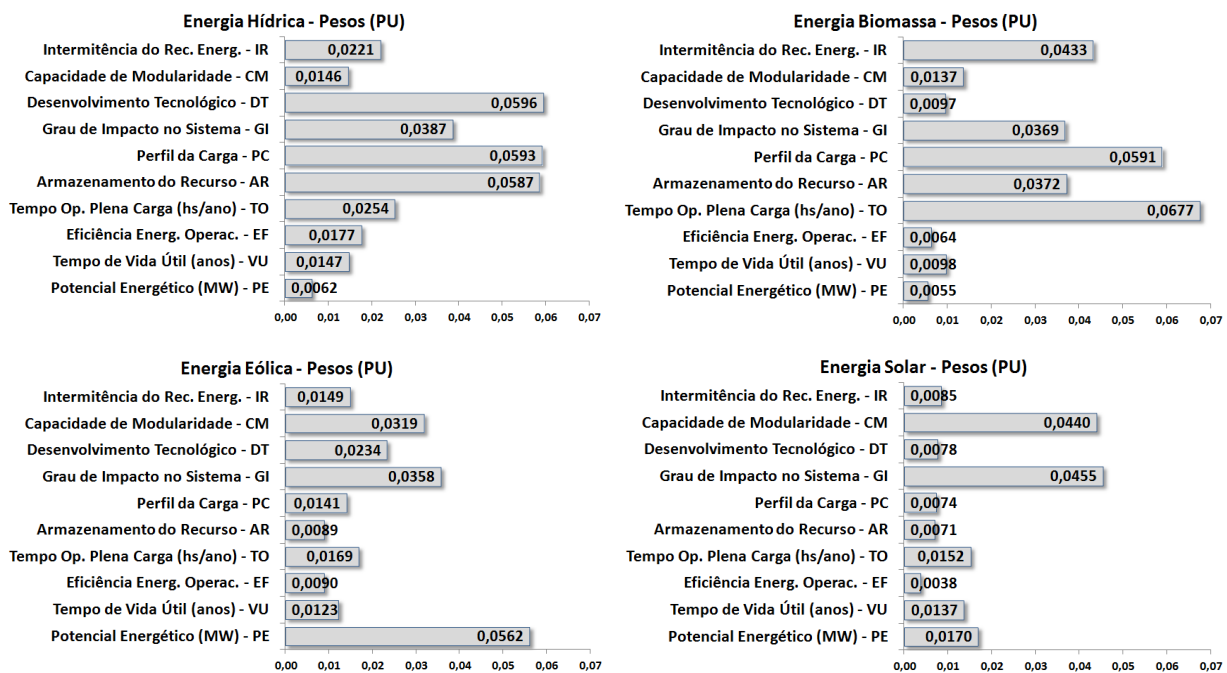


Figura 4.15 – Pesos dos critérios no Cenário Distribuidora

Já para o Cenário Investidor, onde foram considerados critérios técnico-econômicos que possam influenciar na rentabilidade do negócio de geração, a classificação final das fontes apontou como tecnologia mais favorável a eólica, seguida pela hídrica, solar e biomassa, conforme figura 4.16.

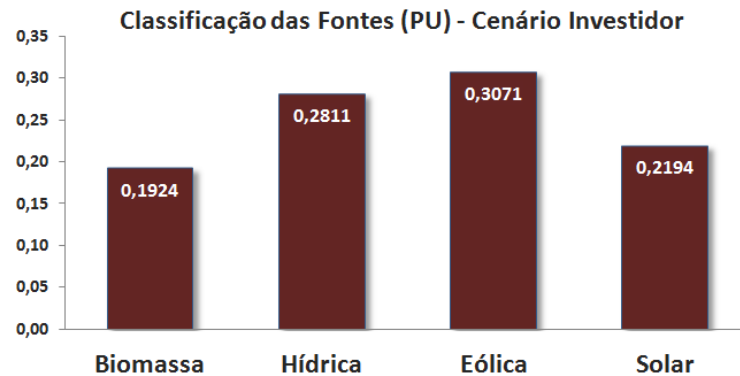


Figura 4.16 – Classificação final das fontes para o Cenário Investidor

Na análise qualitativa da representatividade dos critérios, pela figura 4.17, nota-se que os que mais contribuíram para a eólica ser prioritária correspondem aos menores custos de implantação (*CI*) e de operação e manutenção (*O&M*) frente às demais, assim como os custos de comercialização de energia (*CE*) e o alto potencial energético (*PE*) disponível na área de estudo. Observa-se na hídrica que, não fosse seu baixo potencial energético (*PE*) na área de estudo frente à eólica, seria ela a fonte mais prioritária também do ponto de vista dos investidores. Em relação à solar, é possível verificar a baixa representatividade dos pesos na maioria dos critérios de avaliação, posicionando-a também entre as fontes menos prioritárias de aproveitamento, a exemplo do Cenário Distribuidora. Destaca-se a biomassa, segunda mais prioritária do ponto de vista da distribuidora, apresentou-se como a de menor interesse sob a perspectiva dos investidores, consequência do baixo potencial disponível na área de estudo (*PE*) comparada às demais, além do elevado custo de operação e manutenção (*O&M*), baixa capacidade de modularidade (*CM*) e maiores impactos ambientais (*IA*), na opinião dos especialistas.

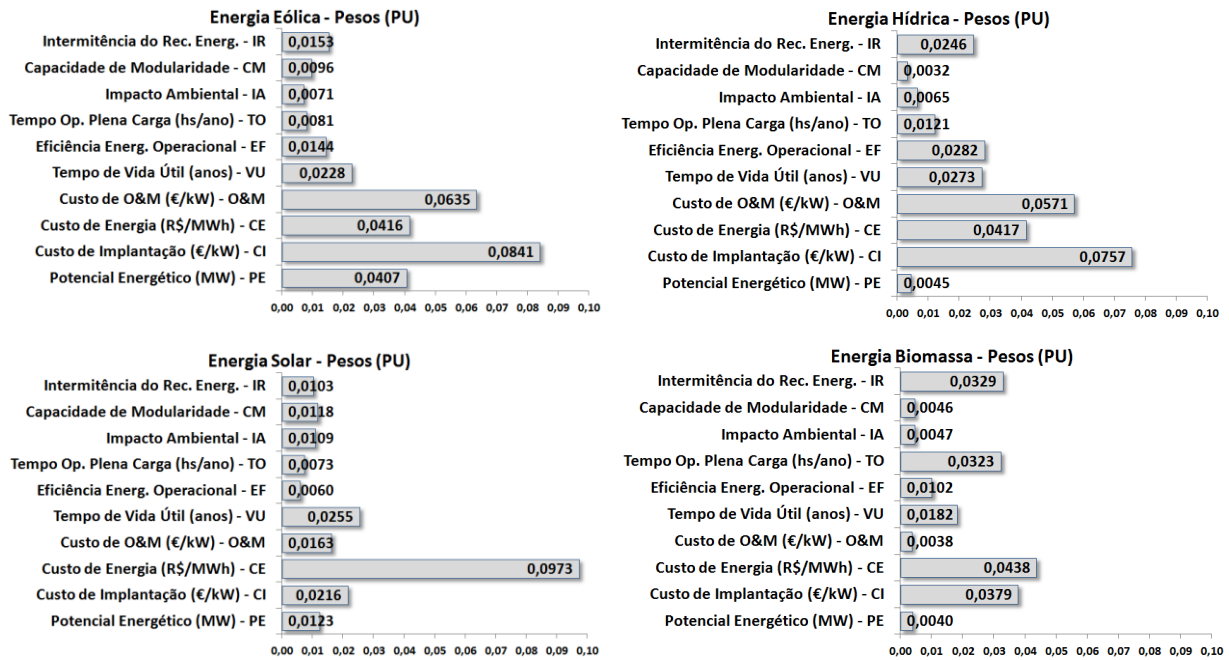


Figura 4.17 – Pesos dos critérios no Cenário Investidor

4.3 Considerações finais do capítulo

O presente capítulo foi descrito com o propósito de demonstrar a aplicação prática da metodologia desenvolvida, assim como produzir resultados práticos em relação ao potencial de renováveis e à melhor forma de participação dessas fontes, junto à área de interesse. Para atingir este objetivo, foram utilizados dados reais obtidos a partir de pesquisa realizada na área de atuação da Permissionária COPREL.

Neste sentido, pôde-se avaliar a aplicabilidade do método e o conjunto de novas variáveis possíveis de serem incorporadas às técnicas convencionais de planejamento da distribuição. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que através da metodologia se faz possível:

- ✓ Identificar amplamente os tipos de recursos energéticos disponíveis na área estudada;
- ✓ Apresentar os locais de maior e menor potencialidade para aproveitamento dos recursos renováveis;

- ✓ Indicar o quão concentrado ou distribuído está o recurso energético de uma determinada fonte;
- ✓ Quantificar o montante estimado de geração, em MW, que as fontes mapeadas representam;
- ✓ Revelar ao planejador possíveis focos de ameaças e oportunidades que se apresentam a partir do aproveitamento dos recursos;
- ✓ Avaliar a representatividade do potencial de uma fonte em relação às demais;
- ✓ Conhecer as variáveis principais de cálculo do potencial de cada fonte, e como elas influenciam na estimação da capacidade energética;
- ✓ Desencadear estudos específicos acerca dos impactos que um alto grau de penetração de GD possa representar a uma subestação ou alimentador;
- ✓ Reunir em uma mesma análise diferentes características técnicas e econômicas, acerca das tecnologias de geração abordadas;
- ✓ Analisar problemas de priorização de fontes de geração em uma dada área, através de múltiplos critérios quantitativos e qualitativos;
- ✓ Considerar opiniões de diferentes especialistas do campo de estudo no processo decisório de priorização de fontes de GD;
- ✓ Indicar à equipe de planejamento a melhor forma de aproveitamento do potencial no sistema elétrico, considerando aspectos técnicos das tecnologias de GD;
- ✓ Mostrar as tendências de aproveitamento do potencial disponível por parte de investidores;
- ✓ Vislumbrar potenciais concentrações de GD, pontos de inserção e restrições futuras do sistema, a partir do aumento da exploração dos recursos por parte dos investidores;
- ✓ Fomentar junto a investidores o aproveitamento do potencial energético mapeado em uma região, onde os estudos de planejamento apontam restrições sistêmicas futuras;
- ✓ Obter a melhor forma de participação das fontes disponíveis, com vistas ao seu aproveitamento, diversificação da matriz energética, suporte à operação e expansão do sistema;

Sendo assim, no capítulo seguinte são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como suas principais contribuições e perspectivas de trabalhos futuros.

5 CONCLUSÕES

A incorporação de importantes variáveis relacionadas ao mapeamento, estimação e priorização de fontes renováveis de GD à nova ótica de se estudar e planejar a distribuição, foi tratada neste trabalho através do desenvolvimento de uma metodologia para mapeamento e priorização de recursos renováveis.

A partir da ampla pesquisa bibliográfica realizada, foi possível observar a riqueza de informações disponíveis acerca das principais tecnologias de geração, em especial às renováveis. Identificou-se, no entanto, uma carência e ao mesmo tempo excelentes oportunidades para estudos que integrem importantes variáveis aos processos de planejamento, tais como, mapeamento de recursos renováveis, estimação do potencial energético e priorização de fontes a partir de diferentes critérios e perspectivas. Fato que imprime a este estudo forte contribuição técnico-científica, oferecendo aos planejadores e pesquisadores um referencial que os guie no sentido de melhor aproveitar o potencial energético disponível de modo sustentável.

Os estudos realizados para desenvolvimento da metodologia levaram a um maior conhecimento sobre as tecnologias de geração abordadas. Neste contexto, tanto o mapeamento quanto a estimação do potencial energético mostraram-se eficazes no que tange a identificação e representatividade dos recursos disponíveis em uma área. Da mesma forma, a priorização dos recursos através da análise comparativa das fontes mostrou-se satisfatória e de grande relevância no processo, haja vista a diversidade de parâmetros quantitativos e qualitativos reunidos em uma mesma avaliação.

Outro diferencial significativo é fruto da análise realizada em diferentes cenários, levando-se em conta a opinião de especialistas, a qual evidenciou as tendências de aproveitamento do potencial disponível do ponto de vista da distribuidora e do investidor.

O método AHP mostrou-se bastante dinâmico, flexível e de fácil aplicabilidade, o que comprova as vantagens de sua utilização em processos decisórios com múltiplos critérios, tais como problemas de planejamento com GD.

Ainda em relação à aplicação prática, foi possível evidenciar uma premissa

importante considerada para formulação desta metodologia, a qual se buscava um procedimento de fácil implementação e factível aos processos usuais de planejamento das distribuidoras.

Outro aspecto muito importante observado, é a diversidade de fatores que influenciam no processo decisório de implantação de empreendimentos de geração, os quais extrapolam o escopo desse trabalho. Há necessidades que vão desde estudos aprofundados de ordem técnica e ambiental, até a necessidade de análises consistentes sobre a viabilidade econômica do empreendimento, e os riscos atrelados. Neste sentido, vale ressaltar que este trabalho deve ser tratado como uma metodologia de apoio e que passa a incorporar novas variáveis ao planejamento, as quais comumente pouco utilizadas pelos planejadores da distribuição.

Por fim, entende-se que a metodologia desenvolvida neste trabalho responde aos objetivos inicialmente propostos. Fica evidente que o estudo revela importantes variáveis com forte contribuição aos métodos convencionais de planejamento da distribuição, posicionando-se favoravelmente ao movimento de transformação que o setor elétrico vem atravessando, a partir do cenário de expansão da GD.

5.1 Principais contribuições deste trabalho

Como forma de contribuição acadêmica, considera-se que o presente estudo propôs:

- ✓ Metodologia para mapeamento e priorização de recursos renováveis para suporte à nova ótica de planejamento da distribuição;
- ✓ Método para mapeamento do potencial energético de fontes solar, eólica, hídrica e biomassa, em uma área de interesse;
- ✓ Formas de cálculo do potencial estimado de geração, a partir das principais variáveis de estimação do potencial de cada tecnologia de geração;
- ✓ Modelagem AHP para análise multicriterial de problemas relacionados ao planejamento com GD;
- ✓ Classificação das fontes de geração sob a ótica da distribuidora e investidor;
- ✓ Aplicação prática da metodologia com base em dados reais;

5.2 Perspectivas de continuidade do trabalho

Como continuidade do trabalho, podem ser citadas algumas sugestões:

- ✓ Reunir outras tecnologias de geração não abordadas neste estudo;
- ✓ Avaliar influências das variações dos potenciais nas áreas de estudo;
- ✓ Incorporar aos critérios de avaliação, parâmetros de confiabilidade das formas de geração;
- ✓ Estudo de complementaridade das fontes (regime de operação), associado ao perfil da carga;
- ✓ Avaliação do nível de penetração e localização ótimos de GD, em função do potencial disponível e perfil de carga;
- ✓ Estudo dos impactos no sistema, provocados por um alto nível de aproveitamento do potencial disponível com GD;
- ✓ Definição das fontes prioritárias ao aproveitamento, em função de perfis típicos de carga (residencial, rural, industrial, irrigação, etc.);
- ✓ Proposição de um novo fluxo para o processo de planejamento da distribuição, considerando as diferentes variáveis relacionadas à GD.

5.3 Publicações

AZZOLIN, H. N.; CANHA, L. N., **Metodologia para mapeamento e priorização de recursos renováveis com aplicação no planejamento da distribuição**. IX CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Florianópolis/SC, 2014.

AZZOLIN, H. N.; CANHA, L. N., **O mapeamento do potencial energético de geração distribuída como suporte ao planejamento da distribuição**. CIDEL – International Conference on Electricity Distribution, Buenos Aires, Argentina, 2014.

AZZOLIN, H. N.; CANHA, L. N., **Metodologia para mapeamento e priorização de recursos renováveis com aplicação no planejamento de sistemas de potência**. VIII SEPOC – Seminário de Eletrônica de Potência, e II SESP – Seminário de Energia e Sistemas de Potência, Santa Maria/RS, 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, T.; ANDERSON, G.; SÖDER, L. **Distributed generation: a definition**. [S.l.]: Electric Power Systems Research 57, p. 195-204, 2001.

ALMEIDA, R. P. **Suprimento regional de energia através de geração distribuída com recursos renováveis**. 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: SEMC, 2002.

AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P. **Atlas eólico: Minas Gerais**. 1. ed. Belo Horizonte: CEMIG, 2010.

AMER, M. DAIM, T. U. **Selection of renewable energy technologies for a developing county: A case of Pakistan**. Energy for Sustainable Development. v. 15, p. 420-435, 2011.

ANEEL. **Anexo 3-E PCHs CGHs Futuras**. Brasília, DF, 2012(a). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 31 out.2012.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília: Aneel, 2002.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. 2014. Brasília, DF, Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 02 jul. 2014.

ANEEL. **Resolução Normativa n. 482 de 17 de abril de 2012**. Brasília, DF, 2012(b). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 13 set. 2013.

ANGELIS-DIMAKIS, A., et al. **Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 15, p. 1182-1200, 2011.

ARIAS, R. I.; ARDILA, R.; RUIZ, J. **Distributed generation: regulatory and commercial aspects**. [S.l.: s.n.], 2006.

BARIN, A. **Metodologia para a análise dos efeitos da geração distribuída sobre as características operacionais dos sistemas de distribuição utilizando técnicas multicriteriais**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

BARIN, A. et al. **Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica Fuzzy**. [S.l.]: Revista Controle & Automação, vol. 21, n. 5, 2010.

- BAYOD-RÚJULA, A. A. **Future development of the electricity systems with distributed generation.** [S.l.]: Energy 34 (3), p. 377-383, 2009.
- BELMONTE, S., et al. **Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 13, p. 1475-1484, 2009.
- BEROMI, Y. A. et al. **Using genetic algorithm for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile.** [S.l.]: Proceeding of University Power Engineering Conference (UPEC), p. 954-958, 2007.
- BORGES, C. L. T.; FALCÃO, D. M. **Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement.** [S.l.]: International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 28, n. 6, p. 413-20, 2006.
- BRASIL. **Decreto n. 5.163 de 30 de julho de 2004.** 2004(a). Brasília, DF, Disponível em: <www6.senado.gov.br>. Acesso em: 05 set. 2013.
- BRASIL. **Lei n. 9.074 de 07 de julho de 1995.** Brasília, DF, Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br>>. Acesso em: 13 set. 2013.
- BRASIL. **Lei n. 10.848 de 15 de março de 2004.** 2004(b). Brasília, DF, Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br>>. Acesso em: 13 set. 2013.
- BRIGATTO, G. A. A. **Modelo de decisão multiobjetivo para a busca de estratégias ótimas de inserção de empreendimentos em geração distribuída.** 2011. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- BROWN, R. E. et al. **Siting distributed generation to defer t&d expansion.** [S.l.]: Transmission and Distribution Conf. and Expo, vol. 2, p. 622–627, 2001.
- CALILI, R. F. **Estudo de modelos decisórios para escolha de alternativas de usinas geradoras de energia elétrica: utilização dos métodos multicritério TOPSIS, ELECTRE e AHP.** 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Donostia-San Sebastián, 2010.
- CANHA, L. N. et al. **Problemas de controle de tensão em redes de distribuição com fontes distribuídas de geração e armazenamento de energia.** V SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, Aracaju, p.515-520, 2003.
- CAPELETTO, G. J.; MOURA, G. H. Z. **Balanço energético do Rio Grande do Sul 2011: ano base 2010.** Porto Alegre: CEEE/SEINFRA, 2011.
- CEMIG. **Atlas solarimétrico de Minas Gerais.** 1. ed. Belo Horizonte: CEMIG, 2013.
- CEPEL. **Atlas do potencial eólico brasileiro.** 1. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.

CEPEL. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. 1. ed. Recife: UFPE, 2000.

CEPEL. **Cresesb**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

CÉSAR, A. P. **Otimização de alocação de fontes de geração distribuída em redes de distribuição de média tensão**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, 2009.

CESARETTI, M. A. **Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2010.

CIGRÉ. **Connection criteria at the distribution network for distributed generation** - technical brochure. [S.l.]: Conseil International des Grands Réseaux Electriques, Electra Magazine, n. 230, 2007.

COELHO, S. T.; MONTEIRO, M. B.; KARNIOL, M. R. **Atlas de bioenergia do Brasil**. 2. ed. São Paulo: CENBIO, 2012.

COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M.; FREITAS, M. A. V. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Brasília: Dupligráfica, 2000.

COLDEBELLA, A. et al. **Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite**. São Paulo: Agrener, 2006.

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

DUGAN, R.; PRACE, S. **Including distributed resources in distribution planning**. CIRED – 18th International Conference on Electricity Distribution, Turin: IEEE, session n. 4, 2005.

ELETROBRÁS. **Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT) - 2011**. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014(a).

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2013: ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2014: ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014(b).

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Custo marginal de expansão CME**. Rio de Janeiro: MME, 2014(b).

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas.** Florianópolis: Insular, 2001.

FALAGHI, H.; HAGHIFAM, M. R. **Distributed generation impacts on electric distribution systems reliability: sensitivity analysis.** Belgrade: IEEE, p. 1465-1468, 2005.

FARQUI, T. C. **Modelo para avaliação de oportunidades de oferta de geração distribuída.** 2011. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da Decisão.** São Paulo: Thomson Learning, 2007.

GUEDES, L. M.; SANTOS, E. C.; OLIVEIRA, M. A. G. **Alocação de geração distribuída em redes de distribuição radiais considerando análise de curva de carga.** XIII ERIAC – Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ, Puerto Iguazú: CIGRÉ, 2009.

IBGE. **Efetivo dos rebanhos do RS: bovinos, suínos e aves.** 2009 (a). Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 06 dez. 2012.

IBGE. **Produção agrícola municipal (PAM) no Rio Grande do Sul.** 2009 (b). Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 01 dez. 2012.

INEE. **Notas sobre Geração Distribuída - Introdução,** julho de 2001. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

KABLAN, M. M. **Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach.** Energy Policy. v. 32, p. 1151-1158, 2004.

KAGAZYO, T., et al. **Methodology and evaluation of priorities for energy and environmental research projects.** Energy. v. 22, p. 121-129, 1997.

KEMA. **Study on the impact of distributed generation on the national electricity system.** Portugal: Kema, 2011.

LACTEC. **Atlas do potencial eólico do estado do Paraná.** 1. ed. Curitiba: LACTEC, 2007.

LOPES, J. A. P. et al. **Integrating distributed generation into electric power systems: a review of drivers, challenges and opportunities.** [S.l.]: Electric Power Systems Research, 2007.

LORA, E. E. S.; HADDAD, J. **Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais.** Rio de Janeiro: Ed. Interciência, p. 86-87, 2006.

MACEDO, M. R. **Geração distribuída de pequeno porte como aliada do negócio de distribuição de energia elétrica no Brasil.** 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado

em Desenvolvimento de Tecnologia)-Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2013.

MANTEGHI, N.; JAHROMI, M. J. H. **Innovative model to priority distributed generation technology**. [S.I.]: Procedia Technology, v. 1, p. 485-489, 2012.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; FREITAS, A. P. **O uso o uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso**. XLI SBPO, Rio de Janeiro, p. 1778-1788, 2006.

MAYER, F. D. **Aproveitamento de arroz em uma micro central termoeétrica - avaliação dos impactos econômicos e ambientais para o setor arrozeiro do Rio Grande do Sul**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-UFSM, Santa Maria, 2009.

MAZZUCCHI, O. A. J. **Biodigestor rural**. São Paulo: CESP, 1980.

MENDONÇA, K. R. S. **Ajuste ótimo da potência inserida por unidades de geração distribuída em alimentadores de média tensão**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano nacional de energia 2030**. 1. ed. Brasília: MME/EPE, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha energética brasileira: Exercício de 2013**. Brasília: MME, 2014.

MOREIRA, J. R. et al. **Externalidades associadas à geração distribuída de energia elétrica a partir de biomassa na indústria sucroalcooleira**. 5º. Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, 2004.

MOTA, H. S. **Análise técnico econômica de unidades geradoras de energia distribuída**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2011.

NIGIM, K., MUNIER, N., GREEN, J. **Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources**. Renewable Energy. v. 29, p. 1775-1791, 2004.

OLIVEIRA, L. R. P. **Biodigestor**. Seminários Técnicos de Suinocultura, VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura. Goiânia, 2005.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

POLIZEL, L. H.; GOUVEA, M. R.; PELEGRINI, M. A. **Espaço e entraves regulatórios da inserção de geração distribuída no sistema elétrico brasileiro**. [S.I.]: PCH Notícias, v. 1, p. 32, 2007.

RAMACHANDRA, T. V., SHRUTHI, B. V. **Spatial mapping of renewable energy potential**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 11, p. 1460-1480, 2007.

RAMIREZ-ROSADO, I. J.; DOMINGUEZ-NAVARRO, J. A. **New multiobjective tabu search algorithm for fuzzy optimal planning of power distribution systems**. [S.I.]: IEEE, v. 21, p. 224-233, 2006.

RIBEIRO, P.; FERREIRA, F.; MEDEIROS, F. **Geração distribuída e impacto na qualidade de energia**. VI SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Belém: CIGRÉ, p. 781-788, 2005.

RUIZ-ARIAS, J. A., et al. **Assessment of the renewable energies potential for intensive electricity production in the province of Jaen, southern Spain**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 16, p. 2994-3001, 2012.

SAATY, T. L. **Decision making for leaders**. Pittsburg: WS. Publications. 2000

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Ed. Makron Books / Ed. McGraw-Hill, 367p. 1991.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. **The possibility of group welfare functions**. International Journal of Information Technology & Decision Making, v. 4, p. 67-76, 2005.

SANT'ANNA, B. V. S. **Planejamento da expansão dos sistemas de distribuição – metodologia para a consideração de pequenas centrais hidrelétricas**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

SCHNEIDER, D. R., DUIC, N., BOGDAN, Z. **Mapping the potential for decentralized energy generation based on renewable energy sources in the Republic of Croatia**. Energy. v. 32, p. 1731-1744, 2007.

SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Atlas eólico do estado de São Paulo**. 1. ed. São Paulo: SESP, 2012.

SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Energia solar paulista: levantamento do potencial**. 1. ed. São Paulo: SESP, 2013.

SEPLAG. **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 2013. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2014.

SINAPSIS, FORÇA & LUZ. **Projeto de P&D – Metodologia de Revisão Tarifária das Cooperativas Permissionárias do RS**. 1ª Reunião Presencial do Projeto P&D, Taquari, RS, 2014.

SOUZA, A. R. R. **Conexão de geração distribuída em redes de distribuição**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

TASRI, A., SUSILAWATI, A. **Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia.** Sustainable Energy Technologies and Assessments. v. 7, p. 34-44, 2014.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil.** CENERGIA, Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

TREVIZANO, W. A.; FREITAS, A. L. P. **Emprego do método da análise hierárquica (A.H.P.) na seleção de processadores.** XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre: ABEPRO, p. 2972-2979, 2005.

UNICAMP. **Governo vê potencial industrial na energia solar mesmo sem demanda interna.** Disponível em: < <http://www.inovacao.unicamp.br>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

VIRAL, R.; KHATOD, D. K. **Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: a review.** [S.l.]: Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 7, p. 5146–5165, 2012.

WANG, J. J., et al. **Integrated evaluation of distributed triple-generation systems using improved grey incidence approach.** Energy. v. 33, p. 1427-1437, 2008.

ZHU, J. Z., IRVING, M. R. **Combined active and reactive dispatch with multiple objectives using analytic hierarchical process.** [S.l.]: IEEE, v. 143, p. 344-352, 1996.

Apêndice A – Questionário de especialistas

QUESTIONÁRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD) ATRAVÉS DA MODELAGEM AHP

Objetivo

O presente questionário visa obter opiniões de especialistas do campo de estudo de GD e planejamento da distribuição, as quais integrarão o processo de análise multicriterial, utilizando o AHP, em uma metodologia para mapeamento e priorização de fontes renováveis de GD para suporte a estudos de planejamento.

Orientações gerais

Para cada análise comparativa entre alternativas, preencha as lacunas do questionário atribuindo pesos de acordo com a **Escala de Saaty para Julgamentos** (Tabela I), de forma a indicar a importância de um elemento sobre o outro.

Tabela I – Escala de Saaty para julgamentos paritários

Escala Numérica	Escala Verbal
1	Ambos os elementos são de igual importância
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes

Exemplo:

Em sua opinião, qual tecnologia de geração apresenta menor impacto ambiental?

Solar x Eólica

Formas de resposta:

i) Se o Especialista, considerando a escala da Tabela I, julgar que a fonte SOLAR tem **moderada importância** sobre a EÓLICA:

Solar x Eólica

ii) Se o Especialista julgar que a fonte EÓLICA tem **forte importância** sobre a SOLAR:

Solar x Eólica

iii) Se o Especialista julgar que ambas as fontes têm **igual importância**:

Solar x Eólica

iv) Em caso de dúvidas no julgamento, recomenda-se o não preenchimento:

Solar x Eólica

QUESTIONÁRIO

Nome do Especialista:

Formação:

Área de Atuação:

Data:

I - Do ponto de vista da DISTRIBUIDORA DE ENERGIA, visando o aproveitamento do potencial energético disponível em uma área de interesse, como suporte à operação e expansão do sistema, opine:

1) *Qual tecnologia de GD apresenta maior capacidade de estocagem do recurso energético, para geração em patamares de carga pré-definidos? (utilizar Escala de Saaty – Tabela I)*

a)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Eólica
b)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Hídrica
c)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa
d)	Eólica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Hídrica
e)	Eólica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa
f)	Hídrica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa

2) *Supondo um alimentador com predominância de cargas rurais (pesada das 19 às 21hs), qual tecnologia de GD é mais favorável para aproveitamento de seu potencial neste alimentador?*

a)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Eólica
b)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Hídrica
c)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa
d)	Eólica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Hídrica
e)	Eólica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa
f)	Hídrica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa

3) *Qual tecnologia de GD provoca menor impacto na qualidade da energia do sistema acessado, a partir de desconexões repentinas?*

a)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Eólica
b)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Hídrica
c)	Solar	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa
d)	Eólica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Hídrica
e)	Eólica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa
f)	Hídrica	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	x	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Biomassa

4) Qual das fontes de GD apresenta-se em maior estágio de maturidade?

- | | | | | | |
|----|----------------|--------------------------|---|--------------------------|-----------------|
| a) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Eólica |
| b) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Hídrica |
| c) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |
| d) | Eólica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Hídrica |
| e) | Eólica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |
| f) | Hídrica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |

5) Do ponto de vista da capacidade de incremento ou redução de potência instalada de geração, através da adição ou retirada de unidades geradoras modulares, qual tecnologia é mais favorável?

- | | | | | | |
|----|----------------|--------------------------|---|--------------------------|-----------------|
| a) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Eólica |
| b) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Hídrica |
| c) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |
| d) | Eólica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Hídrica |
| e) | Eólica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |
| f) | Hídrica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |

6) Qual tecnologia de geração apresenta menor exposição a variações sazonais do recurso energético?

- | | | | | | |
|----|----------------|--------------------------|---|--------------------------|-----------------|
| a) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Eólica |
| b) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Hídrica |
| c) | Solar | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |
| d) | Eólica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Hídrica |
| e) | Eólica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |
| f) | Hídrica | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Biomassa |

7) Ainda sob a perspectiva da DISTRIBUIDORA DE ENERGIA, o que é mais importante para definir a fonte energética mais favorável ao sistema elétrico?

- | | | | | | |
|----|-------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|-------------------------------------|
| a) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Tempo de Vida Útil |
| b) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Eficiência Energética |
| c) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Tempo de Oper. a Plena Carga |
| d) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Armazenamento do Recurso |
| e) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Perfil da Carga |
| f) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Impactos no Sistema |
| g) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Estágio de Maturidade |
| h) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Capacidade de Modularidade |
| i) | Potencial Energético da Área | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Intermitência do Recurso |
| j) | Tempo de Vida Útil | <input type="checkbox"/> | x | <input type="checkbox"/> | Eficiência Energética |

k)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
l)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Armazenamento do Recurso
m)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Perfil da Carga
n)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impactos no Sistema
o)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Estágio de Maturidade
p)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
q)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
r)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
s)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Armazenamento do Recurso
t)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Perfil da Carga
u)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impactos no Sistema
v)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Estágio de Maturidade
w)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
x)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
y)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Armazenamento do Recurso
z)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Perfil da Carga
aa)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impactos no Sistema
bb)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Estágio de Maturidade
cc)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
dd)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
ee)	Armazenamento do Recurso	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Perfil da Carga
ff)	Armazenamento do Recurso	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impactos no Sistema
gg)	Armazenamento do Recurso	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Estágio de Maturidade
hh)	Armazenamento do Recurso	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
ii)	Armazenamento do Recurso	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
jj)	Perfil da Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impactos no Sistema
kk)	Perfil da Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Estágio de Maturidade
ll)	Perfil da Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
mm)	Perfil da Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
nn)	Impactos no Sistema	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Estágio de Maturidade
oo)	Impactos no Sistema	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
pp)	Impactos no Sistema	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
qq)	Estágio de Maturidade	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
rr)	Estágio de Maturidade	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
ss)	Capacidade de Modularidade	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso

II – Agora sob o ponto de vista de INVESTIDORES/GERADORES, visando o aproveitamento do potencial energético disponível em uma área de interesse, para expansão do mix de geração, opine:

1) Qual tecnologia de GD apresenta menor impacto ambiental, pela emissão de gases poluentes, presença de elementos tóxicos, poluição sonora, impactos na fauna/flora?

a)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eólica
b)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Hídrica
c)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa
d)	Eólica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Hídrica
e)	Eólica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa
f)	Hídrica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa

2) Pela capacidade de incremento ou redução de potência instalada, através da adição ou retirada de unidades geradoras modulares, qual tecnologia é mais favorável?

a)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eólica
b)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Hídrica
c)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa
d)	Eólica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Hídrica
e)	Eólica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa
f)	Hídrica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa

3) Qual tecnologia de geração apresenta menor exposição a variações sazonais do recurso energético?

a)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eólica
b)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Hídrica
c)	Solar	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa
d)	Eólica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Hídrica
e)	Eólica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa
f)	Hídrica	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Biomassa

4) Ainda sob a perspectiva de INVESTIDORES/GERADORES, o que é mais importante para definir a fonte energética mais favorável à expansão do mix de geração?

a)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Custo de Implantação
b)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Custo de Energia
c)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Custo de O&M
d)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Vida Útil
e)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eficiência Energética
f)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
g)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
h)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade

i)	Potencial Energético da Área	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
j)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Custo de Energia
k)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Custo de O&M
l)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Vida Útil
m)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eficiência Energética
n)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
o)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
p)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
q)	Custo de Implantação	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
r)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Custo de O&M
s)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Vida Útil
t)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eficiência Energética
u)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
v)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
w)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
x)	Custo de Energia	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
y)	Custo de O&M	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Vida Útil
z)	Custo de O&M	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eficiência Energética
aa)	Custo de O&M	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
bb)	Custo de O&M	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
cc)	Custo de O&M	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
dd)	Custo de O&M	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
ee)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Eficiência Energética
ff)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
gg)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
hh)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
ii)	Tempo de Vida Útil	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
jj)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Tempo de Oper. a Plena Carga
kk)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
ll)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
mm)	Eficiência Energética	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
nn)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Impacto Ambiental
oo)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
pp)	Tempo de Oper. a Plena Carga	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
qq)	Impacto Ambiental	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Capacidade de Modularidade
rr)	Impacto Ambiental	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso
ss)	Capacidade de Modularidade	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	Intermitência do Recurso

Apêndice B – Modelagem AHP para o Cenário Distribuidora

1. Matrizes de julgamentos resultantes

1.1. Comparações das alternativas, à luz de cada critério

Potencial Energético (MW) - [PE]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,30199	2,75652	3,06704	0,19999
Eólica	3,31140	1,00000	9,12795	10,15619	0,66225
Hídrica	0,36278	0,10955	1,00000	1,11265	0,07255
Biomassa	0,32605	0,09846	0,89876	1,00000	0,06521
					$\lambda_{max} = 4,00000$

Tempo de Vida Útil (anos) - [VU]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	1,12000	0,93333	1,40000	0,27184
Eólica	0,89286	1,00000	0,83333	1,25000	0,24272
Hídrica	1,07143	1,20000	1,00000	1,50000	0,29126
Biomassa	0,71429	0,80000	0,66667	1,00000	0,19417
					$\lambda_{max} = 4,00000$

Eficiência Energética e Operacional - [EF]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,41935	0,21311	0,59091	0,10236
Eólica	2,38462	1,00000	0,50820	1,40909	0,24409
Hídrica	4,69231	1,96774	1,00000	2,77273	0,48031
Biomassa	1,69231	0,70968	0,36066	1,00000	0,17323
					$\lambda_{max} = 4,00000$

Tempo de Operação a Plena Carga (hs/ano) - [TO]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,90000	0,60000	0,22500	0,12162
Eólica	1,11111	1,00000	0,66667	0,25000	0,13514
Hídrica	1,66667	1,50000	1,00000	0,37500	0,20270
Biomassa	4,44444	4,00000	2,66667	1,00000	0,54054
					$\lambda_{max} = 4,00000$

Armazenamento do Recurso - [AR]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,75984	0,14114	0,16903	0,06314
Eólica	1,31607	1,00000	0,17783	0,19206	0,07986
Hídrica	7,08517	5,62341	1,00000	2,23607	0,52426
Biomassa	5,91608	5,20681	0,44721	1,00000	0,33275
					$\lambda_{max} = 4,09535$

Perfil da Carga - [PC]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,33333	0,15166	0,14669	0,05302
Eólica	3,00000	1,00000	0,17965	0,17444	0,10093
Hídrica	6,59349	5,56632	1,00000	1,03929	0,42391
Biomassa	6,81732	5,73266	0,96220	1,00000	0,42214
					$\lambda_{max} = 4,16677$

Grau de Impacto no Sistema - [GI]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	1,65488	0,95735	1,15016	0,28991
Eólica	0,60428	1,00000	1,01227	1,13622	0,22817
Hídrica	1,04455	0,98788	1,00000	0,94574	0,24678
Biomassa	0,86944	0,88011	1,05737	1,00000	0,23514
					$\lambda_{max} = 4,04089$

Desenvolvimento Tecnológico - [DT]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,22679	0,14114	0,98290	0,07727
Eólica	4,40933	1,00000	0,25407	2,47186	0,23295
Hídrica	7,08517	3,93598	1,00000	4,78674	0,59318
Biomassa	1,01740	0,40455	0,20891	1,00000	0,09660
					$\lambda_{max} = 4,18527$

Capacidade de Modularidade - [CM]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	1,73205	2,78316	2,78316	0,42220
Eólica	0,57735	1,00000	2,44949	2,59002	0,30614
Hídrica	0,35930	0,40825	1,00000	1,10668	0,14009
Biomassa	0,35930	0,38610	0,90360	1,00000	0,13157
					$\lambda_{max} = 4,03277$

Intermitência do Recurso Energético - [IR]					
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,47287	0,43472	0,21712	0,09620
Eólica	2,11474	1,00000	0,80911	0,22090	0,16797
Hídrica	2,30033	1,23593	1,00000	0,68659	0,24844
Biomassa	4,60578	4,52702	1,45648	1,00000	0,48739
					$\lambda_{max} = 4,13424$

** Consistência Lógica

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores de IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Matriz de julgamentos	IC	RC
Potencial Energético (MW) - [PE]	0,00000	0,00000
Tempo de Vida Útil (anos) - [VU]	0,00000	0,00000
Eficiência Energética e Operacional - [EF]	0,00000	0,00000
Tempo de Operação a Plena Carga (hs/ano) - [TO]	0,00000	0,00000
Armazenamento do Recurso - [AR]	0,03178	0,03531
Perfil da Carga - [PC]	0,05559	0,06177
Grau de Impacto no Sistema - [GI]	0,01363	0,01514
Desenvolvimento Tecnológico - [DT]	0,06176	0,06862
Capacidade de Modularidade - [CM]	0,01092	0,01214
Intermitência do Recurso Energético - [IR]	0,04475	0,04972
<i>Condição de consistência: RC < 0,08 (matriz com 4 elementos)</i>		

1.2. Comparações entre os critérios

	PE	VU	EF	TO	AR	PC	GI	DT	CM	IR	PML	
PE	1,00000	3,02740	4,11953	0,79527	0,92116	0,35930	0,33437	0,53077	0,62872	1,02988	0,08491	
VU	0,33032	1,00000	2,54573	0,31947	0,56234	0,33265	0,38260	0,47287	0,63894	0,39360	0,05057	
EF	0,24275	0,39281	1,00000	0,27494	0,34572	0,43472	0,42045	0,31947	0,47287	0,30214	0,03689	
TO	1,25743	3,13017	3,63714	1,00000	0,52332	0,75296	0,84090	1,63807	1,68179	1,86121	0,12527	
AR	1,08559	1,77828	2,89251	1,91089	1,00000	0,80911	0,59460	0,51697	0,67560	2,54573	0,11194	
PC	2,78316	3,00615	2,30033	1,32809	1,23593	1,00000	0,55552	2,30033	1,32809	1,55410	0,13993	
GI	2,99070	2,61368	2,37841	1,18921	1,68179	1,80010	1,00000	2,14914	1,51967	1,00000	0,15688	
DT	1,88405	2,11474	3,13017	0,61047	1,93434	0,43472	0,46530	1,00000	0,66874	1,22474	0,10045	
CM	1,59054	1,56508	2,11474	0,59460	1,48017	0,75296	0,65804	1,49535	1,00000	1,41421	0,10431	
IR	0,97098	2,54066	3,30975	0,53728	0,39281	0,64346	1,00000	0,81650	0,70711	1,00000	0,08886	
											$\lambda_{max} =$	10,68463

** Consistência Lógica

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores de IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Matriz de julgamentos		IC	RC
Comparação entre critérios		0,07607	0,05038 ✓
<i>Condição de consistência: RC < 0,10 (matriz com 10 elementos)</i>			

1.3. Classificação final

Fonte	Critérios (pesos em PU)										PG	Ranking
	PE	VU	EF	TO	AR	PC	GI	DT	CM	IR		
Solar	0,0170	0,0137	0,0038	0,0152	0,0071	0,0074	0,0455	0,0078	0,0440	0,0085	0,1701	4ª
Eólica	0,0562	0,0123	0,0090	0,0169	0,0089	0,0141	0,0358	0,0234	0,0319	0,0149	0,2236	3ª
Hídrica	0,0062	0,0147	0,0177	0,0254	0,0587	0,0593	0,0387	0,0596	0,0146	0,0221	0,3170	1ª
Biomassa	0,0055	0,0098	0,0064	0,0677	0,0372	0,0591	0,0369	0,0097	0,0137	0,0433	0,2894	2ª

Apêndice C – Modelagem AHP para o Cenário Investidor

1. Matrizes de julgamentos resultantes

1.1. Comparações das alternativas, à luz de cada critério

	Potencial Energético (MW) - [PE]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,30199	2,75652	3,06704	0,19999
Eólica	3,31140	1,00000	9,12795	10,15619	0,66225
Hídrica	0,36278	0,10955	1,00000	1,11265	0,07255
Biomassa	0,32605	0,09846	0,89876	1,00000	0,06521
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Custo de Implantação (€/kW) - [CI]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,25714	0,28571	0,57143	0,09863
Eólica	3,88889	1,00000	1,11111	2,22222	0,38356
Hídrica	3,50000	0,90000	1,00000	2,00000	0,34521
Biomassa	1,75000	0,45000	0,50000	1,00000	0,17260
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Custo de Energia (R\$/MWh) - [CE]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	2,33827	2,33645	2,22387	0,43378
Eólica	0,42767	1,00000	0,99922	0,95107	0,18551
Hídrica	0,42800	1,00078	1,00000	0,95182	0,18566
Biomassa	0,44967	1,05144	1,05062	1,00000	0,19505
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Custo de O&M (€/kW) - [O&M]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,25714	0,28571	4,28571	0,11598
Eólica	3,88889	1,00000	1,11111	16,66667	0,45103
Hídrica	3,50000	0,90000	1,00000	15,00000	0,40593
Biomassa	0,23333	0,06000	0,06667	1,00000	0,02706
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Tempo de Vida Útil (anos) - [VU]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	1,12000	0,93333	1,40000	0,27184
Eólica	0,89286	1,00000	0,83333	1,25000	0,24272
Hídrica	1,07143	1,20000	1,00000	1,50000	0,29126
Biomassa	0,71429	0,80000	0,66667	1,00000	0,19417
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Eficiência Energética e Operacional - [EF]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,41935	0,21311	0,59091	0,10236
Eólica	2,38462	1,00000	0,50820	1,40909	0,24409
Hídrica	4,69231	1,96774	1,00000	2,77273	0,48031
Biomassa	1,69231	0,70968	0,36066	1,00000	0,17323
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Tempo de Operação a Plena Carga (hs/ano) - [TO]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,90000	0,60000	0,22500	0,12162
Eólica	1,11111	1,00000	0,66667	0,25000	0,13514
Hídrica	1,66667	1,50000	1,00000	0,37500	0,20270
Biomassa	4,44444	4,00000	2,66667	1,00000	0,54054
	$\lambda_{max} = 4,00000$				

	Impacto Ambiental - [IA]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	1,40429	2,07858	2,07858	0,37359
Eólica	0,71210	1,00000	0,85457	1,73205	0,24298
Hídrica	0,48110	1,17017	1,00000	1,31607	0,22241
Biomassa	0,48110	0,57735	0,75984	1,00000	0,16102
	$\lambda_{max} = 4,03820$				

	Capacidade de Modularidade - [CM]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	1,49535	2,91295	2,71081	0,40277
Eólica	0,66874	1,00000	2,91295	2,71081	0,32938
Hídrica	0,34329	0,34329	1,00000	0,53728	0,11088
Biomassa	0,36889	0,36889	1,86121	1,00000	0,15697
	$\lambda_{max} = 4,07107$				

	Intermitência do Recurso Energético - [IR]				
	Solar	Eólica	Hídrica	Biomassa	PML
Solar	1,00000	0,48549	0,57212	0,29847	0,12380
Eólica	2,05977	1,00000	0,61479	0,33032	0,18360
Hídrica	1,74787	1,62658	1,00000	1,03929	0,29657
Biomassa	3,35037	3,02740	0,96220	1,00000	0,39603
	$\lambda_{max} = 4,12774$				

** Consistência Lógica

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores de IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Matriz de julgamentos	IC	RC
Potencial Energético (MW) - [PE]	0,00000	0,00000 ✓
Custo de Implantação (€/kW) - [CI]	0,00000	0,00000 ✓
Custo de Energia (R\$/MWh) - [CE]	0,00000	0,00000 ✓
Custo de O&M (€/kW) - [O&M]	0,00000	0,00000 ✓
Tempo de Vida Útil (anos) - [VU]	0,00000	0,00000 ✓
Eficiência Energética e Operacional - [EF]	0,00000	0,00000 ✓
Tempo de Operação a Plena Carga (hs/ano) - [TO]	0,00000	0,00000 ✓
Impacto Ambiental - [IA]	0,01273	0,01415 ✓
Capacidade de Modularidade - [CM]	0,02369	0,02632 ✓
Intermitência do Recurso Energético - [IR]	0,04258	0,04731 ✓
<i>Condição de consistência: RC < 0,08 (matriz com 4 elementos)</i>		

1.2. Comparações entre os critérios

	PE	CI	CE	O&M	VU	EF	TO	IA	CM	IR	PML
PE	1,00000	0,37150	0,22679	0,38610	0,90360	2,05977	0,74008	2,43230	1,73205	0,42045	0,06145
CI	2,69178	1,00000	1,36778	3,08007	3,70779	2,27951	3,48200	4,21287	5,09146	3,83366	0,21931
CE	4,40933	0,73111	1,00000	1,01740	5,00997	5,09146	4,40933	5,09146	5,66375	4,28139	0,22434
O&M	2,59002	0,32467	0,98290	1,00000	2,14070	2,51487	2,73556	4,28139	4,28139	2,21336	0,14076
VU	1,10668	0,26970	0,19960	0,46714	1,00000	2,54573	2,24053	3,98428	3,98428	2,02454	0,09387
EF	0,48549	0,43869	0,19641	0,39764	0,39281	1,00000	0,84090	3,83366	2,63215	0,48549	0,05880
TO	1,35120	0,28719	0,22679	0,36556	0,44632	1,18921	1,00000	1,55410	2,51487	1,23593	0,05985
IA	0,41113	0,23737	0,19641	0,23357	0,25099	0,26085	0,64346	1,00000	0,80911	0,24275	0,02930
CM	0,57735	0,19641	0,17656	0,23357	0,25099	0,37992	0,39764	1,23593	1,00000	0,22090	0,02926
IR	2,37841	0,26085	0,23357	0,45180	0,49394	2,05977	0,80911	4,11953	4,52702	1,00000	0,08308
										$\lambda_{max} =$	10,84443

** Consistência Lógica

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores de IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Matriz de julgamentos	IC	RC
Comparação entre critérios	0,09383	0,06214 ✓
<i>Condição de consistência: RC < 0,10 (matriz com 10 elementos)</i>		

1.3. Classificação final

Fonte	Critérios (pesos em PU)										PG	Ranking
	PE	CI	CE	O&M	VU	EF	TO	IA	CM	IR		
Solar	0,0123	0,0216	0,0973	0,0163	0,0255	0,0060	0,0073	0,0109	0,0118	0,0103	0,2194	4ª
Eólica	0,0407	0,0841	0,0416	0,0635	0,0228	0,0144	0,0081	0,0071	0,0096	0,0153	0,3071	3ª
Hídrica	0,0045	0,0757	0,0417	0,0571	0,0273	0,0282	0,0121	0,0065	0,0032	0,0246	0,2811	1ª
Biomassa	0,0040	0,0379	0,0438	0,0038	0,0182	0,0102	0,0323	0,0047	0,0046	0,0329	0,1924	2ª