

Seleção de sistema de fornecimento de energia elétrica para propriedades rurais litorâneas localizadas no Norte do Estado do Rio de Janeiro

Luiz Fernando Rosa Mendes
lfmendes@iff.edu.br

Milton Erthal Júnior
miltonerthal@hotmail.com

Luiz Alberto Louzada Hosken
gcmhosken@hotmail.com



RESUMO

Neste texto, usou-se a análise multicriterial como ferramenta para a tomada de decisão na seleção de um sistema de fornecimento de energia elétrica para propriedades rurais litorâneas localizadas no Norte do Estado do Rio de Janeiro. A árvore hierárquica sugerida propõe as seguintes alternativas: fornecimento convencional da concessionária de energia elétrica local, sistema eólico, sistema fotovoltaico e sistema híbrido (fotovoltaico e eólico), as quais foram selecionadas segundo estes critérios: custo dos equipamentos, instalação e manutenção, impacto ambiental, eficiência do sistema, vida útil, continuidade do fornecimento e área útil disponível. As hipóteses foram testadas em três cenários de locação das residências em relação à rede convencional de fornecimento de energia elétrica: próximas, distantes e em posição intermediária. O método de Análise Hierárquica (AHP) foi utilizado com o auxílio do software IPÊ, versão 1,0. O trabalho evidenciou que quanto maior a distância entre a residência e a rede convencional de fornecimento de eletricidade, maior a viabilidade de uso das fontes de energias renováveis avaliadas. A região apresenta potencial de utilização de energias eólica e solar, no entanto o sistema convencional de oferta de energia minimiza a atratividade por estas alternativas, principalmente quando as residências estão localizadas próximas às redes de distribuição. Esse potencial poderia ser mais bem aproveitado através de incentivos governamentais para viabilizar a adoção das alternativas propostas, já que atendem às necessidades dos consumidores com baixo impacto ambiental.

Palavras-chave: Energia elétrica, AHP, Métodos decisórios.

Selection system for the supply of electricity for coastal rural properties located in the North of the State of Rio de Janeiro

ABSTRACT

This paper uses a multi-criteria analysis as a decision-making tool in selecting a system for supplying electricity to coastal rural areas located in the North of the State of Rio de Janeiro. The suggested hierarchical tree proposes the following alternatives: conventional supply of electricity by the local utility company, the wind system, the photovoltaic and hybrid system (photovoltaic and wind), which were selected according to these criteria: cost of equipment, installation and maintenance, environmental impact, system efficiency, durability, continuity of supply and floor area available. The hypotheses were tested in three scenarios, considering the location of residence in relation to the conventional electric grid: near, far and in between. The method of Analytic Hierarchy Process (AHP) was used along with the IPE software, version 1.0. The study showed that the greater the distance is between the residences and the conventional grid of electricity supply, the greater is the viability to use the renewable sources of energy evaluated. The region has the potential to use wind and solar power; however, the conventional energy supply minimizes the attractiveness of these alternatives, especially when the residences are located close to the distribution networks. This potential could be more effectively used through government incentives to enable the adoption of the proposed alternatives, as they meet the needs of consumers with low environmental impact.

Key words: Electricity; AHP; Decision-making Methods.

1. Introdução

A utilização da energia elétrica é essencial para o desenvolvimento econômico de uma nação ou região e está diretamente associada à qualidade de vida humana (FOURNIER; PENTEADO, 2011). Atualmente, o setor energético está em fase de transformação, buscando se desprender da sua forte dependência por combustíveis fósseis. Os esforços em ciência e tecnologia têm conduzido à melhoria dos sistemas convencionais de geração de energia e à busca por novas alternativas, principalmente as renováveis, que compatibilizem a viabilidade econômica e o mínimo impacto ambiental, que são os anseios da sociedade (HODGE, 2011). Entre as alternativas de geração de energia renovável, podem-se citar a eólica, a solar e a hidráulica.

A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do vento (HODGE, 2011), que gira um conjunto de hélices conectadas a um gerador que produz eletricidade. A quantidade de energia produzida varia de acordo com o tamanho das suas hélices e, claro, do regime de ventos na região onde está instalada (LOPES, 2011). O Brasil tem um dos maiores potenciais eólicos do planeta e, embora hoje o vento seja responsável por 0,03% de 92 mil MW instalados no país, há planos ambiciosos para a exploração dessa fonte de energia (LOPES, 2011).

Já a energia solar é aquela proveniente da radiação solar, captada por painéis solares, formados por células fotovoltaicas, e transformada em energia elétrica ou mecânica (HODGE, 2011). A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre estes, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas Regiões Sul e Sudeste em razão das características climáticas e o segundo, nas Regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica (ANEEL, 2011).

A energia hidroelétrica é a obtenção de energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio (HODGE, 2011). Para que esse processo seja realizado é necessária a construção de usinas em rios que possuam elevado volume de água e apresentem desníveis em seu curso. Normalmente, as usinas hidrelétricas são construídas em locais distantes dos centros consumidores, e sua eficiência energética é muito eficaz, em torno de 95% (ANEEL, 2011). Atualmente, as usinas hidrelétricas são responsáveis por 14% da produção de energia elétrica no mundo. No Brasil, mais de 70% da energia elétrica produzida é proveniente de usinas hidrelétricas (IEA/OCDE, 2011).

Mesmo com um cenário energético favorável, no que tange às potencialidades do Brasil, cerca de 12% dos domicílios brasileiros não são atendidos por energia elétrica (IBGE, 2011), tornando os benefícios proporcionados por essa energia limitados para essa população (FOURNIER; PENTEADO, 2011).

Segundo Oliveira (2002), essa distorção é ainda mais grave no ambiente rural, onde aproximadamente 25% da população não tem acesso à energia elétrica, ou seja, ¼ das casas da zona rural brasileira. As residências afastadas dos centros urbanos exigem investimentos volumosos e instalações complexas, impedindo as concessionárias de energia elétrica de ofertarem seus produtos através de seus planejamentos estratégicos. Atualmente, existem alternativas tecnológicas que podem ser implementadas para minimizar esse problema. Energias renováveis e limpas, como a eólica e a solar, podem levar eletricidade a lugares remotos a custos, muitas vezes, acessíveis.

2. Revisão de literatura

2.1. Fontes Renováveis de Energia Elétrica: Eólica, Fotovoltaica e Híbrida

Atualmente, o mundo enfrenta sérios problemas ambientais, sendo o setor energético um dos responsáveis. Uma parcela desse problema está relacionada à queima de combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas e as projeções atuais apontam para seu esgotamento a partir de 2050 (HINRICHS; KLEINBACH, 2004). Entretanto, há um eminente crescimento no consumo de eletricidade, sendo esse

consumo um dos responsáveis pelo suporte ao crescimento econômico dos países e à manutenção do estilo de vida atual. Dessa forma, é preciso propor novas alternativas de geração de energia para que haja melhor equilíbrio entre a procura e a oferta.

E ao longo de décadas o crescimento do consumo de energia foi suportado pela maciça utilização de combustíveis fósseis por parte da maioria dos países. A Figura 1 mostra a matriz energética mundial e brasileira (IEA/OCDE, 2011). Pode-se perceber, nessa figura, a dependência direta de fontes não renováveis de energia em nível mundial, o que contribui para a geração de dióxido de carbono e outros gases que favorecem o aquecimento global. No Brasil, a lógica é inversa ao cenário mundial, cuja matriz energética é fundamentalmente renovável.

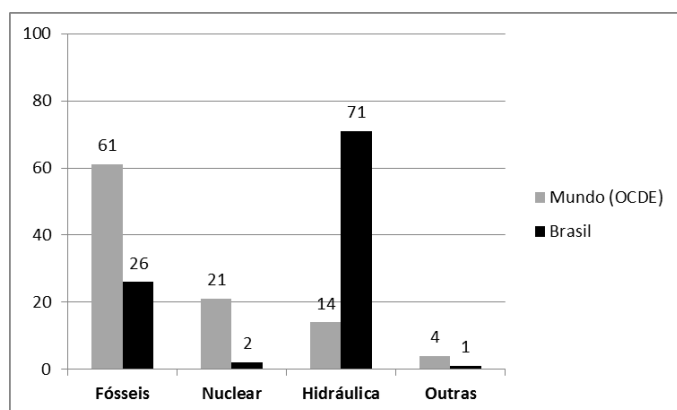


Figura 1 - Comparação percentual entre as matrizes energéticas do Brasil e do mundo (países integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) por tipo de combustível entre janeiro e março de 2011.

Fonte: Elaboração própria alterada de IEA/OCDE, 2011.

Percebe-se, nessa figura, que 72% da energia elétrica gerada no Brasil constitui fontes renováveis de energia. No entanto, há dependência significativa de um tipo de fonte geradora, a hidroelétrica, e essa dependência majoritária em um tipo de fonte pode ser preocupante no que diz respeito à diversificação da matriz energética. Constata-se, também, a inexpressiva contribuição das outras fontes renováveis de energia (eólica e fotovoltaica), com 1% de contribuição para a matriz energética.

Verificou-se, no entanto, nos países europeus e da Ásia, crescimento das energias renováveis, principalmente da eólica e da fotovoltaica. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) (2008), a energia renovável é a chave

para diminuir a emissão de CO₂. A Agência relatou estudos de perspectivas que projetam para até 2050 que a energia renovável, sozinha, terá o potencial de contribuir com 21% da redução da energia relacionada a emissões de CO₂ necessárias para manter os níveis não acima de 450 partículas por milhão, alvo focado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 2008. Dentro desse contexto, o Brasil tem papel importante, em razão do considerável potencial para utilização de fontes de energia renováveis, como a eólica e a fotovoltaica.

Realizando um recorte no litoral da região Norte do Estado do Rio de Janeiro, Municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana, se observaram ventos de 6 a 7,5 m/s, conforme mostrado na Figura 2. Segundo o Plano Nacional de Energia-2030 (PNE, 2030), a velocidade média dos ventos que podem indicar a viabilidade técnica do aproveitamento eólico para equipamentos de pequeno porte para sistemas isolados é de 4 m/s a 10 m de altura.

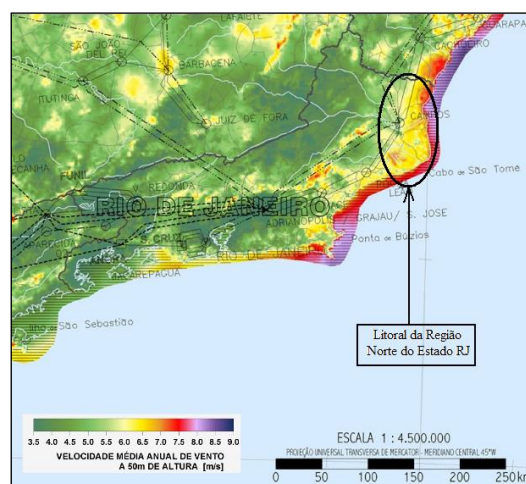


Figura 2 - Velocidade média anual dos ventos (m/s) no litoral da região Norte do Estado do Rio de Janeiro – Brasil

Fonte: Adaptado do ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO, 2011

Vale apontar que, para Dutra (2004), essas informações de velocidade do vento são importantes, porém, para determinação do potencial eólico para geração elétrica, é necessária a análise desses dados durante vários anos, analisando-se séries históricas de dados meteorológicos.

Já o aproveitamento da energia solar exige o conhecimento das componentes direta e difusa da sua radiação local. Dessa maneira, é necessário medir a radiação e a insolação com o mesmo nível de análise descrita para a velocidade dos ventos.

Segundo o PNE-2030, a radiação solar no Brasil varia entre 8 e 22 MJ/m² durante o dia, e as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, quando a radiação varia de 8 a 18 MJ/m² dia. Na Figura 3, verifica-se a distribuição de radiação ao longo da Região Sudeste.

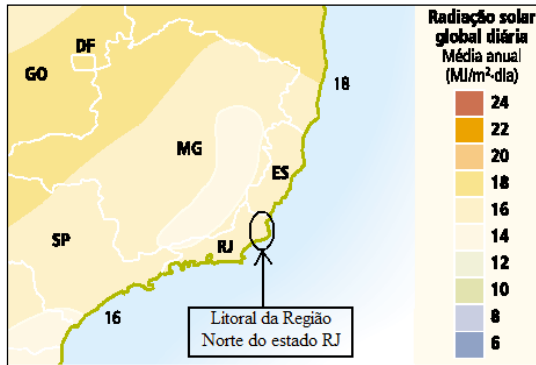


Figura 3 - Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m².dia) na Região Sudeste do Brasil

Fonte: Adaptado do ATLAS DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL, 2005

Na imagem dessa figura, percebe-se que o litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro é de 16 MJ/m² dia, ou seja, radiação favorável à geração de energia solar.

Nesse contexto, o estudo e escolha do sistema de geração de energia renovável que melhor se ajusta aos critérios quantitativos e qualitativos, levando em consideração o local a ser instalado, contribuem, significativamente, para a minimização

da dependência de fontes de energia não renováveis e, conseqüentemente, maior aproveitamento dos recursos naturais, implicando diretamente preservação do meio ambiente.

2.2. Método de Análise Hierárquica (AHP)

O processo decisório pela análise multicritério tem o objetivo de tratar um problema complexo de uma maneira simples. Além disso, os Métodos de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) têm a característica de reconhecer a subjetividade inerente aos problemas de tomada de decisão e utilizar o julgamento de valor como forma de tratá-lo cientificamente (COSTA, 2006).

Para resolução de problemas decisórios, pode-se utilizar como ferramenta de apoio o Método de Análise Hierárquica (AHP), pois ele considera aspectos quantitativos e qualitativos na análise de resolução de problemas. Segundo Baricevic (2009), o AHP constitui um método matemático para tomada de decisão com multicritérios. O método possibilita a tomada de decisões envolvendo qualquer tipo de julgamento, inclusive planejamento e determinação de prioridades, selecionando-se a melhor entre as várias alternativas.

O método AHP proposto por Saaty (BERNARDON et al., 2010) é demonstrado, de forma sequencial, no Quadro 1.

Quadro 1 - Resumo do método AHP

Resumo do método AHP, segundo Saaty			
Sequência	Nº Equação	Equação	Descrição da equação
1º Passo	Eq. 1	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{n4} \end{bmatrix}$	Formação das matrizes de decisão. Expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais (ARAYA et al., 2004).
2º Passo	Eq. 2	$W_i = \left(\prod_{j=1}^n W_{ij} \right)^{1/n}$	Cálculo do autovetor (W _i). Consiste em ordenar as prioridades ou hierarquias das características estudadas (COSTA, 2006).
3º Passo	Eq. 3	$T = \left \frac{W_1}{\sum W_i} ; \frac{W_2}{\sum W_i} ; \frac{W_3}{\sum W_i} \right $	Cálculo de Normalização dos autovetores. Possibilita a comparabilidade entre os critérios e alternativas (COSTA, 2006).
4º Passo	Eq. 4	$\lambda_{\max} = T \times W$	Índice que relaciona os critérios da Matriz de Consistência e os pesos dos critérios (COSTA, 2006).
5º Passo	Eq. 5	$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}$	Índice de Consistência (IC). Permite avaliar o grau de inconsistência da matriz de julgamentos pareados (COSTA, 2006).
6º Passo	Eq. 6	$RC = \frac{IC}{CA}$	Razão de Consistência (RC). Permite avaliar a inconsistência em razão da ordem da matriz de julgamentos. Caso o valor seja maior que 0,10, revisar o modelo e, ou, os julgamentos (COSTA, 2006).

Fonte: Elaboração própria.

3. Metodologia

A metodologia proposta neste trabalho visa criar um procedimento para auxiliar na escolha do melhor sistema de fornecimento de energia elétrica a ser implantado em domicílios rurais com potência instalada de 200 kWh, à luz de multicritérios. Para solução do problema de análise multicriterial, utilizou-se a ferramenta computacional IPÊ 1.0.

O procedimento aqui desenvolvido considerou as seguintes alternativas para o fornecimento de energia elétrica: rede elétrica de média tensão (13,8 kV) da concessionária local; sistema eólico; sistema fotovoltaico; e sistema híbrido (composto por sistema eólico e fotovoltaico para geração de energia elétrica).

Para fins de estudo sobre a escolha, consideraram-se condições climatológicas propícias para a implantação dos sistemas renováveis de energia elétrica, ou seja, velocidade média anual do vento e radiação média anual viáveis à operação de sistemas eólicos e fotovoltaicos. Deve ser ressaltado que, para a real implantação de qualquer sistema renovável de energia elétrica que utilize a energia dos ventos ou radiação solar, necessita-se realizar estudos das condições climatológicas da região e o espaço físico onde serão instalados tais sistemas.

Esquemáticamente, o problema foi elaborado levando-se em consideração a distância, em metros, entre a casa e a rede elétrica de média tensão (13,8 kV) da concessionária local, conforme mostrado na Figura 4.

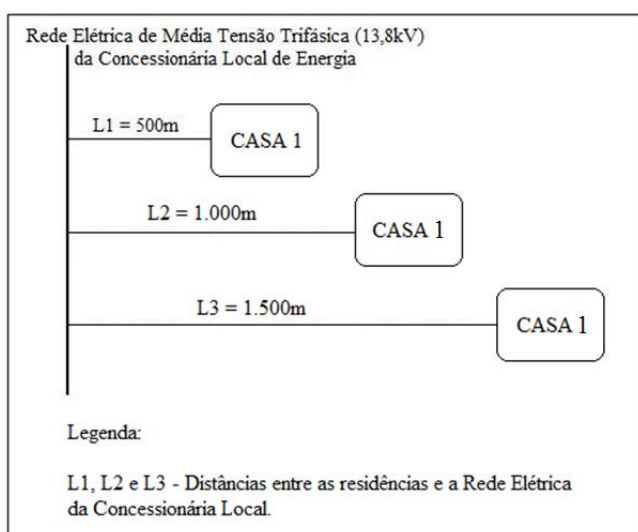


Figura 4 - Esquema do problema proposto: distâncias entre a Rede Elétrica Convencional (13,8 kV) da concessionária local e as casas sem atendimentos por energia

Diante disso, foram criados três cenários, que tiveram por objetivo analisar, de forma multicriterial, quatro alternativas, diante das diferentes distâncias entre as casas e a rede elétrica convencional da concessionária. Outro objetivo foi verificar a distância pela qual essa rede elétrica convencional tornar-se-ia inviável, se comparada com os sistemas renováveis de energia, à luz dos critérios quantitativos e qualitativos estabelecidos para o problema.

Para dar suporte ao peso dos critérios quantitativos, realizaram-se pesquisas com empresas especializadas em sistemas de energias renováveis e com a concessionária de energia da cidade de Campos dos Goytacazes, RJ, no intuito de levantar orçamentos considerando os custos e características técnicas de cada sistema.

O peso da contribuição ambiental, critério qualitativo, foi decidido a partir da análise de cinco professores do curso de graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, onde eles indicaram os pesos para tal critério.

Na Figura 5 é apresentada a árvore da estrutura hierárquica do problema em questão, para o processo de seleção dos sistemas de fornecimento de energia elétrica, de acordo com o método AHP.

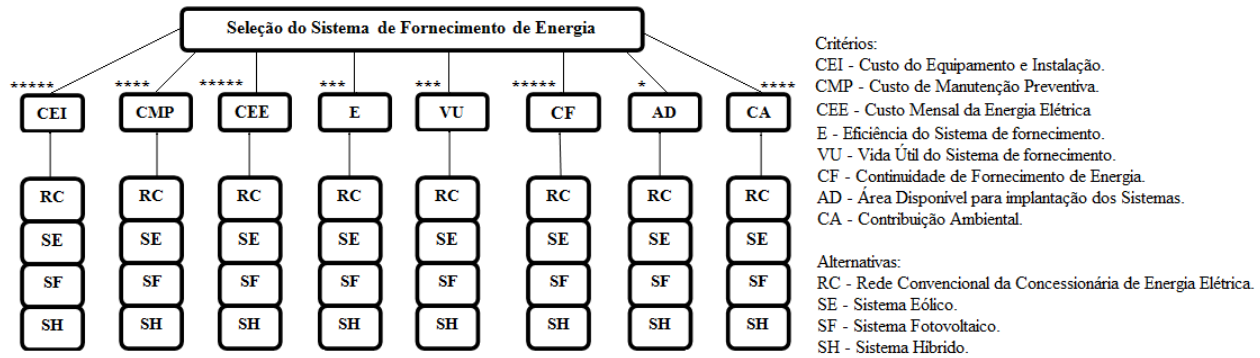


Figura 5 - Árvore da estrutura hierárquica do problema de seleção do sistema de fornecimento de energia elétrica a ser implantada em um domicílio rural à luz dos critérios levantados

A árvore da estrutura hierárquica (Figura 5) auxilia, de forma clara, na solução do problema. Nela, podem-se observar as alternativas de fornecimento de energia elétrica (Rede Elétrica Convencional, Sistema Eólico, Sistema Fotovoltaico e Sistema Híbrido), levando em consideração para tomada de decisão os seguintes critérios: o custo médio do equipamento e instalação, em R\$; o custo médio da manutenção preventiva, em R\$; o custo mensal de energia elétrica, em R\$; a eficiência média do sistema, em %; a vida útil do equipamento, em anos; a continuidade no fornecimento; a área disponível, em m²; e a contribuição ambiental em baixa, média ou alta contribuição.

A árvore hierárquica do problema foi caracterizada com a indicação dos pesos de cada critério, em que os critérios mais importantes para a decisão de escolha receberam maior quantidade de símbolos *, em um escala de um a cinco símbolos, enquanto os critérios menos impactantes para a análise apresentaram apenas um único símbolo *. A atribuição dos pesos foi realizada por consultas a quatro especialistas da área de energia, que definiram a importância dos critérios utilizados no trabalho, conferindo-lhes notas de 1 a 5.

A Tabela 1 traz o resumo da primeira etapa do procedimento de tomada de decisão de escolha do tipo de sistema de energia elétrica para o domicílio rural, situado na faixa litorânea da região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 1 - Valores dos critérios avaliados

Tabela comparativa da escolha do sistema de energia elétrica para residências rurais utilizando o método AHP							
Critérios de Escolha	Fontes de fornecimento de Energia Elétrica						
	Rede elétrica de média tensão (13,8 kV) da Concessionária de Energia Elétrica Local				Sistema eólico	Sistema fotovoltaico	Sistema híbrido eólico + fotovoltaico
	Rede elétrica ao lado da casa	Extensão de rede de 500 m	Extensão de rede de 1.000 m	Extensão de rede de 1.500 m			
Custo Médio do Equipamento e Instalação (R\$)*****	0,00	20.390,28	40.780,56	61.170,84	4.341,00	3.785,00	12.270,00
Custo Médio Manutenção Preventiva (R\$) por Ano****	0,00	0,0	0,0	0,0	600,00	600,00	600,00
Custo Mensal da Energia Elétrica (R\$)*****	105,00	105,00	105,00	105,00	0,00	0,00	0,00
Eficiência Média (%)***	100	100	100	100	35 – 50	16	35 – 66
Vida Útil (anos) ***	30	30	30	30	20	25	25
Continuidade no Fornecimento (%) *****	95	95	95	95	85	85	90
Área Disponível (m²) *	0,0	0,0	0,0	0,0	144,0	4,0	144,0
Contribuição Ambiental pela Geração****	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Alta

Em virtude da falta de incentivos fiscais e governamentais para a adoção das fontes renováveis de energia, os critérios relacionados ao custo (custo do equipamento e instalação, custo de manutenção preventiva e custo mensal da energia elétrica) obtiveram quatro a cinco símbolos*, demonstrando, assim, o grau de importância desses critérios no ato da decisão.

Outro aspecto importante quando se trata de energia elétrica é a continuidade no seu fornecimento. Dessa forma, esse critério também ficou com os cinco símbolos*.

Em seguida, o critério contribuição ambiental obteve importância com quatro símbolos*, pois pela análise dos especialistas da área ambiental as fontes renováveis de energia constituem uma das alternativas para mitigar os problemas energéticos. Além disso, observaram-se os critérios referentes à eficiência do sistema e de sua vida útil, apontando três símbolos* de importância.

Por fim, e com menor importância no critério de escolha, foi apontada a área disponível. Os especialistas analisaram-na com menor importância, em razão do fato de o problema ser desenvolvido em uma área rural, onde na maior parte dos casos há área suficiente para implantar os sistemas. Além disso, a alternativa da rede convencional necessita de uma área inferior a 1 m² para instalação da mureta do medidor de kilowatt-

hora. O sistema eólico precisa de uma área em torno de 144 m² e que pode ser conciliada com uma cultura de pequeno porte. O sistema fotovoltaico pode ser instalado em cima do telhado e, dessa forma, necessitaria de área disponível no solo de 4 m² para alojar os equipamentos do sistema. Já o sistema híbrido demandaria desses sistemas 144 m² do solar.

A segunda etapa do processo de tomada de decisão em relação ao problema proposto consistiu na inserção das alternativas e critérios discutidos no *software* IPÊ 1.0., utilizado para obtenção dos resultados finais do trabalho.

4. Resultados

Após a implementação do problema de multicritério e utilizando o *software* IPÊ, com três cenários de fornecimento de energia elétrica convencional, ou seja, a 500, 1.000 e 1.500 m de distância em relação à casa, apresentou-se o Quadro 2.

Quadro 2 - Resumo dos resultados, em percentual, gerados pelo software IPÊ – Seleção do fornecimento de Energia Elétrica para o domicílio rural

Resumo dos resultados, em percentual, gerados pelo <i>software</i> IPÊ 1.0 – Seleção do fornecimento de energia elétrica para o domicílio rural			
Fornecimento de energia elétrica	Cenários: distâncias entre a rede elétrica convencional da concessionária local e a casa		
	Cenário 1 500 m	Cenário 2 1.000 m	Cenário 3 1.500 m
Rede Elétrica Convencional da Concessionária Local	48,21*	32,70*	26,41
Sistema Eólico	15,62	20,50	27,02*
Sistema Fotovoltaico	15,65	24,28	25,94
Sistema Híbrido (Eólico + Fotovoltaico)	20,52	22,52	26,63

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se, nesse quadro, que a 500 m de distância a opção de rede elétrica é escolhida com 48,21% em relação às demais fontes de energia. Com 1.000 m de distância, notou-se queda significativa no percentual da energia elétrica convencional, porém ainda se torna a melhor escolha dentro dos critérios e alternativas lançados no programa.

No caso de 1.500 m, a energia eólica vem a ser a opção de melhor escolha, com 27,02%. Notou-se a proximidade dos valores quando do resultado expresso pelo software. Conclui-se que essa distância se encontra em um ponto onde a escolha não acarretará muita diferença financeira na tomada de decisão.

5. Considerações finais

Assim, pode-se observar que a universalização do fornecimento de energia elétrica tem lacunas no que tange a esse fornecimento à população rural do Brasil. No caso específico do estudo, região Norte do Estado do Rio de Janeiro, verificou-se uma ávida demanda da zona rural em usar esse bem necessário para a subsistência e desenvolvimento. Demanda essa em torno de 600 domicílios sem energia elétrica, em pleno século XXI (IBGE, 2010).

Alternativas como as energias renováveis se apresentam de forma interessante para suprir essa contradição entre modernidade e atraso de desenvolvimento, além da contribuição inestimável ao meio ambiente. Dentro da tecnologia disponível atualmente para essas fontes energéticas, percebe-se, ainda, que os custos não são acessíveis para a população rural do País, base deste estudo. Mas, conforme a demonstração de outras tecnologias na redução drástica de custos, a energia renovável estará cada vez mais democratizada.

Para a seleção do tipo de fornecimento de energia elétrica nas comunidades rurais deste estudo e levando em consideração a metodologia proposta, pode-se concluir que o método AHP, através do software IPÊ, mostrou-se ferramenta útil na análise do problema. Isso porque esse método considera não só critérios quantitativos, mas também qualitativos, a exemplo do critério contribuição ambiental da geração energética.

Considerando que na energia elétrica convencional foram usados três cenários distintos da distância entre a linha de distribuição e o “ponto de entrega” do domicílio e as outras fontes não apresentaram esse problema, os resultados preliminares apontaram que, quanto maior a distância do domicílio em relação à rede elétrica, maior a viabilidade das fontes de energia renovável.

6. Referências

ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C.; GOMES, L. F. A. M. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Thomson, 2004. 168 p.

BARICEVIC, T.; MIHALEK, E. T. A.; UGARKOVIC, K. AHP method in prioritizing Investments in transition of MV Network To 20 KV. In: **International Conference on Electricity Distribution**, 20 th. Prague, 2009.

COSTA, Helder Gomes. **IPÊ 1.0**: guia do usuário. Disponível em: <http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume42004/RelPesq_V4_2004_05.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

COSTA, Helder Gomes. **Auxílio multicritério à decisão: método AHP**. Rio de Janeiro: ABREPRO, 2006. 94 p.

DUTRA, Ricardo M. “Energia eólica”. In: **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

FOURNIER, A. C. P.; PENTEADO, C. L. C. **Eletrificação rural: um desafio para universalização da energia**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/download/livros/eletrificacao_XII.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2011.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. **Plano Nacional de Energia – 2030**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 1º jul. 2011.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. et al. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Thomson, 2004. 590 p.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados preliminares do universo do Censo Demográfico 2010 – Domicílios particulares permanentes, por existência de energia elétrica, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse>>. Acesso em: 31 ago. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Empowering variable renewable - Options for Flexible Electricity Systems – 2008**. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications>>. Acesso em: 9 jul. 2011.

MARINI, José. A.; ROSSI, Luiz. A. Sistematização do dimensionamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos isolados por meio de programa computacional. **Engenharia Agrícola [online]**, v. 25, n. 1, p. 67-75, 2005. ISSN 0100-6916.

SAATY, Thomas L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron Books, 1991. 367 p.

OLIVEIRA, Adriano Santhiago de. Modalidades e procedimentos simplificados do mecanismo de desenvolvimento limpo e a eletrificação residencial rural baseada em projetos de geração de energia renovável em pequena escala. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 4., 2002, Campinas, 2002. **Anais...** Campinas, SP, 2002.

Artigo selecionado entre os 10 melhores do VIII Encontro Mineiro de Engenharia de Produção - EMEPRO 2012.