



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
GPT.YY
22 a 25 Novembro de
2009
Recife - PE

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS -GPT

GERENCIAMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO UMA ANÁLISE MULTICRITERIAL BASEADA NO MÉTODO AHP E NA LÓGICA FUZZY

Alexandre Barin *

Luciane Neves Canha

karine Faferzani Magnago

Alzenira da Rosa Abaide

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM

RESUMO

Neste artigo será apresentada uma metodologia para tomada de decisão multicriterial que visa ao gerenciamento mais adequado de sistemas renováveis de energia considerando as características fundamentais de operação e aplicação destes sistemas. Esta metodologia toma como base o método Analytic Hierarchy Process (AHP) e a lógica fuzzy. Neste trabalho serão avaliados os principais sistemas de geração distribuída que podem fazer uso de fontes primárias renováveis, tais como: painéis fotovoltaicos, aerogeradores, microturbinas e células de combustível com uso de biogás. Este estudo irá analisar os seguintes critérios: eficiência, custos, maturidade tecnológica, impactos ambientais, amplitude de atuação do sistema e vida útil. Por fim será apresentada uma classificação em ordem de prioridade para o uso destas fontes comparando resultados provenientes da aplicação do método AHP e da lógica fuzzy para os cenários custos e meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Multicriterial, Fontes Renováveis de Energia, Geração Distribuída, Lógica Fuzzy, Método AHP.

1.0 - INTRODUÇÃO

Avaliando a realidade de crescente aumento na participação de fontes alternativas e renováveis de energia na matriz energética mundial e o atual contexto do setor elétrico brasileiro, com necessidade premente de aumento na oferta de energia elétrica, percebe-se que a progressiva participação da geração distribuída (GD) nos setores de distribuição e transmissão é uma possibilidade cada vez mais efetiva (1). A inserção da geração distribuída decorrente de fontes primárias renováveis apresenta-se, cada vez mais, como uma alternativa estratégica para o desempenho otimizado dos segmentos de distribuição e transmissão de energia, sobretudo visando à sustentabilidade na geração de energia elétrica (2). Em se tratando do meio ambiente, as fontes renováveis de energia reduzem emissão de gases poluentes e, conseqüentemente, colaboram para redução do efeito estufa. Além disso, as fontes renováveis são tecnologias ecologicamente amigáveis e com incentivos governamentais para a sua difusão (3) - PROINFA, Lei 10.438/2002.

Vários artigos já citam o crescimento de uma forte tendência na substituição da energia de origem fóssil por fontes de energia renováveis, tendo como objetivo, além da busca por novas fontes de energia, minimizar os efeitos negativos causados ao meio ambiente pelo uso excessivo dos combustíveis fósseis (4),(5),(6),(7). A busca pelo desenvolvimento sustentável, em âmbitos sociais e ambientais, é um fator de extrema importância que incentiva a elaboração de várias pesquisas e projetos, buscando-se encontrar mecanismos de gerenciamento para o adequado uso das formas alternativas, e principalmente, renováveis de geração de energia.

Neste artigo será apresentada a importância da gestão adequada das diversas características que compõem um sistema de geração e consumo de energia composto de várias formas de geração alternativa de modo a extrair-se a máxima eficiência no uso de fontes de gerações distribuídas. Para se obter o gerenciamento mais apropriado destes sistemas de geração, vários trabalhos têm feito uso de diversos métodos de análise multicriterial como Fuzzy (8), Promethee (9), Electre (10), Macbeth (11) e AHP (12). Este estudo irá apresentar uma metodologia de tomada de decisão multicriterial baseada na teoria desenvolvida por Saaty, durante a criação do método AHP, e na viabilidade da modelagem matemática de variáveis subjetivas ou incertas por meio do uso de regras e conjuntos fuzzy. Os resultados provenientes da aplicação do método AHP e da lógica fuzzy serão comparados para os cenários custos e meio ambiente com o objetivo de corroborar a metodologia apresentada neste artigo. Além, visando este mesmo objetivo, as considerações descritas em (13) sobre o uso do método AHP também serão ponderadas.

A partir da aplicação da metodologia sugerida, este trabalho irá avaliar as potencialidades de uso dos principais sistemas de geração distribuída que podem fazer uso de fontes primárias renováveis, tais como: painéis fotovoltaicos, aerogeradores e microturbinas e células de combustível com uso do biogás proveniente da biomassa (dejetos da suinocultura, por exemplo). Para o desenvolvimento da metodologia multicriterial, serão definidos os principais critérios que devem ser analisados na classificação de sistemas com diversos tipos de fontes de GD operando de forma integrada para se obter a melhor forma de gerenciamento sustentável considerando sistemas de geração distribuída de energia. Deste modo, serão analisados os parâmetros eficiência, custos, maturidade tecnológica, impactos ambientais, amplitude de atuação do sistema (faixa de potência) e vida útil. Os parâmetros (critérios) definidos neste artigo serão identificados separadamente como qualitativos e quantitativos, sendo priorizados da forma mais adequada de acordo com os cenários custos e meio ambiente.

Deve-se observar que a metodologia desenvolvida neste artigo pode considerar diversos tipos de fontes de energia e quaisquer parâmetros operacionais referentes às mesmas, bastando apenas a possibilidade de uso de uma base de dados coesa.

2.0 - ANÁLISE MULTICRITERIAL: ASPECTOS PRINCIPAIS DA METODOLOGIA ADOTADA

Para o desenvolvimento da metodologia proposta neste artigo, quatro tipos de fontes renováveis de energia foram analisadas em dois diferentes cenários considerando seis diferentes parâmetros. O principal objetivo deste estudo é encontrar o tipo de fonte mais apropriada a ser utilizada em cada um dos cenários em análise. Um bom exemplo de como o processo de tomada de decisão multicriterial é uma importante ferramenta para a gestão de sistemas de geração distribuída pode ser visto na Figura 1.

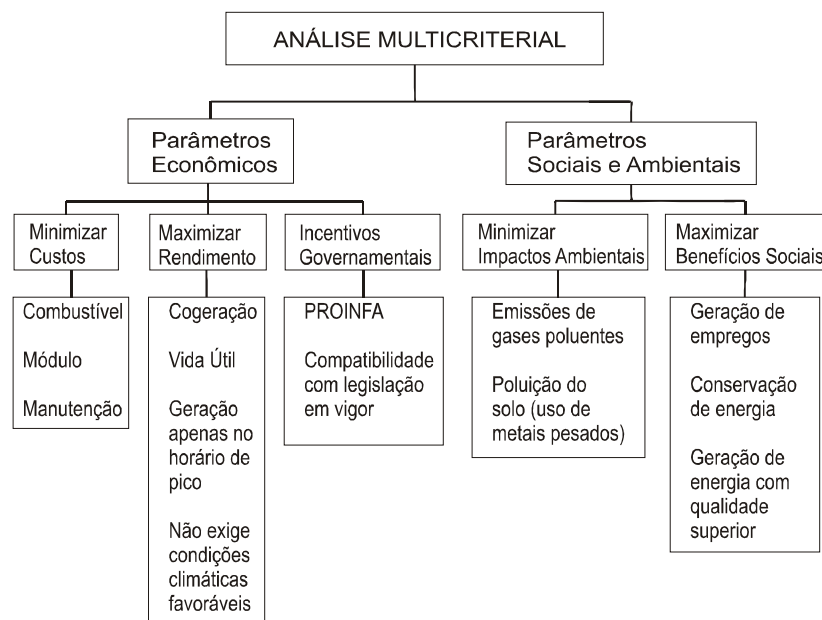


Figura 1 – Importância da tomada de decisão multicriterial no gerenciamento de fontes alternativas de energia.

Para o desenvolvimento da metodologia, após a definição das fontes a serem avaliadas e dos critérios a serem considerados, dividiram-se estes parâmetros em quantitativos e qualitativos. Como passo seguinte foi realizada uma classificação dos parâmetros por relevância, de acordo com os dois cenários em análise. Na seqüência,

apresenta-se uma breve descrição sobre os aspectos mais importantes para o entendimento da metodologia adotada.

2.1 Fontes renováveis de energia

Este artigo avalia as principais fontes renováveis de energia que podem ser utilizadas como sistemas de geração distribuída, tais como: painéis fotovoltaicos (PV), aerogeradores (AERO), microturbinas com uso do biogás proveniente da biomassa (MT) e células de combustível com uso do biogás ou hidrogênio (FC).

2.2 Parâmetros Quantitativos

Os parâmetros quantitativos são representados por valores reais. Neste artigo foram analisados os seguintes parâmetros:

- eficiência (EF) em %;
- custo de produção de energia em US\$/MWh;
- vida útil (VID) em anos.

2.3 Parâmetros Qualitativos

Os parâmetros qualitativos são representados por pesos estipulados por especialistas. Estes pesos devem ser definidos por tomadores de decisão experientes e sempre considerando uma base de dados atual. Neste artigo foram analisados os seguintes parâmetros qualitativos:

- maturidade tecnológica (MT);
- impactos ambientais (IA) relacionados com impactos visual e biológico, presença de elementos tóxicos e emissões de gases poluentes;
- amplitude de atuação do sistema (FP), considerando a faixa de potência usual da aplicação do sistema.

2.4 Classificação dos Parâmetros por Relevância: Cenário Custos e Meio Ambiente

Nos cenários avaliados neste estudo considera-se previamente uma classificação de relevância dos parâmetros com a relação às características dos mesmos sobre cada cenário em questão. Esta classificação permanece inalterada durante todo o processo de simulação da metodologia, sendo utilizada no método AHP e no uso da lógica fuzzy. O principal objetivo desta classificação é facilitar o desenvolvimento das simulações, assim como o entendimento dos especialistas sobre os passos utilizados na metodologia proposta. A relevância dos parâmetros definida para cada cenário está apresentada abaixo:

- cenário custos: 1° custos, 2° maturidade tecnológica, 3° eficiência, 4° vida útil, 5° amplitude de atuação do sistema e 6° impactos ambientais.
- cenário meio ambiente: 1° impactos ambientais, 2° eficiência, 3° vida útil, 4° maturidade tecnológica, 5° amplitude de atuação do sistema e 6° custos.

2.5 Base de dados

A base de dados utilizada para o desenvolvimento da metodologia proposta é apresentada na Tabela 1, considerando os valores utilizados como base para a análise dos parâmetros quantitativos, e os pesos atribuídos aos parâmetros qualitativos.

Tabela 1 – Base de dados utilizado no método AHP e na lógica fuzzy

Parâmetros	PV	AERO	MT	FC
Quantitativos	Valores reais			
EF - Eficiência (%)	15	30	35	45
Custos (US\$ / MWh)	900	150	200	300
VID - Vida útil (anos)	28	25	20	8
Qualitativos	Pesos – “quanto maior, melhor”			
MT - Maturidade tecnológica	0,50	0,80	0,60	0,70
IA - Impactos ambientais	0,75	0,85	0,40	0,45
FP - Amplitude de atuação	0,50	1,0	0,40	0,80

3.0 - ANÁLISE MULTICRITERIAL: MÉTODO AHP

Uma das principais características da metodologia desenvolvida por Saaty no método AHP (14) é a relação entre a tomada de decisão desenvolvida no método e o raciocínio humano. Segundo Saaty, a mente humana distribui elementos em grupos de acordo com propriedades, estruturando o raciocínio e a conseqüente tomada de decisão. No uso do AHP, estes agrupamentos podem ser descritos como hierarquias. No método de Saaty, a partir da formulação destas hierarquias (etapa de estruturação) há o estabelecimento de importâncias (pesos), normalmente estabelecidos através de julgamentos verbais e numéricos (etapa de julgamento). O valor atribuído a estes pesos segue expressões desenvolvidas por Saaty, descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Expressões trazidas por Saaty

Intensidade da Importância	Definição (termos verbais)	Explicação
1	Igualmente importante.	Dois elementos contribuem igualmente.
3	Moderadamente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um elemento.
5	Fortemente mais importante.	Experiência e julgamento favorecem fortemente um elemento.
7	Muito fortemente mais importante ou importância confirmada.	Elemento fortemente favorecido. A dominância é provada na prática.
9	Extremamente mais importante.	A evidência favorece um elemento em relação a outro na ordem mais alta.

Estes pesos ou graus de importância são definidos em um processo de comparação por pares organizados em matrizes de comparações paritárias (MCP). Os valores da MCP representam a escolha da alternativa da linha versus a alternativa da coluna. Esta comparação por pares permite avaliar a consistência da decisão para cada nível da hierarquia. Tomando como base os dados apresentados na Tabela 1, fez-se uso do método AHP avaliando os parâmetros escolhidos com intuito de encontrar a fonte mais apropriada a ser utilizada para futura geração de energia elétrica.

Para um melhor entendimento do uso do método AHP, sua aplicação foi dividida em três processos. Na construção da MCP dos parâmetros (Processo 1 – Tabela 3), calculam-se as prioridades relativas apenas entre os parâmetros. De forma simplificada, divide-se cada valor da tabela pela soma dos valores da coluna onde esse elemento se encontra e, posteriormente, calcula-se a média para cada linha. Na construção da MCP das alternativas (Processo 2 – Tabela 4), calculam-se as prioridades relativas (RW) entre as alternativas considerando separadamente cada um dos parâmetros. Na aplicação matemática procede-se da mesma forma anterior. Com objetivo de corroborar os resultados provenientes das MCP, calcula-se a razão de consistência (CR) de cada MCP. Segundo Saaty o valor calculado para CR não deve ser maior que 10% (0,1) para matrizes com cinco ou mais elementos. Por fim, multiplicam-se os valores das ponderações das alternativas pelos valores das ponderações dos parâmetros. Os valores desta multiplicação são somados em cada linha da tabela final resultando nas prioridades relativas finais (FRW) que definem a classificação das alternativas para os cenários custos e meio ambiente (Processo 3 – Tabelas 5 e 6).

Tabela 3 – Determinação dos pesos entre os parâmetros, considerado os cenários custos e meio ambiente, respectivamente (Processo 1).

MCP – Parâmetros, cenário custos (Processo 1)								MCP – Parâmetros, meio ambiente (Processo 1)							
	EF	COST	TM	EI	PRA	LC	RW		EF	COST	TM	EI	PRA	LC	RW
EF	1,00	0,20	1,00	5,00	3,00	1,00	0,13	EF	1,00	7,00	3,00	0,33	5,00	1,00	0,19
\$	5,00	1,00	3,00	9,00	7,00	3,00	0,43	\$	0,14	1,00	0,20	0,11	0,33	0,14	0,03
MT	1,00	0,33	1,00	7,00	5,00	3,00	0,21	MT	0,33	5,00	1,00	0,20	3,00	0,20	0,09
IA	0,20	0,11	0,14	1,00	0,20	0,20	0,03	IA	3,00	9,00	5,00	1,00	9,00	3,00	0,43
FP	0,33	0,14	0,20	5,00	1,00	0,20	0,06	FP	0,20	3,00	0,33	0,11	1,00	0,20	0,05
VID	1,00	0,33	0,33	5,00	5,00	1,00	0,14	VID	1,00	7,00	5,00	0,33	5,00	1,00	0,22
CR = 0,0970								CR = 0,0757							

Tabela 4 – Determinação dos pesos entre as alternativas (Processo 2).

Parâmetro 1 – Eficiência (CR = 0,0811)						Parâmetro 2 – Custos (CR = 0,0636)					
	PV	AERO	MT	FC	RW		PV	AERO	MT	FC	RW
PV	1,00	0,20	0,20	0,11	0,04	PV	1,00	0,11	0,14	0,14	0,04
AERO	5,00	1,00	1,00	0,20	0,17	AERO	9,00	1,00	1,00	3,00	0,40
MT	5,00	1,00	1,00	0,20	0,17	MT	7,00	1,00	1,00	3,00	0,38
FC	9,00	5,00	5,00	1,00	0,63	FC	7,00	0,33	0,33	1,00	0,18
Parâmetro 3 – Maturidade tecnológica (CR = 0,0758)						Parâmetro 4 – Impactos ambientais (CR = 0,0661)					
	PV	AERO	MT	FC	RW		PV	AERO	MT	FC	RW
PV	1,00	0,20	0,20	0,20	0,06	PV	1,00	0,33	5,00	3,00	0,26
AERO	5,00	1,00	3,00	1,00	0,38	AERO	3,00	1,00	7,00	5,00	0,56
MT	5,00	0,33	1,00	0,33	0,18	MT	0,20	0,14	1,00	0,33	0,06
FC	5,00	1,00	3,00	1,00	0,38	FC	0,33	0,20	3,00	1,00	0,12
Parâmetro 5 – Faixa de potência (CR = 0,0037)						Parâmetro 6 – Vida útil (CR = 0,0956)					
	PV	AERO	MT	FC	RW		PV	AERO	MT	FC	RW
PV	1,00	0,11	1,00	0,11	0,05	PV	1,00	3,00	5,00	9,00	0,56
AERO	9,00	1,00	7,00	1,00	0,43	AERO	0,33	1,00	3,00	7,00	0,27
MT	1,00	0,14	1,00	0,11	0,05	MT	0,20	0,33	1,00	5,00	0,13
FC	9,00	1,00	9,00	1,00	0,46	FC	0,11	0,14	0,20	1,00	0,04

As Tabelas 5 e 6 apresentam as prioridades relativas finais (FRW) calculadas e a classificação final (CL) das fontes renováveis de GD considerado os cenários custos e meio ambiente, respectivamente.

Tabela 5 – Classificação final pelo método AHP - cenário custos (Processo 3).

	Eficiência	Custos	Maturidade	Impacto	Potência	Vida útil	FRW	CL
PV	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,08	0,125	4°
AERO	0,02	0,17	0,08	0,02	0,03	0,04	0,353	1°
MT	0,02	0,16	0,04	0,00	0,00	0,02	0,246	3°
FC	0,08	0,07	0,08	0,00	0,03	0,01	0,276	2°

Tabela 6 – Classificação final pelo método AHP - cenário meio ambiente (Processo 3).

	Eficiência	Custos	Maturidade	Impacto	Potência	Vida útil	FRW	CL
PV	0,01	0,00	0,01	0,11	0,00	0,12	0,250	2°
AERO	0,03	0,01	0,03	0,24	0,02	0,06	0,393	1°
MT	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,114	4°
FC	0,12	0,00	0,03	0,05	0,02	0,01	0,242	3°

4.0 - ANÁLISE MULTICRITERIAL: FUZZY

Resumidamente, a lógica fuzzy é uma técnica inteligente que faz uso da representação da forma humana de pensar, simulando a habilidade de tomar decisões em ambientes imprecisos, permitindo-se lidar com problemas de natureza incerta ou nebulosa (15). Neste estudo a lógica fuzzy será implementada pelo software MATLAB[®] através de regras e conjuntos fuzzy, considerando o mesmo estudo de caso avaliado anteriormente no método AHP. Os valores utilizados para os parâmetros quantitativos e os pesos definidos aos parâmetros qualitativos podem ser observados na Tabela 1.

Os conjuntos fuzzy que caracterizam cada parâmetro estão apresentados na Figura 2. As regras desenvolvidas nesta etapa baseiam-se em proposições se-então. Fazendo uso do software MATLAB[®], utilizou-se o Método de Mamdani como sistema fuzzy e o Método do Centro de Gravidade para o processo de defuzzificação (16). A atribuição do número de funções para cada conjunto fuzzy e a definição das regras fuzzy possuem como base a classificação dos parâmetros por relevância de acordo com os dois cenários em análise, apresentada anteriormente na seção 2. Além, o tipo de função dos conjuntos fuzzy e a largura da base de cada função foram definidos considerando as características de cada parâmetro em análise, apresentadas na Tabela 1.

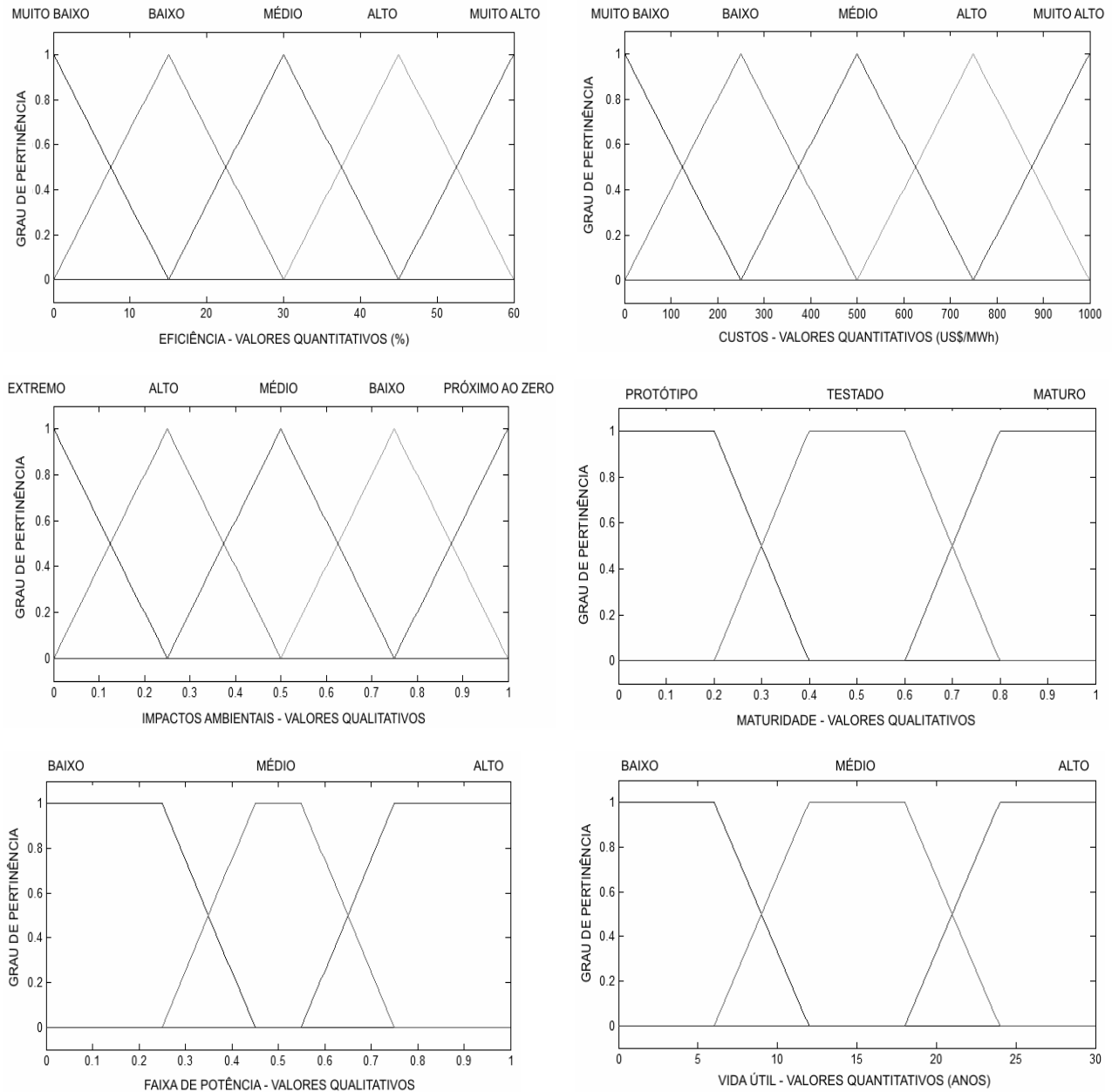


Figura 2 – Conjuntos Fuzzy para cada parâmetro em análise.

A classificação final da utilização das fontes renováveis de energia através da lógica fuzzy está apresentada na Tabela 7, considerado os cenários custos e meio ambiente.

TABELA 7 – Classificação final pela lógica fuzzy - cenários custos e meio ambiente

Fontes	FRW - Custos	CL	FRW - Meio Ambiente	CL
PV	0,090	4°	0,500	2°
AERO	0,750	1°	0,750	1°
MT	0,517	3°	0,376	4°
FC	0,676	2°	0,423	3°

5.0 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS: AHP E LÓGICA FUZZY

Nas Tabelas 8 e 9 estão apresentadas as classificações finais das fontes renováveis de energia proveniente das análises multicriteriais aplicadas no método AHP e nos conjuntos e regras fuzzy, considerando os cenários custos e meio ambiente, respectivamente.

TABELA 8 – Classificação final no cenário custos: método AHP e lógica fuzzy

Fontes	AHP		Fuzzy	
	FRW	CL	FRW	CL
PV	0,125	4°	0,090	4°
AERO	0,353	1°	0,750	1°
MT	0,246	3°	0,517	3°
FC	0,276	2°	0,676	2°

TABELA 9 – Classificação final no cenário meio ambiente: método AHP e lógica fuzzy

Fontes	AHP		Fuzzy	
	FRW	CL	FRW	CL
PV	0,250	2°	0,500	2°
AERO	0,393	1°	0,750	1°
MT	0,114	4°	0,376	4°
FC	0,242	3°	0,423	3°

Observando os resultados acima, percebe-se que a classificação das fontes renováveis de energia é exatamente a mesma tanto na análise com o método AHP quanto no uso da lógica fuzzy. Estes resultados corroboram a utilização destes dois métodos para a avaliação das principais características das fontes renováveis de energia. Neste caso, a aerogerador é a escolha mais apropriada tanto para o cenário custos quanto para o cenário meio ambiente. É essencial enfatizar que este estudo pode considerar diversos parâmetros e cenários simplesmente ajustando regras e relevâncias para cada caso.

6.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresenta um estudo visando à classificação de fontes de fontes renováveis de energia avaliando suas principais características operacionais em dois diferentes cenários: meio ambiente e custos. Para alcançar este objetivo, fez-se uso do método AHP e de conjuntos e regras fuzzy com o desenvolvimento de uma análise multicriterial utilizando parâmetros quantitativos e qualitativos. Como parte da metodologia, os parâmetros foram previamente classificados de acordo com sua relevância para cada cenário em questão. Este procedimento teve como objetivo contribuir para o melhor desenvolvimento e entendimento da metodologia. Na aplicação do método AHP, as principais considerações observadas em (13) foram verificadas. A partir destas, pode-se concluir que as relações entre os valores e os julgamentos foram respeitadas no estudo de caso desenvolvido.

Os resultados finais corroboraram o uso do método AHP e da lógica fuzzy, assim como validaram a utilização da classificação prévia de relevância aplicada aos parâmetros.

Levando em consideração o crescente aumento da participação de fontes alternativas e renováveis de energia na matriz energética mundial e no atual contexto do setor elétrico brasileiro, é necessário reconhecer a importância da utilização de metodologias que avaliem da melhor forma a gestão das diversas características que compõem um sistema de geração e consumo de energia. Com isto será possível extrair-se a máxima eficiência no uso de fontes de gerações distribuídas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CORMIO C, DICORATO M, MINOIA A, TROVATO M. A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints; Renewable and Sustainable Energy, 99 –130. 2003.
- (2) FARRET, F. A., SIMOES, M. G. Integration of Alternative Sources of Energy; John Wiley & Sons. 2006.
- (3) PROGRAMA DE INCENTIVO A FONTES DE ENERGIA ALTERNATIVAS; Lei 10.438/2002. Anais eletrônicos. Disponível em: http://www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=877.

- (4) HASHEM NEHRIR, M. A Course on Alternative Energy Wind/PV/Fuel Cell Power Generation; IEEE. 2006.
- (5) BERNAL-AGUSTIN, J. L., DUFO-LÓPEZ, R. Economical and environmental analysis of grid connected photovoltaic systems in Spain; *Renewable Energy*, 31,1107–1128. 2006.
- (6) COELHO, S. T., VELÁZQUEZ, S. M. S. G., MARTINS, O. S., ABREU, F. C. A conversão da fonte renovável biogás em energia. Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio; Brasília. 2006.
- (7) DUTRA, R. M., SZKLO, A. S. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation; *Renewable Energy*, 33, 65–76. 2008.
- (8) BORGES, A.R., ANTUNES, C.H. A fuzzy multiple objective decision support model for energy-economy planning; *European Journal of Operational Research*, 145, 304–16. 2003.
- (9) BRANS, J.P., VINCKE, P., MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method; *European Journal of Operational Research*, 24, 228–238. 1986.
- (10) BECCALI, M., CELLURA, M., MISTRETTA, M. Decision-making in energy planning-application of the ELECTRE method at regional level for the diffusion of renewable energy technology; *Renewable Energy*,28 (13), 2063–87. 2003.
- (11) CVANSNICK, J.C. Uma nova abordagem ao problema de construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. *Investigação Operacional*; v. 15, junho, p. 15-35. 1995.
- (12) WEDLEY, W.C., UNG CHOO, E., SCHONER, B. Magnitude adjustment for AHP benefit/cost ratios; *European Journal of Operational Research*, 133, 2, 342-35. 2001.
- (13) BANA E COSTA, A., VANSNICK, J. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP; *European Journal of Operational Research*, 187, 3, 1422-1428. 2008.
- (14). SAATY, T. L .The Analytic Hierarchy Process; New York: McGraw-Hill. 1980.
- (15) ZADEH, L. A. Fuzzy logic; University of California, Berkeley, IEEE. 1988.
- (16) PEDRYCZ, W., GOMIDE, F. An introduction to fuzzy sets: analysis and design; Massachusetts: The MIT Press. 1998.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alexandre Barin – Barin, A.

Nascido em Santa Maria, RS em 04 de agosto de 1980;

Graduação (2005), Mestrado (2007) em Engenharia Elétrica: UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – RS;

Doutorando do PPGE/CEEMA da Universidade Federal de Santa Maria.

Luciane Neves Canha – Canha, L.

Nascida em Santa Maria, RS em 16 de março de 1971;

Doutora em Engenharia Elétrica (2004): UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – RS, Brasil;

Professora Adjunta do Curso de Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria.

Karine Faverzani Magnago - Magnago, K. F.

Nascida em Santa Maria, RS em 30 de maio de 1974;

Dr. em Matemática Aplicada (2005): Universidade Estadual de Campinas – SP, Brasil;

Professor Titular do Departamento de Matemática da Universidade Federal de Santa Maria.

Alzenira Abaide – Abaide, A.

Nascido em Santa Maria, RS em 04 de setembro de 1957;

Doutora em Engenharia Elétrica (2005): UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – RS, Brasil;

Professora Adjunta do Curso de Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Maria e a CAPES pelo suporte oferecido.