



Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT

PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA - ESTUDO DE CASO: CASCA DE ARROZ

**ALEXANDRE KUNKEL DA COSTA(1); FELIX ALBERTO FARRET(1);
UFSM(1);**

RESUMO

Este artigo apresenta uma proposta de metodologia multicritério para seleção de fontes de minigeração distribuída utilizando a casca de arroz. Através da obtenção do potencial da biomassa residual, o modelo desenvolvido toma como base o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para avaliar os principais tecnologias de geração frente aos aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Diante da possibilidade de transformação energética da casca de arroz, consideram-se seis alternativas para minigeração distribuída. Por fim, classificam-se as alternativas em ordem de prioridade para uso destas fontes, de acordo com cenários realísticos e voltado ao propósito socioambiental.

PALAVRAS-CHAVE

Biomassa, Casca de Arroz, Minigeração Distribuída, Metodologia Multicritério, *Analytic Hierarchy Process*.

1.0 - INTRODUÇÃO

A crescente ênfase na conservação do meio ambiente associada à dependência de combustíveis fósseis têm estimulado o desenvolvimento e a utilização da biomassa como uma fonte vital de energia renovável (1). Paralelamente, a inserção da minigeração distribuída por meio de novas fontes bioenergéticas apresenta-se como uma alternativa estratégica para o desempenho otimizado do sistema elétrico, sobretudo em decorrência dos benefícios agregados, tais como: diversificação da matriz energética, baixo impacto ambiental, menor tempo de implantação, aumento da confiabilidade do sistema elétrico, possibilidade de operar de forma ilhada, redução de perdas em função do menor carregamento dos condutores, melhoria dos níveis de tensão, dentre outros (2).

No contexto da geração de eletricidade, a participação da biomassa na matriz energética brasileira evoluiu cerca de quatro vezes nos últimos dez anos, representando atualmente 8,58% da capacidade instalada (3). Ademais, em (4) está prevista a expansão dessa fonte de geração em mais de 50% até 2024, o que evidencia a sua potencialidade e importância na complementariedade de geração.

Dentre as alternativas bioenergéticas está a casca de arroz, considerada um resíduo agrícola sólido proveniente do processamento deste cereal. O Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo, e o maior fora da Ásia, tendo colhido na safra de 2017/2018 cerca de 11,53 milhões de toneladas. Ainda, projeta-se para os próximos dez anos uma produção nacional com crescimento de 0,4%, além do aumento da produtividade (5). Devido a caracterização de produção contínua por parte das indústrias de beneficiamento e a baixa densidade da casca de arroz, um dos destinos mais usuais deste resíduo é a compostagem visando à redução da matéria orgânica. Entretanto, essa finalidade desencadeia diversos problemas ambientais, principalmente ligados à emissão de gases poluentes devido à lenta decomposição da matéria orgânica (6).

(*) Av. Roraima nº 1000 – Campus Universitário – Bairro Camobi – CEP: 97105-900 Santa Maria, RS – Brasil
Tel: (+55 55) 3220-8344 – Fax: (+55 55) 3220-8030 – Email: alexandre.kunkel@gmail.com

Apenas no Rio Grande do Sul, estado que detém 68,9% da produção brasileira de arroz e gera anualmente 1,68 milhões de toneladas de resíduos, estima-se um potencial de geração de potência elétrica de 80 MW (7), o que representaria um índice 50% superior à capacidade instalada atual no Brasil por meio desta biomassa – avaliada em 53,33 MW (3). A disponibilidade da casca de arroz nas próprias indústrias de beneficiamento potencializa a pesquisa e o projeto para implantação de sistemas de minigeração distribuída, tendo em vista o aproveitamento energético da biomassa para geração de potência elétrica.

No que tange às rotas tecnológicas para geração de potência elétrica através da casca de arroz, é possível encontrar trabalhos que aplicam diferentes conceitos para a transformação energética, principalmente ligados aos processos termoquímicos (combustão direta, gaseificação e pirólise) e biológicos (digestão anaeróbica e fermentação celulósica). Os arranjos tecnológicos mais utilizados são: turbina a vapor, turbina a gás, microturbina, células a combustível, motor de combustão alternativo e motor stirling (8).

Por outro lado, na adoção das novas fontes de geração, busca-se a aplicação de conceitos inseridos no desenvolvimento sustentável, visando o equilíbrio econômico, social e ecológico do empreendimento (9). Diversos artigos citam o crescimento da tendência de ponderação de fatores que minimizam os impactos ambientais e sociais na escolha da alternativa tecnológica de geração (10), o que evidencia, portanto, a busca por mecanismos de gerenciamento dos critérios para a seleção. Não obstante, a natureza multidimensional dos objetivos, ora conflitante, torna o planejamento e a tomada de decisão de escolha do arranjo tecnológico uma tarefa complexa.

Portanto, os métodos multicritérios são considerados importantes ferramentas de gestão e auxílio à tomada de decisão. Eles remetem a solução e escolha da alternativa mais satisfatória e harmoniosa, frente a um conjunto de critérios previamente estabelecidos e cenários que incorporam os interesses e preferência do agente de decisão. Com relação à seleção de fontes de minigeração distribuída é possível encontrar pesquisas com a aplicação de métodos compensatórios, desenvolvidos pela escolha americana, como o AHP, além de métodos não compensatórios, desenvolvidos pela escola francesa, como o PROMETHEE, ELECTRE (11). É possível também encontrar trabalhos com métodos híbridos, como o MACBTEH e integração com a lógica *fuzzy* (12).

2.0 - ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ASPECTOS PRINCIPAIS DA METODOLOGIA

Neste artigo foi proposto o desenvolvimento de uma metodologia multicritério para seleção tecnológica de sistemas de minigeração distribuída utilizando a casca de arroz. Desta forma, o principal objetivo constitui-se em encontrar a fonte mais apropriada para geração de potência elétrica diante de seis possíveis alternativas, considerando dez subcritérios de origem técnica, econômica, ambiental e social. Além disso, para a simulação foram criados cenários realísticos e com relevância socioambiental.

Para aplicação da metodologia, inicialmente foram definidas as fontes de minigeração distribuída. Na sequência, foram definidos os critérios de avaliação. Como passo seguinte definiu-se a base de dados, contendo informações com atributos qualitativos e quantitativos dos critérios de cada fonte de geração e estabeleceu-se a estruturação do problema por meio de uma cadeia hierárquica. Por fim foram criados os cenários para a simulação e aplicação do método.

2.1 Fontes de minigeração distribuída

Este artigo avalia as principais fontes de minigeração distribuída utilizando a casca de arroz: turbina a vapor (TV), turbina a gás (TG), microturbina (MT), células a combustível com uso do biogás ou hidrogênio (CC), motor de combustão alternativo (MC) e motor stirling (MS).

2.2 Critérios de avaliação e base de dados

A Tabela 1 apresenta os critérios definidos para avaliação das alternativas tecnológicas, de acordo com a natureza técnica, econômica, social e ambiental, a respectiva identificação e a caracterização do atributo. Já a Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam a base de dados quantitativa e qualitativa, respectivamente, para aplicação da metodologia proposta.

Cada subcritério corresponde a uma determinada característica, de acordo com a sua natureza:

- Eficiência elétrica (EE): refere-se à quantidade útil de energia elétrica fornecida, a partir da fonte primária do biocombustível, ou seja, a eficiência no processo de conversão energética da casca de arroz para geração de potência elétrica.
- Capacidade de geração (CG): refere-se à confiabilidade e adaptabilidade da tecnologia no atendimento constante da demanda elétrica.
- Acesso à tecnologia (AT): avalia qualitativamente a caracterização tecnológica do sistema, ponderando: a taxa de maturidade tecnológica e a sua penetração nos mercados internacionais; a existência de equipamentos e alternativas factíveis e análogas (também chamado de spin off técnico).
- Vida útil (VU): refere-se à estimativa de vida útil da planta.

- Custo de instalação (CI): é composto por todas as despesas relativas ao custo da instalação do empreendimento: compra de equipamentos mecânicos, instalações tecnológicas, interligação à rede elétrica (caso necessário), serviços de engenharia, outros trabalhos de construção.
- Custo de operação e manutenção (O&M): refere-se ao custo de operação (que inclui salários dos funcionários e do próprio funcionamento da usina) e ao custo de manutenção (relacionada às ações corretivas do sistema, quanto para prolongar a vida útil e evitar falhas que podem levar à suspensão de operação).
- Comercialização de Créditos de Carbono (CCC): variável atrelada à redução da emissão de gases poluentes, logo, quanto maior esse índice, maior o benefício econômico.
- Comercialização de subproduto (CS): conforme a tecnologia e a conversão energética associada, há a possibilidade de comercialização de subprodutos, como a casca carbonizada.
- Impactos ambientais (IA): avalia os impactos ambientais relacionadas ao âmbito ecológico e meio ambiente, sob a ótica do aproveitamento bioenergético da biomassa, das alterações climáticas e redução de emissão de gases poluentes.
- Impactos sociais (IS): subcritério que avalia os benefícios sociais referentes à: geração de emprego e geração descentralizada de energia.

TABELA 1 – Identificação dos Critérios para Avaliação das Alternativas

Critério	Subcritério	Identificação	Atributo
Técnico	Eficiência elétrica	EE	Quantitativo
	Capacidade de geração	CG	Qualitativo
	Acesso à tecnologia	AT	Qualitativo
	Vida útil	VU	Quantitativo
Econômico	Custa da instalação	CI	Quantitativo
	Custo de operação e manutenção	O&M	Quantitativo
	Comercialização de Créditos de Carbono	CCC	Qualitativo
	Comercialização de subproduto	CS	Qualitativo
Ambientais	Impactos ambientais	IA	Qualitativo
Sociais	Impactos sociais	IS	Qualitativo

TABELA 2 – Base de dados quantitativa para aplicação da metodologia

Atributo	Quantitativo			
Critérios	EE	VU	CI	O&M
Alternativas	(%)	(anos)	(US\$/kW)	(US\$/kWh)
TV	25	20	1000	0,004
TG	30	15	2000	0,010
MT	28	20	2200	0,009
CC	50	8	6000	0,001
MC	35	20	1200	0,012
MS	30	10	2500	0,014

TABELA 3 – Base de dados qualitativa para aplicação da metodologia

Atributo	Qualitativo (“quanto maior, melhor”)					
Critérios	CG	AT	CCC	CS	IA	IS
Alternativas	(0 a 1)	(0 a 1)	(0 a 1)	(0 a 1)	(0 a 1)	(0 a 1)
TV	0,4	1	0,4	1	0,6	1
TG	0,4	1	0,5	0	0,6	0,9
MT	0,9	0,7	0,45	0	0,65	0,9
CC	0,6	0,4	0,7	0	0,8	0,9
MC	0,9	0,9	0,6	0	0,7	0,9
MS	0,7	0,7	0,5	0	0,6	0,9

2.3 Estruturação do problema

A Figura 1 ilustra a estruturação do problema contemplando os critérios e alternativas para a aplicação do método multicritério de apoio à tomada de decisão.

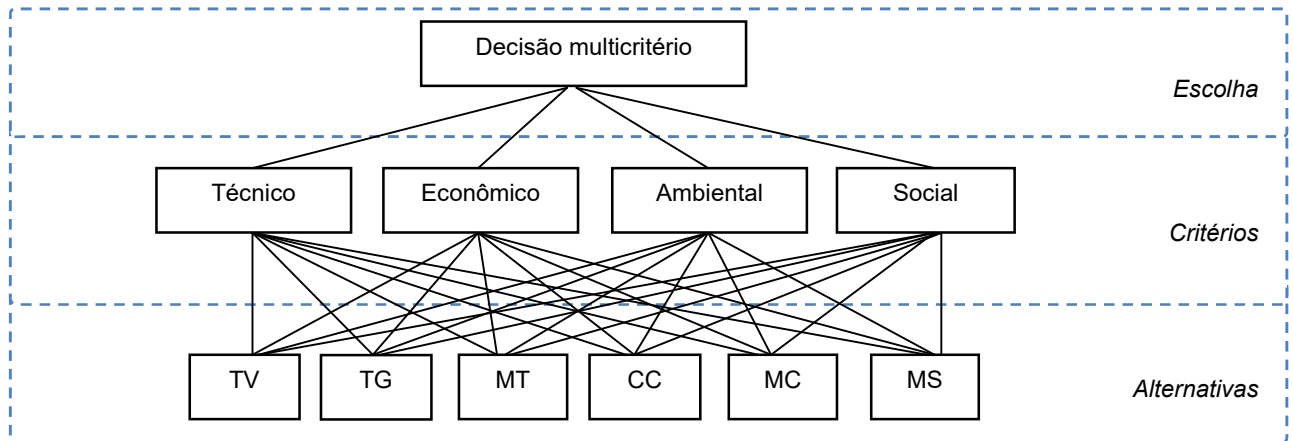


FIGURA 1 – Estruturação do problema por meio de hierarquia

2.4 Classificação por critério de relevância

Foram definidos os critérios realísticos e por relevância socioambiental a fim de estabelecer os cenários para simulação e obtenção de resultados. Desta forma estabeleceu-se:

- Cenário realístico – 1° custo de instalação, 2° custo de operação e manutenção, 3° vida útil, 4° acesso à tecnologia, 5° capacidade de geração, 6° eficiência elétrica, 7° impactos sociais 8° impactos ambientais.
- Cenário socioambiental – 1° impactos ambientais, 1° impactos sociais, 3° eficiência elétrica, 4° vida útil, 5° capacidade de geração, 6° acesso à tecnologia, 7° custo de instalação e 8° custo de operação e manutenção.

3.0 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposto por Saaty (13), é um método compensatório para resolução de problemáticas de ordenação. Sua teoria reflete a tomada de decisão do raciocínio humano, no qual os elementos são distribuídos em grupos, conforme a atribuição das propriedades comuns. Desta maneira, o raciocínio é estruturado em forma de hierárquica, para posteriormente ser tomada uma decisão. O fundamento da análise hierárquica consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios, aproximando-se a uma melhor resposta em função da priorização de seus indicadores. Cada alternativa e critério são avaliados com o grau de importância em relação a outro, estabelecido de acordo com uma escala numérica de valores para comparação, também denominada de peso.

A escolha pela aplicação do método AHP dentre diversas outras opções de análises se deu em função da facilidade de acesso à base teórica, bem como a avaliação das simulações desenvolvidas à cada instância, o que auxilia e colabora para o entendimento dos resultados finais.

3.1 Descrição das etapas

De forma sucinta, a aplicação do método AHP é caracterizada por três etapas.

Na primeira etapa, constrói-se a matriz de comparação paritária (MCP) das alternativas, de acordo com a Equação 1. Todas essas avaliações são realizadas considerando uma escala numérica, conforme ilustra a Tabela 4. Na sequência, calculam-se as prioridades relativas (PR) entre as alternativas, considerando separadamente cada um dos critérios. A PR é obtida através da normalização da matriz, estabelecida por meio da Equação 2, e do cálculo do valor médio, apresentado na Equação 3. Após, verifica-se a coerência do julgamento através do cálculo de razão de consistência (RC). Para calcular esse indicador, o AHP faz uso do índice de consistência (IC), com o intuito de evitar as comparações com alto nível de inconsistência, de acordo com a Equação 4. Por fim, o RC é obtido pela razão entre o IC e o índice aleatório de consistência (IR), conforme estabelece a Equação 5. De acordo com (14), o índice encontrado em RC não deve ter o valor superior a 10%.

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ C_1 & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

onde M representa a matriz de comparação dos critérios, C_1, C_2, C_n indicam o número de critérios de avaliação, a_{ij} é o grau de importância do critério i sobre o critério j .

TABELA 4 – Escala numérica para comparação e julgamentos

Escala numérica	Grau de importância
1	Mesma importância
3	Moderada
5	Forte
7	Muito forte
9	Extremamente importante
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: (13)

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \quad (2)$$

$$w_k = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}^*}{n} \quad (3)$$

onde w_k é o peso do critério k e n o número de critérios.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

onde $\lambda_{\max} - n$ representa o desvio dos julgamentos em relação a consistência e n o valor da ordem da matriz.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5)$$

Na etapa intermediária procede-se da mesma forma matemática como no etapa inicial, porém, desta vez, almeja-se calcular o PR entre todos os critérios, para cada uma das perspectivas em questão.

Finalmente, na última etapa, multiplicam-se os valores das ponderações das alternativas pelas ponderações obtidas em cada critério, considerando separadamente cada perspectiva. Estas multiplicações originam uma nova matriz, onde as células de cada linha devem ser somada, resultando na PR final de cada alternativa. O melhor valor encontrado será a melhor opção tecnológica, ou seja, a opção preferencial do cenário em questão.

3.2 Resultado da aplicação do método

Após a aplicação da metodologia descrita, a Tabela 5 ilustra os pesos entre as alternativas, enquanto que a Tabela 6 apresenta os pesos entre os critérios, nos dois cenários de avaliação. Por fim, a Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam as prioridades relativas finais calculadas (RFW) e a classificação final das alternativas tecnológicas, no cenário realístico e socioambiental, respectivamente.

TABELA 5 – Determinação do peso entre as alternativas

Critério 1 - eficiência energética (RC = 0,08238)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	0,33	0,50	0,11	0,20	0,33	0,05
TG	3,00	1,00	3,00	0,14	0,20	1,00	0,13
MT	2,00	0,33	1,00	0,13	0,20	0,25	0,07
CC	9,00	7,00	8,00	1,00	5,00	7,00	0,76
MC	5,00	5,00	5,00	0,20	1,00	5,00	0,35
MS	3,00	1,00	4,00	0,14	0,20	1,00	0,14
Critério 2 - vida útil (RC = 0,064452)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR

TV	1,00	5,00	1,00	9,00	1,00	7,00	0,42
TG	0,20	1,00	0,20	7,00	0,20	5,00	0,15
MT	1,00	5,00	1,00	9,00	1,00	7,00	0,42
CC	0,11	0,14	0,11	1,00	0,11	0,33	0,04
MC	1,00	5,00	1,00	9,00	1,00	7,00	0,42
MS	0,14	0,20	0,14	3,00	0,14	1,00	0,06
Critério 3 - custo de instalação (RC = 0,077609)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	3,00	5,00	9,00	3,00	5,00	0,61
TG	0,33	1,00	3,00	5,00	0,50	3,00	0,24
MT	0,20	0,33	1,00	6,00	0,25	2,00	0,14
CC	0,11	0,20	0,17	1,00	0,13	0,14	0,04
MC	0,33	2,00	4,00	8,00	1,00	4,00	0,35
MS	0,20	0,33	0,50	7,00	0,25	1,00	0,12
Critério 4 - custo de operação e manutenção (RC = 0,06519)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	5,00	5,00	0,33	7,00	7,00	0,40
TG	0,20	1,00	0,50	0,13	2,00	4,00	0,11
MT	0,20	2,00	1,00	0,14	3,00	4,00	0,15
CC	3,00	8,00	7,00	1,00	9,00	9,00	0,72
MC	0,14	0,50	0,33	0,11	1,00	3,00	0,07
MS	0,14	0,25	0,25	0,11	0,33	1,00	0,04
Critério 5 - capacidade de geração (RC = 0,058709)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	1,00	0,14	0,20	0,14	0,17	0,05
TG	1,00	1,00	0,14	0,20	0,14	0,17	0,05
MT	7,00	7,00	1,00	5,00	1,00	3,00	0,49
CC	5,00	5,00	0,20	1,00	0,20	0,33	0,16
MC	7,00	7,00	1,00	5,00	1,00	3,00	0,49
MS	6,00	6,00	0,33	3,00	0,33	1,00	0,25
Critério 6 - eficiência energética (RC = 0,050882)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	1,00	5,00	9,00	3,00	5,00	0,49
TG	1,00	1,00	5,00	9,00	3,00	5,00	0,49
MT	0,20	0,20	1,00	5,00	0,25	1,00	0,11
CC	0,11	0,11	0,20	1,00	0,14	0,20	0,04
MC	0,33	0,33	4,00	7,00	1,00	4,00	0,26
MS	0,20	0,20	1,00	5,00	0,25	1,00	0,11
Critério 7 - impactos ambientais (RC = 0,008391)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	1,00	0,50	0,20	0,33	1,00	0,11
TG	1,00	1,00	0,50	0,20	0,33	1,00	0,11
MT	2,00	2,00	1,00	0,33	0,50	2,00	0,21
CC	5,00	5,00	3,00	1,00	3,00	5,00	0,64
MC	3,00	3,00	2,00	0,33	1,00	3,00	0,32
MS	1,00	1,00	0,50	0,20	0,33	1,00	0,11
Critério 8 - impactos sociais (RC = 0)							
	TV	TG	MT	CC	MC	MS	PR
TV	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,56
TG	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19
MT	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19
CC	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19
MC	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19
MS	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,19

TABELA 6 – Peso entre os critérios

Cenário 1 - realístico											
	EE	IS	VU	CI	O&M	CCC	CS	CG	AT	IA	PR
EE	1,00	3,00	2,00	0,17	0,13	0,14	0,20	0,50	0,25	0,33	0,030
IS	0,33	2,00	1,00	0,14	0,13	0,13	0,14	0,25	0,17	0,20	0,019
VU	0,50	2,00	1,00	0,14	0,13	0,13	0,17	0,33	0,20	0,25	0,022
CI	6,00	7,00	7,00	1,00	0,25	0,33	2,00	5,00	3,00	4,00	0,139
O&M	8,00	8,00	8,00	4,00	1,00	3,00	4,00	7,00	5,00	6,00	0,283

CCC	7,00	8,00	8,00	3,00	0,33	1,00	3,00	6,00	4,00	5,00	0,199
CS	5,00	7,00	6,00	0,50	0,25	0,33	1,00	4,00	2,00	3,00	0,109
CG	2,00	4,00	3,00	0,20	0,14	0,17	0,25	1,00	0,33	0,50	0,043
AT	4,00	6,00	5,00	0,33	0,20	0,25	0,50	3,00	1,00	2,00	0,081
IA	3,00	5,00	4,00	0,25	0,17	0,20	0,33	2,00	0,50	1,00	0,059
Cenário 2 - socioambiental											
	EE	IS	VU	CI	O&M	CCC	CS	CG	AT	IA	PR
EE	1,00	0,20	0,33	4,00	6,00	6,00	5,00	5,00	6,00	6,00	0,108
IS	5,00	1,00	4,00	7,00	9,00	9,00	7,00	8,00	9,00	9,00	0,254
VU	3,00	0,25	1,00	5,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	0,145
CI	0,25	0,14	0,20	1,00	5,00	5,00	4,00	4,00	5,00	5,00	0,075
O&M	0,17	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	0,25	0,33	0,50	0,50	0,016
CCC	0,17	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	0,14	0,33	0,50	0,50	0,016
CS	0,20	0,14	0,17	0,25	4,00	7,00	1,00	3,00	3,00	3,00	0,054
CG	0,20	0,13	0,17	0,25	3,00	3,00	0,33	1,00	2,00	2,00	0,033
AT	0,17	0,11	0,14	0,20	2,00	2,00	0,33	0,50	1,00	1,00	0,023
IA	0,17	0,11	0,14	0,20	2,00	2,00	0,33	0,50	1,00	1,00	0,023

TABELA 7 – Classificação final das alternativas: cenário realístico

Fontes	RFW	Classificação
TV	0,214	1º
TG	0,094	5º
MT	0,117	3º
CC	0,105	4º
MC	0,170	2º
MS	0,065	6º

TABELA 8 – Classificação final das alternativas: cenário socioambiental

Fontes	RFW	Classificação
TV	0,067	3º
TG	0,051	5º
MT	0,064	4º
CC	0,105	1º
MC	0,100	2º
MS	0,048	6º

4.0 - CONCLUSÃO

Conclui-se que a casca de arroz é uma alternativa viável para geração descentralizada de energia e as técnicas multicritério de apoio à decisão apontam para a solução harmoniosa, frente aos critérios expostos e as possíveis alternativas tecnológicas. As opções de maior relevância do problema descrito, considerando o cenário realístico e socioambiental, foram: turbina a vapor e célula a combustível, respectivamente. Os resultados atingidos com a utilização do método AHP mostraram-se satisfatórios, uma vez que as considerações observadas em (14) foram atendidas.

Neste artigo foram consideradas as análises de empreendimentos voltados à minigeração distribuída utilizando a casca de arroz, no entanto poderiam ser avaliados empreendimentos que fazem uso de outros tipos de biomassa residual através da mesma metodologia. É válido ressaltar também que os cenários foram previamente traçados buscando-se incorporar a influência dos *stakeholders* na tomada de decisão. Além disso, é importante destacar a necessidade da constante revisão dos dados técnicos referente às alternativas tecnológicas. Tais medidas contribuem para a confiabilidade do gerenciamento e seleção das alternativas.

Como continuidade de trabalho, está sendo elaborada a modelagem matemática para estimar o real potencial de geração distribuída, de acordo com a oferta disponível da biomassa residual, considerando também as alternativas tecnológicas para avaliação da geração conjunta de potência elétrica e térmica – cogeração de energia.

5.0 - REFERÊNCIAS

(1) FARRET, F.A; SIMOES, M.G. Integration of Alternative Sources of Energy, New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.

- (2) HADDAD, J.; BOROTNI, E.C.; DIAS, M.V.X. Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras, Revista Brasileira de Energia, vol 11, nº 2, SBPE, 2005, disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/socios/download.php?id=187>> Acesso em fevereiro 2016.
- (3) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração (BIG). <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 18 de março de 2019.
- (4) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2015.
- (5) MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Projeção do Agronegócio: Brasil 2017/2018 a 2027/2028 projeções de longo prazo. Brasília: MAPA, 2018.
- (6) DINIZ, J. Conversão térmica da casca de arroz abaixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso absorvente. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- (7) MAYER, F.D; HOFFMANN, R. Quantification and use of rice husk in decentralized electricity generation in Rio Grande do Sul State, Brazil. Clean Techn Environ Policy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- (8) LIM, J.S. A review on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy. Clean Techn Environ Policy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Series 4, nº 20, 2012.
- (9) REIS, L. B.; FADIGAS, E. A.; CARVALHO, C.E. Energia, Recursos Naturais e Prática do Desenvolvimento Sustentável. Barueri: Manole, 2ª ed., 2012.
- (10) ANTUNES, C. H.; MARTINS, A. G. Multi-Objective Optimization and Multi-Criteria Decision Analysis in the Energy Sector (part II – MCDA). European Working Group “Multiple Criteria Decision Aiding”; Series 3, nº 29, Spring, 2014.
- (11) TAHA, R. A.; DAIM, T. Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis, a Literature Review. Research and Technology Management in the Electricity Industry, Green Energy and Technology, London, 2013.
- (12) BARIN, A. Seleção de sistemas de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos: uma abordagem com a lógica difusa. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- (13) SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Rio de Janeiro: Makron Books do Brasil Editora Ltda e Editora McGraw-Hill do Brasil, 1991.
- (14) SAATY, T. L. Decision Making With Dependence and Feedback: The Analytic Network. EUA: RWS Publications, 1996.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Alexandre Kunkel da Costa é bacharel em Engenharia Elétrica e pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí), respectivamente em 2013 e 2016; mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em 2017. Atualmente é Engenheiro Eletricista da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), professor de engenharia na Faculdade Horizontina (FAHOR) e doutorando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).



Felix Alberto Farret é bacharel e mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, respectivamente em 1972 e 1976; especialista em instrumentação eletrônica pelo Osaka Prefectural Industrial Research Institute, Japão, em 1975; MSc pela Universidade de Manchester, UMIST, Inglaterra em 1981; PhD em Engenharia Elétrica pela Universidade de Londres, Imperial College, Inglaterra em 1984 e Pós-Doutorado em fontes alternativas de energia na Colorado School of Mines, EUA em 2003.