

Avaliação sustentável de propostas de fontes de energias renováveis para a cidade de Saurimo

Evaluation of the implementation of an electric power generation system based on renewable energy sources for the city of Saurimo

Flávio Altino Buqui^{1*}, José Eduardo Márquez Delgado²

¹ Engenheiro Eléctrico. flaviobuquialtino@gmail.com

² Dr.C. Professor Titular. Universidad de Granma. Cuba. jemarquezd69@gmail.com

*Autor para correspondência: flaviobuquialtino@gmail.com

RESUMO

Realizou-se uma avaliação da implementação de um sistema de geração de energia eléctrica, apoiado em fontes de energias renováveis, para a cidade de Saurimo. Partindo de uma ampla revisão bibliográfica sobre a geração de energia eléctrica com fontes de energias renováveis assim como dos indicadores energéticos de sustentabilidade da mesma. Posteriormente apresentaram-se os principais elementos para a instalação de energia solar, eólica e de biomassa em Saurimo. Avaliaram-se os índices de geração de energia eléctrica das fontes de energias renováveis apresentadas para a cidade de Saurimo a partir de indicadores energéticos de sustentabilidade. A avaliação económica realizada, evidenciou as possibilidades reais de implementar as propostas fotovoltaicas e de biomassa, assim como a não viabilidade da proposta eólica. Finalmente os indicadores de sustentabilidade demonstraram a importância económica, social e ambiental destas futuras centrais geradoras de energia eléctrica inexistentes ainda na cidade de Saurimo.

Palabras clave: energias renováveis, sustentabilidade e geração de energia eléctrica.

ABSTRACT

In this work was carried out an evaluation of the implementation of an electric power generation system based on renewable energy sources for the city of Saurimo. Starting from a wide bibliographical review on the electric energy generation and sustainability indicators of the same. Subsequently were presented the main elements for the installation of solar, wind and biomass energy in Saurimo. Then, the indices of electricity generation from renewable energy sources presented for the city of Saurimo were evaluated based on energy sustainability indicators. The economic evaluation carried out evidenced the real possibilities of implementing the photovoltaic and biomass proposals, as well as the non-viability of the wind proposal. Finally, the sustainability indicators demonstrated the economic, social and environmental importance of these future generations in the city off Saurimo.

Keywords: Renewable energy sources, sustainability and electricity generation.

INTRODUÇÃO

Ao analisar o interpretado por (Pitra, 2016), Angola, país actualmente com grande crescimento económico, não nos podemos alhear das questões do desenvolvimento energético, tendo em conta, factos e adversidades hoje vividas não só a nível nacional como internacional.

Continua analisando (Pitra, 2016), que Angola é um país que apresenta um défice grande de energia, 140 kWh/por habitante, o que a coloca atrás da média de consumo per-capita em África. Estima-se que em Angola apenas 30% da população tem acesso a energia, sendo que, dentro destes consumidores, 70% vivem na capital do país.

A cidade de Saurimo não escapa a esta problemática, conta na actualidade com um sistema de geração de energia eléctrica muito limitado quanto à capacidade de potência e com uma participação quase total de recursos fósseis, entenda-se por recursos convencionais como o petróleo, portanto, o fazer um estudo sobre as fontes de energias renováveis ampliará os conhecimentos para implementar um possível sistema de geração, e cujo âmbito foi pouco explorado.

Ao olhar toda esta informação, chega-se ao ponto em que se devem desenvolver muito mais as investigações sobre o uso destas energias e seu potencial, nesta província, elemento infelizmente pouco aproveitado ainda. Agora, como avaliar a implementação de fontes de energias renováveis na cidade de Saurimo desde indicadores de sustentabilidade? Problema a resolver nesta investigação.

DESENVOLVIMENTO

Proposta fotovoltaica.

Tabela 1. Valores de radiação solar global em Saurimo Wh/m²/d em plano horizontal.

Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Méd Wh/m ² /d	5120	5320	5150	5550	5940	5870	5970	6320	6120	5950	5350	5720

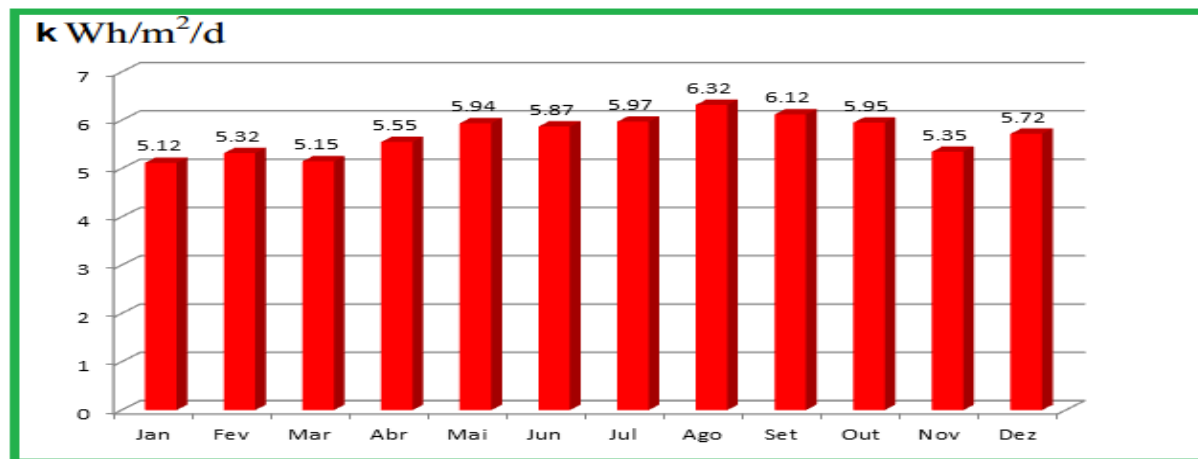


Figura 1. Valores de radiação solar global em Saurimo kWh/m²/d em plano horizontal.

Como se observou anteriormente, a cidade de Saurimo é uma região com boa irradiação solar anual, o que torna este território um local propício para a geração de energia solar fotovoltaica.

Desenhou-se um sistema de 7.5 MW.

$$E_{\text{dia-máx}} = \frac{\text{Consumo diário objectivo}}{n_{\text{inversor}} \times n_{\text{bateria}} \times n_{\text{cabos}}}$$

$$E_{dia-m\acute{a}x} = \frac{7500 \text{ kWh/d}}{0.90 \times 0.85 \times 0.99} = 9903.60 \text{ kWh/d}$$

$$P_{min} = \frac{9903.60 \text{ kWh} \times 1 \text{ kWm}^2}{5.0 \text{ kWh/dia} \times 0.6} = 3301 \text{ kWp}$$

$$P_{real} = 1,2 P_{m\acute{i}n} P_{real} = 3961.2 \text{ kW}$$

$$N_{p\acute{a}neis \text{ m}\acute{i}n} = \frac{3301 \text{ kWp}}{0,300 \text{ kWp/painel}}$$

$$N_{p\acute{a}neis \text{ m}\acute{i}n} = 11004$$

$$N_{p\acute{a}neis} = 25000$$

$$N_{conversores} = \frac{7500}{200 \text{ kW/conversor}} = 38.$$

$$N_{banco \text{ de baterias}} = \frac{C_{min \text{ bateria}}}{C_{bateria}}$$

$$N_{baterias} = 6 \times \frac{4800}{12} = 2400$$

Data de conversão do USD a Akz 29 de dezembro de 2021. (1- 564).

Tabela 2. Lista de painéis solares.

Importador/Fabricante	Modelo referência	Potência (W)	País de fabricação	Quantidade mínima necessária	Custo (Akz)
<u>NICOMAR /POWER</u>	PC/300/310	300	Panamá	25000	950000000

Fonte: (Dados tirados dos manuais dos respectivos fabricantes, www.elporvenir.com).

Tabela 3. Lista de baterias caso de estudo.

Importador Fabricante	Modelo referência	Voltagem V/Capacide	País de fabricação	Quantidade mínima necessária	Custo (Akz)
<u>GREENCOL/TBPLUS</u>	<u>BATERIA GEL</u> 12 V DC	12 –250 AH	Colômbia	2400	86520000

Fonte: (Dados tirados dos manuais dos respectivos fabricantes). (www.conerme.com, www.templatemonster.com).

Tabela 4. Lista de conversores.

Importador/ Fabricante	Modelo referência	Potência kW Voltagem V	País de fabricação	Quantidade mínima necessária	Custo Akz
R&M/POWER	Titan híbrida monofásica	2,4/24	Panamá	38	38105000

Fonte: (Dados tirados dos manuais dos respectivos fabricantes: www.sitecnosolar/. www.placas-solares).

Os custos projectados da proposta resumem-se na tabela 5; realizaram-se cotações em países do estrangeiro e considerou-se o dólar dos Estados Unidos como referência com data do dia 29 de dezembro de 2021 com um valor de mudança de 1 USD/564 Akz.

Custos projectados = custos fixos + custos variáveis

Tabela 5. Custos fixos da proposta FV.

Elemento	Descrição	Valores Akz
Salários	Engenheiros de projecto (4)	1400000
Salários	Engenheiros de desenho (2)	800000
Salários	Técnicos mecânicos e eléctricos (6)	1400000
Salários	Técnicos para corte, montagem e instalação de suportes e ancoragens (20)	1200000
Transporte	Componentes e insumos	1000000
Viáticos	Alimentação e hospedagem	450000
Total	-----	6250000

O investimento é de um total de 1.080875e9 Akz ou 1916445.04 USD.

Os ganhos da proposta apoiam-se na energia gerada por horas sol e a venda de kWh à empresa de distribuição de energia ENDE com um valor médio de 11 Akz por todos os kW consumidos ainda sem incluir a depreciação e os impostos.

$$G_{Am} = E_{gerada} \times \text{horas sol/ano} \times \text{Venda do kWh/Akz}$$

$$G_{Am} = 7500 \text{ kW} \times 4307 \text{ h} \times 11 \text{ Akz/kWh}$$

$$G_{Am} = 355327500 \text{ Akz}$$

$$\text{Retorno do investimento} = \frac{1.080875e9}{355327500}$$

$$\text{Retorno do investimento} = 3.04 \text{ Anos}$$

$$\text{Retorno do investimento} = \text{três anos}$$

Payback: Determinou que o investimento fosse pago em três anos.

Dado que TIR > TMA, proposta viável; 25.5% > 10%.

Dado que VPL > 0, proposta viável.

Proposta eólica.

Dá posição de (González, 2009), quando se instalam este tipo de sistemas, busca-se maximizar os impactos ambientais positivos e minimizar os negativos.

Os custos de instalar um sistema de energia eólica são fictícios, já que até o momento não se fez repercutir sobre eles as determinadas “externalidades”, como o são os efeitos de aquecimento global, chuva ácida, contaminação atmosférica e refugos radioactivos que acompanham às tecnologias de produção energética que mais se utilizam no momento.

Decidiu-se usar estes dados devido à ausência de registos históricos eólicos em Saurimo. Na tabela 6 se apresentaram os valores médios, máximos e mínimos dos médios de velocidade do vento (m/s) de cada mês do ano compreendidos entre os anos 200 até 2020. Ver figura 2.

Tabela 6. Valores médios de velocidade do vento (m/s) de Saurimo.

Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd Anual
Méd	2.1	2.2	2.3	2.1	2.2	2.5	2.5	2.6	2.3	2.1	2.0	2.2	2.25
Máx	3.0	3.2	3.1	2.6	2.9	3.3	3.8	4.2	3.8	3.1	3.1	3.1	3.26
Mín	1.5	1.6	1.6	1.4	1.5	1.8	2.0	1.7	1.3	1.2	1.3	1.3	1.51

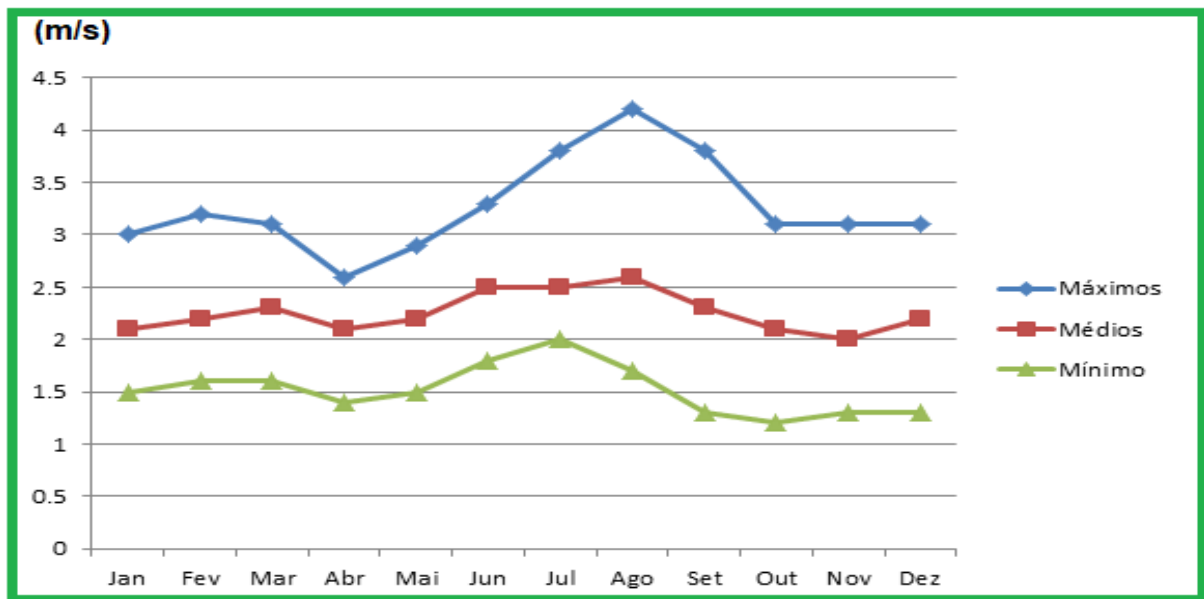


Figura 2. Valores médios mensais de velocidade do vento em Saurimo.

Do ponto de vista de (Martínez Forero, 2016), deve-se ter em conta que para ter uma quantidade de energia eólica que se use como referência, deve-se utilizar a relação de Energia Anual de Saída (EAS) representada a seguir.

$$EAS = \left(\frac{P}{A} \right) \times Ax(n) \times 8760 \frac{h}{ano} / \left(1000 \frac{W}{kW} \right)$$

Onde:

EAS: é a Energia Anual de Saída em kWh/ano.

(P/A): é a densidade anual de potência W/m².

A: É a área de varrido da turbina em m².

n: É a eficiência do processo.

Para calcular o valor do P/A usou-se a seguinte relação:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \times (\text{densidade do ar}) \times (FC) \times V^3$$

Onde:

A densidade do ar em Saurimo é de 1.293 kg/m³.

FC é o factor cúbico de 1.91.

V é o valor da velocidade anual do vento, sendo este o valor médio da média multianual de velocidade do vento de 2.25 m/s.

Com estes valores chega-se ao valor do P/A de 14.06.

Para achar o valor de n utilizou-se a seguinte relação:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

$$P = 14.80 \text{ W}$$

Onde:

ρ : É a densidade do ar no kg/m^3 .

A : É a área de varrido da turbina em m^2 .

V : é o valor da velocidade anual do vento, sendo este o valor médio do médio multianual de velocidade do vento de 2.25 m/s, estando elevada ao cubo.

Com o valor de P se obteve a potência do aerogerador, e este valor se usou como divisor para o valor da potência nominal do modelo do aerogerador proveniente da ficha técnica, usando-o para obter n , a eficiência do processo.

Com os dados de (Rewindagic), o aerogerador que se usou para calcular o potencial eólico foi um modelo de eixo vertical Rewindagic 600 W com diâmetro de rotor de 1.6 m e altura de rotor de 1.8 m, velocidade nominal do vento de 10 m/s, velocidade de arranque de 1.5 m/s e potência nominal de 600 W.

Tendo um valor do P/A de 14.06 W/m^2 , chegou-se a um valor de Energia Anual de Saída de 2955.98 kWh/ano por cada unidade se houvessem 24 horas de vento, mas como a quantidade de horas de vento segundo os dados adoptados (horas de brilho solar) é de 4.47 horas de vento a energia se poderia obter é de 550.55 kWh/ano.

A quantidade necessária para gerar a energia seria de 206 unidades gerando 2966.40 kWh/ano com 24 horas de vento ao dia, e ao dividir essa quantidade de energia sobre as 8760 horas do ano, gerou uma potência de 0.33 kW.

Com 4.47 horas de vento ao dia seriam necessárias 1100 unidades gerando 2950.20 kWh/ano, depois de dividir o valor de energia pelo de 1631.55 horas (de multiplicar 4.47 horas de vento pelos 365 dias do ano) obteve-se uma potência de 1.80 kW.

Com apoio em que o diâmetro de rotor do aerogerador é de 1.6 m, e a altura do mesmo é de 1.8 m, obteve-se uma superfície de varrido de 2.88 m^2 , ocupando-se em total para as 206 unidades que se requereriam com 24 h de vento uma superfície de varrido de 593.28 m^2 , para as 1100 unidades das 4.47 horas de vento uma superfície de 3.168 m^2 .

Proposta de biomassa.

A determinação de quantidades de matéria orgânica esteve enfocada nos possíveis resíduos obtidos do processo de poda de zonas verdes do município. Fez-se antes uma simulação dos diferentes tipos de resíduos sólidos biodegradáveis da zona. Ver tabela 7 e figura 3.

Tabela 7. Geração simulada de resíduos sólidos biodegradáveis.

Tipo	Quantidade (kg/semana)	Quantidade (kg/mês)	Porcentagem do total (%)
Resíduos de pastos.	350	1400	58.33
Resíduos de (folhas, ramos, folhas varrido e pasto podado).	150	600	25
Resíduos comida fresca.	85	340	14.16
Resíduos comida cozinhada.	15	60	2.5
Totais	600	2400	100

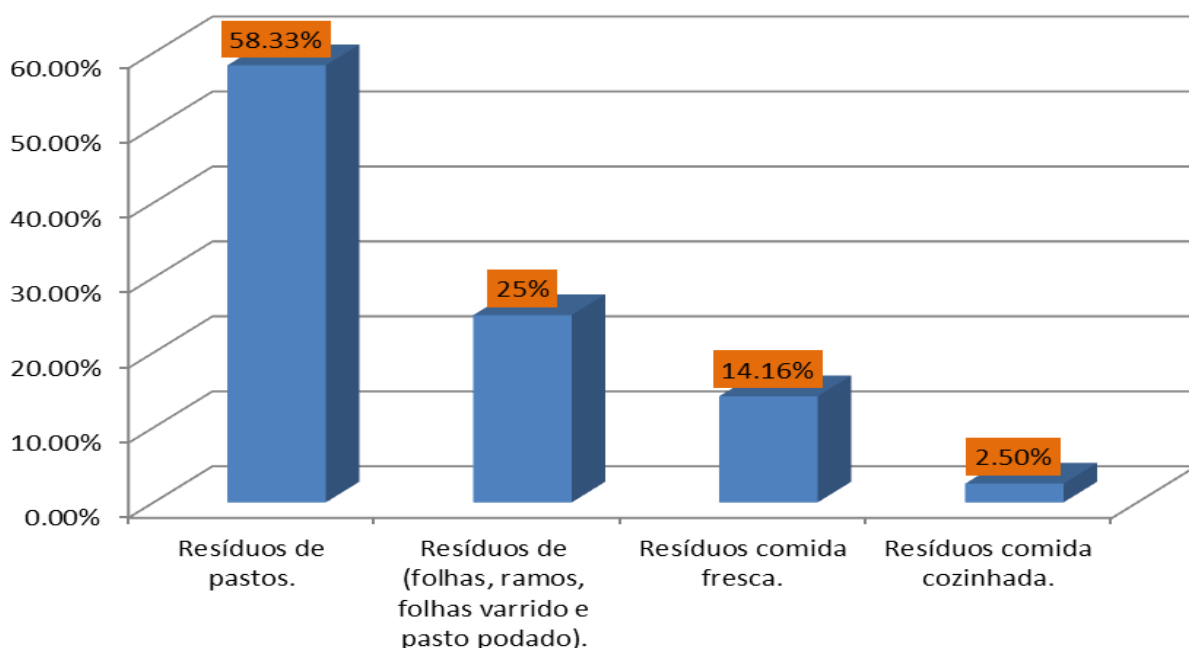


Figura 3 Percentagem de geração simulada de resíduos sólidos biodegradáveis em Saurimo.

De acordo aos resultados da figura 3, as percentagens mais altas de geração de resíduos sólidos pertenceram aos resíduos de pasto, e os resíduos de folhas, ramos, folhas varrido e pasto podado.

Assumindo-se isto, para avaliar o potencial energético a partir da biomassa, dever-se-iam considerar os três primeiros mencionados anteriormente.

Cálculo energético da biomassa.

Com a informação adquirida sobre os registos simulados da biomassa em Saurimo de 2400 kg/mês, mais os resultados empíricos obtidos de estudos anteriores de laboratório onde se calculou o poder calorífico, fizeram-se os cálculos energéticos.

Para calcular a energia gerada considerou-se o seu poder calorífico de 4000 kcal/kg convertendo-os em kJ/kg tomando como base $1 \text{ kcal} = 4.1868 \text{ kJ}$ dando uma quantidade de 16747.20 kJ/kg.

Calculou-se a energia multiplicando a quantidade de 2400 kg/mês pelo poder calorífico, dando como resultado uma quantidade de energia de 40193.28 kJ/mês que foram 11173.73 kWh/mês ou uns 134084.78 kWh/ano.

Cabe esclarecer que esta quantidade de energia gerada de 134084.78 kWh/ano seria o valor de aproveitamento aos 100%, já que ao usar algum método de extracção poderia gerar-se ainda menos energia.

De acordo com (Wark, 1991), devido ao baixo poder calorífico do pasto, o método mais conveniente de extracção de energia seria o de combustão directa, o qual dá uma eficiência de energética de 90%.

Seria energia térmica, a qual para a sua conversão em energia eléctrica requereria de uma caldeira, fazendo com que haja 90% de energia da combustão, e uma turbina, a qual suportaria uma perda abrupta de energia, havendo 40% de eficiência de a caldeira. Os cálculos de eficiência se apresentam na tabela 8.

Tabela 8. Eficiência de energia de biomassa.

Elementos	Eficiência (%)	Energia	Unidades
Energia teórica	100	134 084,78	kWh/ano
Combustão directa	90	120 067,30	kWh/ano
Caldeira	90	108 060,57	kWh/ano
Turbina	40	43 224,22	kWh/ano

Segundo (Rojas Zerpa, 2012), os métodos Promethees foram criados para ajudar os decisores em problemas de selecção, ordenando alternativas, as quais estariam submetidas a uma avaliação multicritério.

Por outra parte e de acordo com (Fernandez, 2002), para os métodos Promethees, a existência de alternativas incomparáveis resulta plausível, isto devido a muitas alternativas de um problema multicritério são incomparáveis entre elas. Portanto resulta lógico demonstrar abaixo quais os critérios e as alternativas que são mais eficientes.

Os critérios a avaliar para este estudo são os de tendência na implementação de fontes de energias renováveis, utilizados por muitos autores entre eles, (Brans et al., 1986), (Sultana e Kumar, 2012), e (De Matos Abreu, et al., 2019).

Potencialidade.

Este critério avalia a potencialidade de implementação da fonte de energia, a capacidade de realização e viabilidade para a região. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.

Estabilidade na geração.

Este critério avalia a estabilidade da geração de cada fonte de energia, o quanto esta fonte é capaz de fornecer estabilidade no fornecimento de energia para um sistema. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.

Viabilidade económica.

Este critério avalia a viabilidade económica de cada fonte, considerando os custos de implantação, manutenção e geração de energia. É um critério de minimização, ou seja, quanto menor melhor.

Viabilidade técnica.

Este critério avalia a viabilidade técnica de cada fonte, considerando a viabilidade da infraestrutura e operacional de cada fonte de energia. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.

Impactos ambientais.

Este critério avalia os impactos ambientais de cada fonte de energia, ou seja, as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente com a implantação e geração dessas fontes. É um critério de minimização, ou seja, quanto menor melhor.

Impactos sociais.

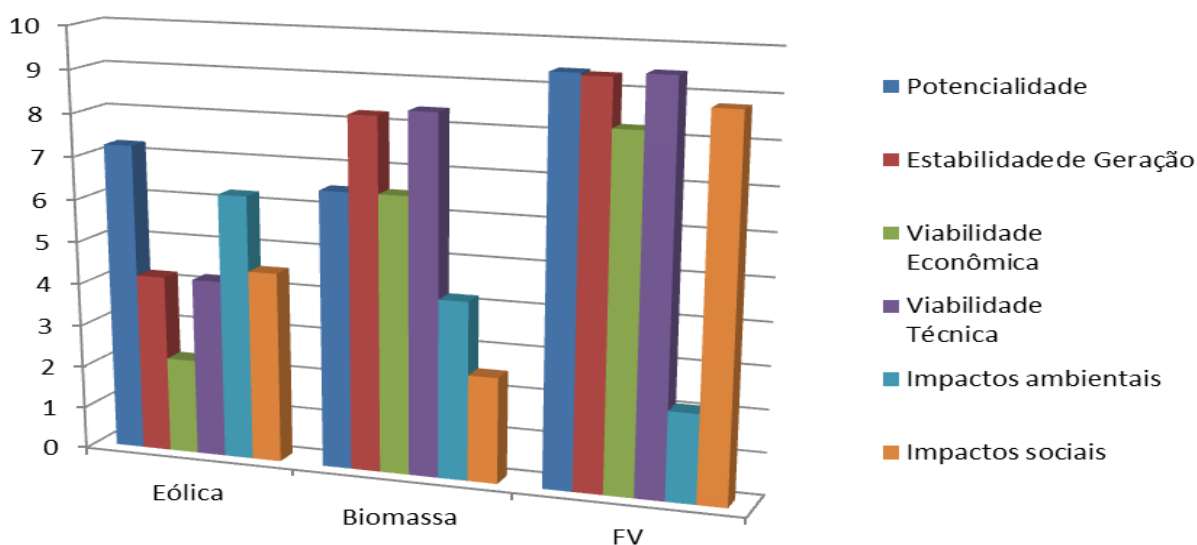
Este critério avalia os impactos sociais de cada fonte de energia, ou seja, o quanto cada fonte tanto na implantação e geração pode transformar positivamente e mensurável ambiente do local ou no máximo alcance. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.

Os autores deste trabalho decidiram utilizar para cada critério o mesmo peso. Ver a tabela 9 a seguir. Ver tabela a seguir.

Tabela 9. Pagamento das propostas ou alternativas.

Crítérios/ Propostas	Potencialidade	Estabilidade de Geração	Viabilidade Econômica	Viabilidade Técnica	Impactos Ambiental	Impacto Social
Eólica	7.25	4.20	2.25	4.20	6.25	4.50
Biomassa	6.50	8.25	6.50	8.40	4.20	2.50
FV	9.40	9.35	8.25	9.45	2.10	8.80

A representação gráfica dos resultados dos critérios segundo os dados dos especialistas na figura 4 a seguir.

**Figura 4. Representação gráfica dos resultados dos critérios segundo os dados dos especialistas.**

Produto dos resultados negativos adquiridos se exclui a proposta eólica, a partir deste momento os resultados de sustentabilidade a comparar se centram nas propostas fotovoltaicas e de biomassa.

Finalmente pode-se certificar que os resultados obtidos no estudo de avaliação realizado pelos especialistas concordam com os resultados obtidos nas propostas, e demonstrando a idoneidade da proposta fotovoltaica como a mais acertada para implementar em Saurimo, embora a proposta de biomassa ainda com carência de potencialidade oferece resultados sustentáveis também.

CONCLUSÕES

Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a geração de energia eléctrica apoiada em fontes de energias renováveis e indicadores energéticos de sustentabilidade das suas implementações. Apresentaram-se os principais elementos para a implementação de propostas de energia solar, eólica e de biomassa em Saurimo. Avaliaram-se os índices de implementação de cada proposta utilizando o método Promethee II além dos indicadores energéticos de sustentabilidade seleccionados, e se demonstrou a não viabilidade da proposta eólica e confirmando a proposta fotovoltaica como a mais sustentável de implementar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brans, J. P., Vincke, P.H., e Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, v. 24, n. 2, p. 228–238.
- De Matos Abreu, L., Erthal, M. J., Rego Monteiro da Hora, H., Luiz Melo de Souza, C., e Azevedo dos Santos, W. (2019). Análise multicritério de potencialidades para a produção de energia renovável

na região norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro. XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro de 06 a 08 de novembro de 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br>. Acesso: outubro de 2021.

Fernandez G. M. (2002). Os Métodos Promethees: Uma Metodologia de Ajuda a Tira de Decisões Multicritérios Discretas. Disponível em: www.scholar.google.com. Acesso: janeiro de 2022.

González, J. (2009). Energias renováveis. Barcelona: Editorial Reverte. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org>. Acesso: janeiro de 2022.

Martínez Forero, A. F. (2016). Viabilidade de Implementação de um Sistema de Geração de Potência Descentralizado Apoiado em Recursos Renováveis na Universidade Livre Sede Bosque Popular. Disponível em: <https://www.repository.unilibre.edu.co>. Acesso: janeiro de 2022.

Pitra, M. G. C. (2016). Energias renováveis em Angola situação actual e perspectivas. Disponível em: <https://www.relop.aorg> https://www.relop.org/files/eventos/201205/Maria%20Graciette%20Pitra_MINEA_01062012.pdf. Acesso: janeiro de 2022.

Rewindagic. Disponível em: www.marmenor.es. Acesso: dezembro de 2021.

Rojas Zepa, J. C. (2012). Planejamento do Fornecimento Eléctrico em Áreas Rurais de Países em Vias de Desenvolvimento: Um Marco de Referência para a Tira de Decisões. Universidade de Zaragoza. Espanha.

Sultana, A., e Kumar, A. (2012). Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors. Biomass and Bioenergy. Biorefinery. v. 39, p. 344–355.

Wark, K. (1991). Termodinâmica. México: McGraww Hill Interamericana de México. S.A. Disponível em: www.elsolucionario.org. Acesso: outubro de 2021.

www.elporvenir.com. Acesso: janeiro de 2022.

www.coeptum.pt. Acesso: janeiro de 2022.

www.solartechpower.com. Acesso: janeiro de 2022.

www.sitecnosolar.com. Acesso: janeiro de 2022.

www.templatemonster.com. Acesso: janeiro de 2022.

www.placas-solares.net. Acesso: maio de 2021.

www.conermex.com.mx. Acesso: junho de 2021.

Síntese curricular dos autores

Mestrando **Flávio Altino Buqui**: Engenheiro Eléctrico, Mestrando em Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental do Instituto Politécnico da Lunda-Sul, para a obtenção do Título Académico de Mestre em Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental.

José Eduardo Márquez Delgado: Dr.C. Professor Titular. Universidad de Granma, Cuba. MSc. en Diseño y Fabricación Asistidos por Computadora (CAD/CAM). Actualmente en colaboración en el Instituto Politécnico da Lunda Sul, Universidade Lueji A'Nkonde, Saurimo, Angola.