

Avaliação da Viabilidade de Implementação de Sistemas Híbridos Renováveis para o Acesso de Energia na Região Amazônica

Nascimento, Bárbara Zon; Catelan, Thais Caliman; Diniz Chaves, Gisele de Lorena; Celeste, Wanderley Cardoso

Avaliação da Viabilidade de Implementação de Sistemas Híbridos Renováveis para o Acesso de Energia na Região Amazônica

Research, Society and Development, vol. 8, núm. 10, 2019

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662201044>

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i10.1415>



Este trabalho está sob uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

Avaliação da Viabilidade de Implementação de Sistemas Híbridos Renováveis para o Acesso de Energia na Região Amazônica

Evaluation of the Viability of Implementation of Renewable Hybrid Systems for Energy Access in the Amazon Region

Evaluación de Viabilidad para la Implementación de Sistemas Híbridos Renovables para el Acceso a la Energía en la Región Amazónica

Bárbara Zon Nascimento barbarazon@hotmail.com
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0001-8768-078X>

Thais Caliman Catelan thais_cali@hotmail.com
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0002-4166-9347>

Gisele de Lorena Diniz Chaves gisele.chaves@ufes.br
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0001-6359-9063>

Wanderley Cardoso Celeste wanderley.celeste@ufes.br
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0002-1121-937X>

Research, Society and Development, vol. 8, núm. 10, 2019

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Recepção: 15 Julho 2019

Revised: 29 Julho 2019

Aprovação: 07 Agosto 2019

Publicado: 24 Agosto 2019

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i10.1415>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662201044>

Resumo: A Região Amazônica é caracterizada por ter uma floresta densa e heterogênea, rios caudalosos e extensos, os quais dificultam o acesso à energia elétrica, por este motivo, faz parte do Sistema Isolado (SI). O SI é composto por sistemas de menor porte não-conectados não conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN), os quais os custos de interligações são inviáveis. No cenário atual, as fontes de energia renováveis estão atraindo um grande número de pesquisadores devido à crescente escassez de combustíveis fósseis. Uma das alternativas que vêm sendo estudadas para facilitar o fornecimento de energia nessas localidades, é a utilização de sistemas híbridos renováveis de energia (SH). Dessa forma, o presente estudo visa avaliar o potencial de SH renováveis na Região Amazônica. Para isso, foi elaborado um quadro comparativo dos tipos de energia renovável com potencial de uso nos SH e uma Matriz SWOT por meio de uma revisão bibliográfica. A partir da análise desenvolvida, notou-se que há uma quantidade significativa de pontos positivos que combinadas a políticas governamentais de incentivos fiscais e de crédito podem viabilizar a implantação de híbridos de energia renovável.

Palavras-chave: Sistema Isolado, Amazônia, Energia Renovável, Sistemas Híbridos.

Abstract: The Amazon Region is characterized by having a dense and heterogeneous forest, large and extensive rivers, which the access to electricity is difficult, for this reason, is inserted in the Isolated System (SI). The SI is composed by smaller systems not connected to the National Interconnected System (SIN), which the costs of interconnections are not feasible. In the current scenario, renewable energy sources are attracting a large number of researchers due to the growing scarcity of fossil fuels. One of the alternatives that have been studied to facilitate the supply of energy in these localities

is the use of hybrid renewable energy systems (SH). Thus, the present study aims to evaluate the potential of renewable SH in the Amazon Region. For this, a comparative table of the types of renewable energy with potential use in SH and a SWOT Matrix was elaborated through a bibliographic review. From the analysis developed, it was noticed that there are a significant number of positive points that combined with governmental incentive policies of tax and credit can make feasible the implementation of hybrids of renewable energy.

Keywords: Isolated System, Amazon, Renewable Energy, Hybrids System.

Resumen: La región del Amazonas se caracteriza por tener un bosque denso y heterogéneo, ríos grandes y extensos, que dificultan el acceso a la energía eléctrica, por esta razón, es parte del Sistema Aislado (SI). El SI está compuesto por sistemas más pequeños no conectados que no están conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN), cuyos costos de interconexiones no son factibles. En el escenario actual, las fuentes de energía renovables están atrayendo a un gran número de investigadores debido a la creciente escasez de combustibles fósiles. Una de las alternativas que se han estudiado para facilitar el suministro de energía en estas localidades es el uso de sistemas híbridos de energía renovable (SH). Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de SH renovables en la Región Amazónica. Para este propósito, se elaboró una tabla comparativa de los tipos de energía renovable con uso potencial en SH y una matriz SWOT a través de una revisión bibliográfica. A partir del análisis desarrollado, se observó que hay una cantidad significativa de puntos positivos que, combinadas con las políticas de incentivos fiscales y crediticios del gobierno, pueden hacer posible la implementación de híbridos de energía renovable.

Palavras clave: Sistema Aislado, Amazonas, Energía Renovable, Sistema Híbrido.

1. Introdução

Apesar do setor elétrico estar em constante evolução, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 1,2 bilhões de pessoas ainda vivem sem eletricidade no mundo e estima-se que grande parte delas irá permanecer fora da rede elétrica até 2030. No Brasil, 1,27 % da população não possui acesso à energia. Ainda que a porcentagem seja muito pequena, este valor representa aproximadamente 2,65 milhões de habitantes, demonstrando uma problemática social que merece destaque (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2010).

O Grupo Consultivo sobre Energia e Mudança Climática (AGECC), criado pela ONU em 2008, salientou que é fundamental a disponibilização de serviços energéticos mínimos, visto que o acesso à energia é um direito social, que deve atender as necessidades básicas, de modo a garantir o desenvolvimento econômico e diminuição da pobreza (Coelho & Goldemberg, 2013).

O Brasil utiliza como sistema de transmissão principal de energia o Sistema Interligado Nacional (SIN), que engloba as Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte, abrangendo 98,3% da capacidade de produção de eletricidade. Há também diversos sistemas de menor porte não conectados ao SIN, chamados de Sistemas Isolados (SI), os quais os custos de interligações são inviáveis. Estes se concentram na Região Amazônica e representam 1,7% da geração elétrica não interligada ao SIN (Silva, Marchi & Seifert, 2016).

Os altos custos de interligação das linhas de transmissão ao SIN podem ser justificados pela geografia da região, caracterizada por floresta

densa e heterogênea, rios caudalosos e extensos, os quais dificultam a acessibilidade nessas áreas remotas, além dos baixos retornos relacionados à pequena demanda de energia. Dessa forma, a porcentagem de brasileiros sem acesso à energia é principalmente composta pelos localizados no SI (Roberts, Cassula, Silveira, Bortoni, & Mendiburu, 2018).

A principal opção para o fornecimento de eletricidade no SI são os sistemas térmicos movidos a combustíveis fósseis, que apresentam altos custos relacionados à operação, manutenção e logística de distribuição de combustíveis (Macedo et al., 2016). Portanto, uma das alternativas que vêm sendo estudadas para facilitar o fornecimento de energia no SI é a utilização de sistemas híbridos (SH), os quais são definidos como duas ou mais fontes de energia combinadas em uma única instalação para a geração de energia elétrica, de forma otimizada e com custos mínimos (Ávila-Prats, Alesanco-García, & Veliz-Alonso, 2011). Os SH podem ser classificados em renováveis e não renováveis de acordo com o tipo de fonte de energia. No cenário atual, em que há uma crescente escassez de combustíveis fósseis e condições ambientais críticas, as fontes de energia renováveis (solar, eólica, biomassa, entre outras) estão atraindo um grande número de pesquisadores (Yu, Duan, Du, Xue, & Sun, 2017).

Porém, assim como qualquer outro sistema energético, os SH apresentam vantagens e desvantagens que são dependentes das fontes renováveis utilizadas. Portanto, pretende-se avaliar o potencial de SH renováveis face às oportunidades e as ameaças da implantação desse sistema na Região Amazônica. O objetivo proposto, será alcançado por meio da análise de um quadro comparativo entre os tipos de energia renovável com potencial de uso em SH e de uma Matriz SWOT.

2. Metodologia

Visando atingir o objetivo proposto, foi realizada uma revisão bibliográfica para obtenção de trabalhos científicos relevantes da área utilizando o Portal de Periódicos CAPES, na base de dados *Web of Science*®, além da busca por documentos de instituições governamentais responsáveis pelo setor energético. Um quadro comparativo foi desenvolvido apresentando as principais vantagens e desvantagens das fontes de energias renováveis que possuem capacidade para utilização em SH.

Posteriormente, elaborou-se uma Matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats* – Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) com a pretensão de identificar os principais fatores internos e externos que são importantes para alcançar o propósito do trabalho, agrupando as principais informações em duas categorias principais (Paschalidou, Tsatiris, & Kitikidou, 2016):

- Fatores internos - Os pontos fortes e fracos internos da organização ou projeto.
- Fatores externos - As oportunidades e ameaças apresentadas pelo ambiente externo. As etapas de construção da matriz são apresentadas no fluxograma da Figura 1.

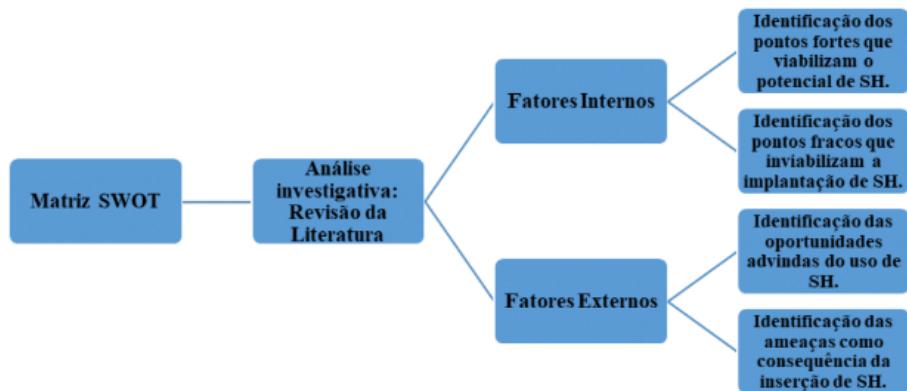


Figura 1:
Etapas da análise SWOT para a avaliação do potencial de SH.

Adaptado de Paschalidou, Tsatiris e Kitikidou (2016)

3. Acesso à energia em sistemas isolados na Região Amazônica

O desafio para atender a demanda de energia elétrica no Brasil é proporcional ao enfrentamento do alto nível de desigualdade social e regional do país, em especial na Região Amazônica (Barbosa et al., 2009; Guerra, Dutra, Schwinden, & Andrade, 2015). Essa região tem uma população esparsa, que ocupa uma área de 5 milhões de km², cerca de 60% da extensão territorial do Brasil (Matos, Camacho, Rodrigues, & Guimarães, 2011). Cerca de 1,2 milhões de pessoas que vivem nessa localidade ainda não estão conectadas à rede (Itai et al., 2014).

Na tentativa do suprimento energético no cenário amazônico, constituinte do SI, a principal opção para o fornecimento de eletricidade são os sistemas térmicos movidos a combustíveis fósseis. Utilizam-se 1230 geradores a diesel de pequena escala, cuja oferta é limitada por algumas horas (Lago, Costa, Bitar, & Barra, 2011). Essas usinas termelétricas tem uma capacidade instalada inferior a 500 kW, em geral, são velhas, ineficientes e com alta emissão de poluentes (Bacellar & Rocha, 2010). A problemática deste cenário envolve os altos custos relacionados à operação, manutenção e logística de distribuição destes combustíveis (Macedo et al., 2016).

O Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados, estabelecido pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2017) fornece a distribuição geográfica dos sistemas isolados no Brasil. Porém os dados de interesse nesse artigo são os referentes à Região Amazônica, a qual é composta pelo Pará, Amapá, Roraima, Amazonas, Acre e Rondônia, e representa a maior parte do SI, abrangendo 99,4%. A distribuição geográfica dos SI é apresentada na Figura 2.

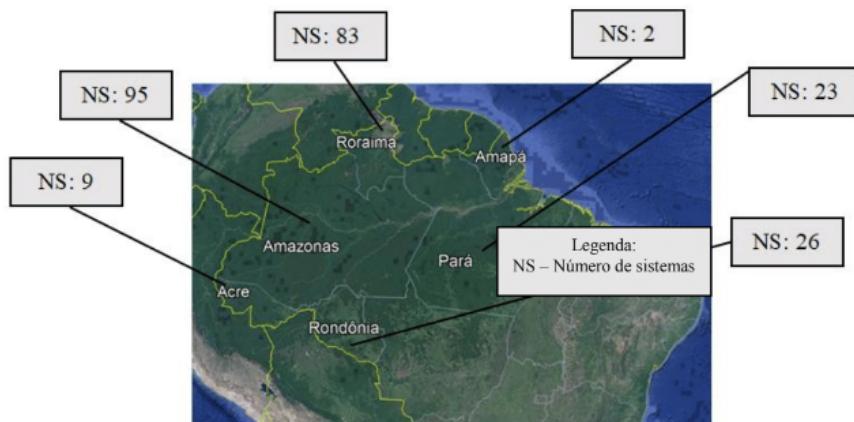


Figura 2:
Número de sistemas (NS) isolados na Região Amazônica.
Adaptado de ONS (2017)

Visando atender ao requisito total de Carga Própria de Energia, prevista para o ano de 2018, foram consideradas a geração hidráulica, térmica, importação e contratação de energia. As previsões de geração de energia elétrica no SI feitas pelo ONS (2017) são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1:
Geração de Energia Elétrica em Sistemas Isolados.

| Geração | Tipo | Previsão de Geração (MWh) |
|-------------|--------------------|---------------------------|
| Hidráulica | PCH Alto Jatapu | 35.267 |
| Térmica | Óleo e gás natural | 1.930.545 |
| Térmica | Biomassa | 43.200 |
| Importação | Distribuidoras | 970.662 |
| Contratação | Leilões | 1.248.941 |

Adaptado de ELETROBRÁS (2016)

Verifica-se que a principal forma de geração de energia elétrica é a térmica, utilizando como combustíveis óleo e gás natural. Pelas informações fornecidas pelo ONS (2017), existem 231 sistemas isolados localizados na Região Amazônica, caracterizando-se pelo elevado número de unidades geradoras de pequeno porte e pelas grandes dificuldades de logística de abastecimento. Essa situação caracteriza um grande paradoxo nessa região, que é rica em fontes de energia, mas tem o menor índice de serviço elétrico do país com dependência de térmicas (Lago et al, 2011).

Portanto, é notável que o uso de combustíveis fósseis nas usinas térmicas encarece o fornecimento de energia em sistemas isolados, devido ao alto custo e a logística dos mesmos para essas regiões remotas. Além disso, tem o fator ambiental, visto o prejuízo causado pelos gases emitidos (Bacellar & Rocha, 2010). Sendo assim, a implantação de SH renováveis de energia apresenta-se como uma alternativa para permitir o acesso à energia e a minimização dos custos com combustíveis na Região Amazônica.

4. Tipos de sistemas híbridos renováveis

Nas regiões isoladas deve-se considerar a variedade de recursos disponíveis e as alternativas renováveis para geração de energia. Os SI podem fornecer eletricidade usando recursos disponíveis localmente, como recursos hídricos, eólicos, de biomassa e solares. Com exceção de pequenas centrais hidrelétricas, nenhuma dessas tecnologias é amplamente utilizada na Região Amazônica (Gómez & Silveira, 2015).

Uma alternativa que vem sendo estudada para atender a demanda de energia em SI é o sistema de energia autônomo, em especial os SH, os quais combinam duas ou mais fontes renováveis para fornecer energia a diferentes cargas. Quando uma fonte está indisponível ou é insuficiente para atender às demandas de carga, as outras podem compensar a diferença (Siddaiah & Saini, 2016). Essas tecnologias e os SH apresentam uma série de vantagens para aplicação nessas localidades (Nerini, Howels, Bazilian, & Gómez, 2014).

Este trabalho pretende destacar os principais SH renováveis, levando em consideração que a utilização de fontes renováveis para produção de energia surgiu como uma solução para amenizar os problemas como aquecimento global, poluição, difícil acesso a distribuição de energia e aumento da demanda de eletricidade (Agarwal, Hussain, & Singh, 2016).

O SH do tipo fotovoltaico-eólico é baseado nos aproveitamentos solar fotovoltaico e eólico. A combinação dessas fontes procura explorar a complementariedade entre ambas no tempo, tendo como vantagem não empregar recursos não renováveis (Ministério de Minas e Energia [MME], 2008). Além disso, quando comparado aos sistemas de geração de eletricidade individuais com as fontes de energia solar e eólica, essas fontes influenciam a qualidade da energia, estabilidade da rede, confiabilidade e questões relacionadas à segurança de intermitência do recurso (Shaik & Mahela, 2018). Muitas vezes há bastante vento, mas não há incidência solar e essa situação pode se comprometer o atendimento às demandas de carga. Então o déficit pode ser compensado pela outra fonte de energia (Bouzelata, Altin, Chenni, & Kurt, 2016).

Outro tipo de sistema híbrido renovável é o hidrelétrico-fotovoltaico, cuja geração é baseada no aproveitamento hidrelétrico e fotovoltaico com operação em conjunto, visando atender as demandas de um grupo de cargas consumidoras. Uma complementariedade entre as fontes de energia pode beneficiar o dimensionamento e a operação desse tipo de sistema, no qual a energia pode ser acumulada tanto em reservatório quanto em baterias. Entretanto, esses sistemas dependem de incentivos e subsídios para se tornar viável, já que os custos dos aproveitamentos fotovoltaicos ainda são bastante elevados (Beluco, Souza, & Krenzinger, 2008).

O sistema eólico-microhidrelétrico também vem sendo estudado e é uma tecnologia promissora para suprir a demanda de carga em área remota e isolada. No entanto, existem vários pontos fracos enfrentados por esses recursos. Uma das fraquezas é que a energia gerada é dependente de condições climáticas e, por isso, pode não corresponder à distribuição de carga energética exigida. Dessa forma, o sistema eólico-microhidrelétrico-

célula de combustível (hidrogênio) foi proposto visando minimizar os efeitos negativos gerados pela necessidade de condições meteorológicas viáveis, além de atender a demanda requerida sem interrupções no fornecimento elétrico (Soedibyo, Suryoatmojo, Robandi, & Ashari, 2012).

Outra fonte que pode ter potencial para compor um SH é a biomassa. A biomassa é uma fonte renovável considerada uma das mais promissoras no Brasil, em suas diversas formas de apresentação, devido à facilidade de obtenção do recurso in loco. Normalmente é utilizada através da gaseificação. Entretanto, quando a configuração de um sistema híbrido utiliza o biodiesel, faz-se uma adaptação do grupo gerador para o funcionamento com este combustível renovável (MME, 2008).

Segundo Makhija e Dubey (2018), o SH fotovoltaico-biodiesel foi capaz de gerar a energia pretendida, evitando a adição de 27.744 toneladas de CO₂ na atmosfera e economizando 55.080 kg de carvão por ano, com melhoria na confiabilidade de 93,15 a 100%. Kolhe, Ranaweera e Gunawardana (2015) investigaram a configuração ideal de um SH fotovoltaico-eólico-hidrelétrico para fornecer eletricidade para uma comunidade rural no Sri Lanka. Verificou-se que os resultados foram economicamente viáveis tanto para operação fora da rede quanto para conectado à rede.

De acordo com os sistemas híbridos renováveis apresentados, observa-se que diversas formas de energia podem ser utilizadas. Conforme mencionado nas alíneas anteriores, alguns estudos têm sido realizados para propor diferentes SH com matérias-primas distintas, levando em consideração a fonte disponível em cada localidade, suas vantagens e desvantagens.

Mediante a essa análise, pode-se observar que os SH de energia renovável possuem grande potencial para geração de eletricidade e para aumentar a confiabilidade do sistema, quando comparado com cada fonte separadamente. Entretanto, devido à possibilidade de combinações das fontes, suas peculiaridades e por ser um assunto que ainda está sendo desenvolvido, existe a dificuldade de dados relativos às vantagens e desvantagens de cada tipo de SH proposto.

Baseado neste contexto, o Quadro 1 compara as vantagens e desvantagens de cada fonte renovável de energia no Brasil, visando analisar o potencial de associação das mesmas para obtenção de um SH favorável para uma determinada região estudada.

Quadro 1:
Vantagens e desvantagens de fontes energéticas renováveis.

| Fonte | Vantagens | Desvantagens |
|---------------------|--|--|
| Biomassa | <ul style="list-style-type: none"> -Utilização de resíduos agroindustriais; -Boa relação custo-benefício; -Redução das emissões de poluentes; -Potencial de uso para: eletricidade, aquecimento e combustível; | <ul style="list-style-type: none"> -Menor poder calorífico do que combustíveis fósseis; -Formação de Incrustação; -Redução de eficiência; -Geração de resíduos; |
| Fotovoltaico | <ul style="list-style-type: none"> -Fonte de energia disponível e gratuita; -Usada para aquecimento e eletricidade; -Energia limpa; -Não necessita de grandes áreas para instalação, podendo ser usada em lugares de difícil acesso; | <ul style="list-style-type: none"> -Alto custo de material e fabricação; -Energia disponível apenas durante o dia; -Dependente de condições climáticas e estações do ano; -Baixa eficiência (5-20%); |
| Eólico | <ul style="list-style-type: none"> -Fonte de energia disponível e gratuita; -Energia limpa; -Alta resistência mecânica das turbinas eólicas; -A área pode ser aproveitada para outros fins (agricultura, gado, e outros); | <ul style="list-style-type: none"> -Dependente de condições climáticas; -Altos custos de manutenção e operação; -Interferência no habitat natural das aves; |
| Hidrelétrica | <ul style="list-style-type: none"> -Alto potencial hidríco; -Custo de implantação e geração inferior em comparação com outras fontes energéticas; | <ul style="list-style-type: none"> -Grandes áreas de inundação; -Dependente de condições climáticas; -Desmatamento de grandes regiões florestais; |
| Biodiesel | <ul style="list-style-type: none"> -Redução de emissão de gases do efeito estufa; -Alternativa para substituição de combustíveis fósseis; -Extensa disponibilidade de recursos naturais; -Utilização de resíduos oleaginosos como matéria-prima; -Menor custo de produção em relação aos derivados de petróleo; | <ul style="list-style-type: none"> -Geração de resíduos; -Competitividade da matéria-prima com o setor alimentício; -Cristalização em baixas temperaturas; |

Adaptado de Zhang, Zhang, Cao, & Pan (2013), Pronobis (2005); Zhou, Liu, Wang, & Qi (2016); Toklu (2017); Kobayashi & Fan (2011); Vasu et al. (2017); Pablo-Romero (2013); Kiray & Sagbansua (2013); Prado et al. (2016); Kalagirou (2001); Abbaspour, Satkin, Mohammadi-Ivatloo, Lotfi, & Noorollahi (2013); Salameh, Cauet, Etien, Sakout, & Rambault (2018); Li, Zhu, & Yang (2012); Guedes, Braga, & Pradelle (2018).

Sendo assim, a utilização de duas ou mais fontes energéticas renováveis pode permitir uma produção máxima de energia através da complementariedade entre as fontes, de maneira que uma compensa as desvantagens da outra. Deste modo, é possível aumentar a eficiência energética dos sistemas consideravelmente. Além disso, espera-se que ocorra a minimização do custo da produção de energia com os recursos combinados do que quando esses são usados individualmente (Kalagirou, 2001). Esses SH renováveis são considerados ambientalmente corretos, pois apresentam um baixo nível de emissão de CO₂ e outros gases, quando comparado à geração com uso de combustíveis fósseis (Roberts et al., 2018).

5. Análise dos sistemas híbridos por matriz SWOT

A análise dos fatores positivos (pontos fortes e oportunidades) e negativos (pontos fracos e ameaças) permite a avaliação do potencial de SH renováveis na Região Amazônica. Dessa forma, as categorias da matriz SWOT abordadas na metodologia foram discutidas com base em dados bibliográficos.

5.1. Pontos positivos: Forças

A Região Amazônica é rica em fontes de energia, porém esse potencial é pouco explorado, visto que apresenta o menor índice de serviço elétrico do país e baixo desenvolvimento econômico (Lago et al., 2011).

Nessa região, a eletricidade é gerada principalmente por termelétricas isoladas que usam óleo combustível derivado de petróleo e diesel, com interrupção diária no fornecimento, além de custos elevados com os combustíveis, a logística de transporte, armazenamento e a necessidade de manutenção. (Bacellar & Rocha, 2010; Roberts et al., 2018).

A substituição dessas usinas por SH renováveis pode permitir a redução da quantidade de combustíveis fósseis utilizados, bem como a emissão de gases poluentes e evitar problemas constantes de racionamento de energia. A demanda energética é suprida, pois esses sistemas são projetados para atender toda a carga a qualquer instante, exigindo uma reserva para fazer frente a eventuais falhas ou variações na rede (Operador Nacional do Sistema Elétrico [ONS], 2017).

A partir do fornecimento de energia elétrica ininterrupta, esses sistemas apresentam também como vantagem que a carga gerada pode ser adaptável às necessidades energéticas dos usuários, uma vez que há capacidade de expansão na oferta de eletricidade quando for requerido (MME, 2008).

Devido às características geográficas da região, a construção de linhas de transmissão de grande extensão conectadas ao SIN é economicamente inviável. Dessa forma, a energia gerada pelo SH apresenta-se como alternativa para solucionar esse problema, uma vez que não precisa estar ligada à rede de energia elétrica convencional, ou seja, não há obrigatoriedade de interconexão com o SIN (Gómez & Silveira, 2015).

Os resultados obtidos no estudo realizado por Kolhe, Ranaweera e Gunawardana (2015) mostraram que a viabilidade econômica de SH é possível para operação fora da rede e também quando conectado à rede, comprovando a possibilidade de não interconexão ao SIN em áreas remotas.

A combinação das fontes renováveis disponíveis localmente para aplicação nos SH explora a complementariedade das mesmas. Esse fato coopera para o aumento da confiabilidade, visto que uma fonte energética pode suprir a falta temporária da outra, fazendo com que o sistema tenha capacidade de operar com menor risco de interrupção (Shaik & Mahela, 2018). De acordo com Makhija e Dubey (2018) houve uma melhoria na

confiabilidade do fornecimento elétrico de 93,15 a 100% com o emprego de um SH.

5.2. Pontos positivos: Oportunidades

Tem-se como oportunidade o uso de fontes locais que apoia a criação de novas atividades produtivas que podem contribuir com as comunidades isoladas em diferentes níveis, promovendo a geração de novos empregos, incentivando a qualificação profissional, diversificando a matriz e favorecendo a segurança energética (Nerini et al., 2014).

Com a garantia do fornecimento elétrico, ocorre a atração de investimentos para a região, já que os serviços de energia são essenciais para a implementação eficaz de quase todos os programas de desenvolvimento econômico, especialmente atividades sociais básicas, geração de receita, saúde, educação, água, segurança alimentar, desenvolvimento agrícola e refrigeração de medicamentos (Coelho & Goldemberg, 2013).

De acordo com Els, Vianna e Brasil (2012), o acesso à serviços de energia para comunidades isoladas é imprescindível para impulsionar o desenvolvimento local. Baseado nisso, tanto o desenvolvimento econômico quanto social são fundamentais para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas, que visam a universalização da eletricidade.

A ausência de energia acentua a desigualdade social e demonstra como a eletrificação em áreas remotas apresenta um impacto na redução do número de indivíduos sem energia elétrica. Dessa maneira, há uma limitação de serviços e oportunidades para população dessas comunidades, retardando o desenvolvimento econômico (Pereira, Freitas, & Silva, 2010).

Devido aos recursos energéticos disponíveis na Região Amazônica, verifica-se como uma oportunidade o aproveitamento dessas fontes, já que estas podem ser empregadas na implantação de SH através da geração de energias renováveis, garantindo o acesso à energia e consequentemente, promovendo o crescimento da economia (Roberts et al., 2018).

Além disso, com o avanço econômico regional há um aumento na geração de renda da população. Esse comportamento está relacionado diretamente com o aumento do poder de compra, que faz com que os cidadãos tenham um maior consumo. A partir desse cenário, observa-se uma crescente demanda gerada pelo desenvolvimento local, forçando o aumento da oferta de energia (Coelho & Goldemberg, 2013).

5.3. Pontos negativos: Fraquezas

O

O principal empecilho dos SH é o alto investimento inicial. Necessitase de incentivos e subsídios governamentais para redução do preço final desses sistemas e estímulo das concessionárias locais para o investimento nos SH renováveis. Uma forma de subsídio já implementada no Brasil,

como exemplo, foi o Programa de incentivo a fontes alternativas de energia (PROINFA), que visa aumentar a participação de energia eólica, energia de biomassa e pequena central hidrelétrica (PCH) no fornecimento energético do sistema de rede brasileiro (Miguel & Ramos, 2017).

Entretanto, o PROINFA ainda não foi suficiente para inserção dessas fontes energéticas na matriz brasileira, devido às dificuldades como atrasos no processo de licitação, difícil obtenção de financiamento, concorrência desleal no preço dessas fontes em comparação com as demais, licenciamento ambiental, natureza política e a falta de incentivos fiscais e de crédito para expandir o mercado e estimular investimentos no setor. Visto a importância desse programa para adoção de fontes renováveis, este deve ser ajustado a partir da revisão de critérios de seleção para projetos de energia eólica e maior acesso a financiamento e crédito (Claudiado, Emilio, & Assmann, 2008).

Para implementação dos SH é necessário um conhecimento técnico e operacional, já que o controle dos processos é complexo. Além disso, há necessidade do armazenamento de energia, no qual são utilizadas baterias e estas precisam de um descarte adequado. Para resolução dessa problemática, uma alternativa é o fornecimento de um auxílio para formação técnica da população regional ou o uso de ferramentas automáticas que permitam o monitoramento e o controle da operação do sistema, assegurando assim a redução dos custos operacionais, sua confiabilidade e o descarte correto de materiais tóxicos (MME, 2008).

5.4. Pontos negativos: Ameaças

Levando em conta as ameaças, sabe-se que a principal forma de fornecimento de energia na Região Amazônica é a termelétrica (Bacellar & Rocha, 2010; Roberts et al., 2018). Logo, com a aquisição de SH renováveis pode ocorrer a interrupção do uso dessas usinas, tendo um impacto econômico para essas geradoras.

É importante avaliar a capacidade de utilização dos recursos locais, visto que essa depende de fatores tecnológicos, econômicos, sociais, políticos e ambientais. O fator ambiental merece destaque para garantir um melhor aproveitamento da radiação solar, velocidade dos ventos e condições hidrológicas, de modo a aumentar a oferta de energia (Lago et al., 2011).

O estudo prévio dos recursos renováveis disponíveis é necessário para analisar as condições climáticas, tais como, variações no vento e mudança na incidência solar, já que podem afetar o perfil de tensão nos SH, comprometendo a qualidade do fornecimento de energia, provocando interrupções na rede. Mediante a essa circunstância, existe a possibilidade da ocorrência de falhas no motor, medições imprecisas, superaquecimento de linhas, envelhecimento prematuro dos dispositivos, mau funcionamento dos equipamentos de proteção e interferência nos circuitos de comunicação (Shaik & Mahela, 2018).

Devido ao custo de investimento dessas tecnologias ser elevado, é preciso que haja um aproveitamento máximo das fontes. No entanto, para

utilizá-las de forma eficiente e econômica, o planejamento de implantação de SH deve ser desenvolvido com base na previsão dos dados de recursos energéticos renováveis disponíveis, com o uso de técnicas adequadas, para evitar que a produtividade de carga energética seja insuficiente e que haja falha no fornecimento de eletricidade (Siddaiah & Saini, 2016).

Com base no que foi apresentado, foi construída uma matriz SWOT para avaliação da viabilidade do uso de SH, mostrada no Quadro 2.

Quadro 2:

Matriz SWOT elaborada de acordo com as observações coletadas através dos estudos desenvolvidos.

| Positivo | |
|---|---|
| Forças | Negativo |
| <ul style="list-style-type: none">-Alto potencial de fontes de ER na Região Amazônica;-Redução de combustíveis fósseis e fornecimento contínuo de energia;-Capacidade de carga adaptável;-Não interconectados ao SIN;-Confiabilidade alta. | <ul style="list-style-type: none">-Investimento inicial elevado;-Sistemas de controle complexos, dependendo do porte do sistema;-Falta de conhecimento técnico;-Descarte e reciclagem das baterias;-Necessidade de um sistema de armazenamento, ou reserva. |
| Oportunidades | Ameaças |
| <ul style="list-style-type: none">-Geração de empregos;-Incentivo a qualificação profissional;-Maior acesso a distribuição de energia;-Aumento da demanda e oferta de eletricidade;-Atração de investimentos para a região;-Desenvolvimento econômico;-Aproveitamento de recursos locais e ambientalmente corretos (baixo nível de emissão de CO₂ e outros gases). | <ul style="list-style-type: none">-Interrupção do fornecimento de energia pelas termelétricas;-Dependência das condições climáticas em função da fonte utilizada;-Produtividade de carga energética insuficiente. |

Elaborado pelos autores

Analizando as forças e as oportunidades, observa-se que mediante as características geográficas e diversificadas da Região Amazônica, essa possui uma variedade de fontes de energia renovável, que podem ser empregadas para geração de eletricidade. Dessa maneira, seria possível minimizar a emissão de gases do efeito estufa, que são provenientes da queima de combustíveis fósseis, constituintes da principal forma de energia utilizada localmente.

O uso combinado dos recursos energéticos na forma de SH permite a superação das desvantagens provindas desses isoladamente. Os sistemas aumentam a confiabilidade no fornecimento de eletricidade, já que as fontes são complementares e evitam a interrupção da geração, além de permitirem que não estejam conectados ao SIN. Esse fato favorece o acesso à energia em regiões remotas, visto que o custo de interconexão é elevado e inviabiliza a ligação.

A aplicação das fontes para geração de energia possibilita o desenvolvimento econômico, atraindo investimentos e empresas para região, e consequentemente, dando oportunidade de emprego para a população. Sendo assim, a implantação de SH não apenas garante a eletricidade, como também promove um crescimento da região.

Por outro lado, o sistema possui fraquezas e ameaças, requerendo um alto investimento inicial e conhecimento tecnológico para operação e manutenção. Esse fator dificulta a viabilidade de SH devido à falta de investimentos e mão de obra qualificada, necessitando de programas de incentivos governamentais com o objetivo de tornar esses sistemas mais competitivos com outras fontes de energia nos leilões.

Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de políticas públicas de investimento no setor energético para romper as barreiras de mercado e os custos de produção de eletricidade por fontes renováveis. A expansão desse mercado e o estímulo de investimentos privados no setor podem ser alcançados a partir do estabelecimento de metas de ampliação da participação dessas fontes na matriz energética do país aliada à incentivos fiscais e de crédito.

A dependência das condições meteorológicas nos SH levando em conta a fonte empregada pode limitar o suprimento contínuo de energia. Logo, são necessárias pesquisas visando à previsão do comportamento das fontes, bem como a elaboração de um planejamento para evitar falhas na rede.

Além disso, deve-se analisar o impacto que pode ser causado pela redução da produtividade de termelétricas e a aquisição dos combustíveis fósseis pelas mesmas, visto a realidade de fornecimento de energia na região ser principalmente proveniente dessa usina.

Portanto, após a discussão com base na ferramenta de gestão Matriz SWOT, foi possível balancear os pontos positivos e negativos da implantação dos SH renováveis. Concluindo-se que os pontos fortes e oportunidades tiveram relevância, nota-se que estudos de viabilidade econômica combinados a políticas governamentais de incentivo são importantes para a implantação de sistemas híbridos renováveis na Região Amazônica, de modo a superar as dificuldades do fornecimento de energia nessa localidade.

6. Conclusão

A Região Amazônica apresenta limitações em relação ao fornecimento de energia por ser um sistema isolado e uma das alternativas encontradas para o atendimento dessas comunidades são os sistemas híbridos de energia. Destaca-se o uso de fontes renováveis, visto o contexto mundial que procura conciliar o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade, bem como o aproveitamento de recursos disponíveis localmente, já que essa região possui uma variedade de fontes com potencial de geração de energia.

A inserção de sistemas híbridos renováveis na matriz energética eleva o potencial de geração de eletricidade e a confiabilidade do sistema, porém deve-se analisar a disponibilidade dos recursos em cada área, uma vez que matérias-primas distintas podem ser aplicadas. Além disso, espera-se a redução do uso de termelétricas que são a principal forma de energia nessa região.

Através do quadro comparativo visualiza-se que as fontes energéticas apresentam características promissoras para serem aplicadas em sistemas híbridos, uma vez que quando combinadas permitem a complementariedade do sistema, aumentando a confiabilidade da rede elétrica.

Pela análise da Matriz SWOT, foi verificado que há uma quantidade significativa de vantagens que podem viabilizar a implantação de híbridos de energia renovável. Entretanto, é interessante que futuramente outros estudos sejam realizados com o objetivo de desenvolver uma análise econômica e discutir políticas de incentivo.

Referências

- Abbaspour, M., Satkin, M., Mohammadi-Ivatloo, B., Lotfi, F. H., & Noorollahi, Y. (2013). Optimal operation scheduling of wind power integrated with compressed air energy storage (CAES). *Renewable Energy*, 51 (1), 53-59.
- Agarwal, R. K., Hussain, I., & Singh, B. (2016). LMF-based control algorithm for singlestage three-phase grid integrated solar PV system. *IEEE Transactions Sustainable Energy*, 4 (7), 1379–1387.
- Ávila-Prats D., Alesanco-García, R., & Veliz-Alonso, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *Ingeniería Mecánica*, 14 (1), 22-30.
- Bacellar, A. A., & Rocha, B. R. P. (2010). Wood-fuel biomass from the Madeira River: A sustainable option for electricity production in the Amazon Region. *Energy Policy*, 38 (1), 5004–5012.
- Barbosa, B. S., Koolen, H. H. F., Barreto, A. C., Silva, J. D., Figliulo, R., & Nunomura, S. M. (2009). Aproveitamento do Óleo das Amêndoas de Tucumã do Amazonas na Produção de Biodiesel. *Acta Amazonica*, 39 (2), 371-376.
- Beluco, A., Souza, P. K., & Krenzinger, A. (2008). PV hydro hybrid systems. *IEEE Latin American Transactions*, 6 (7), 626-631.
- Bouzelata, Y., Altin, N., Chenni, R., & Kurt, E. (2016). Exploration of optimal design and performance of a hybrid wind-solar energy system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (1), 12497-12511.
- Claudiado, V. C., Emilio, L. R., & Assmann, D. (2008). Technological innovation policies to promote renewable energies: Lessons from the European experience for the Brazilian case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (1), 65-90.
- Coelho, S. T., & Goldemberg, J. (2013). Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. *Energy Policy*, 61 (1), 1088-1096.
- ELETROBRÁS. (2016). *Informe de Mercado*. Recuperado em 20 maio, 2018, de http://eletrobras.com/pt/areasdeAtuacao/geracao/sistemas_isolados_mercado/informe%20de%20mercado/2016/2%C2%B0_Semestre_2016.pdf.
- Els, R. H., Vianna, J. N. S., & Brasil, A. C. P. Jr. (2012). The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (3), 1450-1461.

- Gómez, M. F., & Silveira, S. (2015). The last mile in the Brazilian Amazon – A potential pathway for universal electricity access. *Energy Policy*, 82 (1), 23–37.
- Guedes, A., Braga, S. L., & Pradelle, F. (2018). Performance and combustion characteristics of a compression ignition engine running on diesel-biodiesel-ethanol (DBE) blends – Part 2: Optimization of injection timing. *Fuel*, 225 (1), 174–183.
- Guerra, J. B. S. O. A., Dutra, L., Schwinden, N. B. C., & Andrade, S. F. (2015). Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts. *Journal of Cleaner Production*, 103 (1), 197–210.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo 2010*. Recuperado em 18 maio, 2018, de <http://censo2010.ibge.gov.br/>.
- Itai, Y., Santos, R., Branquinho, M., Malico, I., Ghesti, G. F., & Brasil, A. M. (2014). Numerical and experimental assessment of a downdraft gasifier for electric power in Amazon using açaí seed (*Euterpe oleracea* Mart.) as a fuel. *Renewable Energy*, 66 (1), 662–669.
- Kalagirou, S. A. (2001). Use of TRNSYS for modelling and simulation of a hybrid pv-thermal solar system for Cyprus. *Renewable Energy*, 23 (2), 247–260.
- Kiray, V., & Sagbansua, L. (2013). Barriers in front of solar energy plants in Turkey and investment analysis of solution scenarios-case study on a 10 MW system. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5 (4), 1–14.
- Kobayashi, N., & Fan, L. (2011). Biomass direct chemical looping process: A perspective. *Biomass and Bioenergy*, 35 (1), 1252–1262.
- Kolhe, M. L., Ranaweera, K. I. U., & Gunawardana, A. S. (2015). Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11 (1), 53–64.
- Lago Neto, J. C. L., Costa Jr., C. T. C., Bitar, S. D. B., & Barra Jr., W. B. (2011). Forecasting of energy and diesel consumption and the cost of energy production in isolated electrical systems in the Amazon using a fuzzification process in time series model. *Energy Policy*, 39 (1), 4947–4955.
- Li, G., Zhu, R., & Yang, Y. (2012). Polymer solar cells. *Nature Photonics*, 6 (1), 153–161.
- Macedo, W. N., Monteiro, L. G., Corgozinho, I. V., Macêdo, E. N., Rendeiro, G., Braga, W., & Bacha, L. (2016). Biomass based microturbine system for electricity generation for isolated communities in amazon region. *Renewable Energy*, 91 (1), 323–333.
- Makhija, S. P., & Dubey, S. P. (2018). Feasibility of PV–biodiesel hybrid energy system for a cement technology institute in India. *Environment, Development and Sustainability*, 20 (1), 377–387.
- Matos, F. B., Camacho, J. R., Rodrigues, P., & Guimarães, S. C. (2011). A research on the use of energy resources in the Amazon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 3196–3206.
- Miguel, F. K., & Ramos, D. S. (2017). Analysis of PROINFA Power Plants Portfolio from the Perspective of Markowitz. *IEEE Latin America Transactions*, 15 (9), 1650–1656.

- MME – Ministério de Minas e Energia. (2008). *Sistemas híbridos*. Recuperado em 04 abril, 2018, de https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf.
- Nerini, F. F., Howels, M., Bazilian, M., & Gómez, M. F. (2014). Rural electrification options in the Brazilian Amazon – a multi-criteria analysis. *Energy for Sustainable Development*, 20 (1), 36-48.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2017). *Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados para 2018*. Recuperado em 03 abril, 2018, de http://www.ons.org.br/_AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ONS_RE-3-0138-2017_PEN_SISOL_2018.pdf.
- ONU. (2016). *Organização das Nações Unidas*. Recuperado em 18 maio, 2018, de <https://nacoesunidas.org/banco-mundial-12-bilhao-de-pessoas-ainda-vivem-sem-eletricidade-e-663-milhoes-sem-agua-potavel/>.
- Pablo-Romero, M. D. P. (2013). Solar Energy: Incentives to Promote PV in EU27. *AIMS Energy*, 1 (1), 28-47.
- Paschalidou, A., Tsatiris, M., & Kitikidou, K. (2016). Energy crops for biofuel production or for food? - SWOT analysis (case study: Greece). *Renewable Energy*, 93 (1), 636-647.
- Pereira, M. G., Freitas, M. A. V., & Silva, N. F. (2010). Rural electrification and energy poverty: empirical evidences from Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), 1229-1240.
- Prado, F. A., Athayde, S., Mossa, J., Bohlman, S., Leite, F., & Oliver-Smith, A. (2016). How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53 (1), 1132-1136.
- Pronobis, M. (2005). Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations. *Biomass Bioenergy*, 28 (4), 375-383.
- Roberts, J. J., Cassula, A. M., Silveira, J. L., Bortoni, E. C., & Mendiburu, A. Z. (2018). Robust multi-objective optimization of a renewable based hybrid power system. *Applied Energy*, 223 (1), 52-68.
- Salameh, J. P., Cauet, S., Etien, E., Sakout, A., & Rambault, L. (2018). Gearbox condition monitoring in wind turbines: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 111 (1), 251-264.
- Shaik, A. G., & Mahela, O. P. (2018). Power quality assessment and event detection in hybrid power system. *Electric Power Systems Research*, 161 (1), 26-44.
- Siddaiah R., & Saini, R. P. (2016). A review on planning, configurations, modeling and optimization techniques of hybrid renewable energy systems for off-grid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58 (1), 376-96.
- Silva, R. C., Marchi Neto, I., & Seifert, S. S. (2016). Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59 (1), 328-341.
- Soedibyo, Suryoatmojo, H., Robandi, I., & Ashari, M. (2012). Optimal Design of Fuel-cell, Wind and Micro-hydro Hybrid System using Genetic Algorithm. *Telkomnika*, 10 (4), 695-702.

- Toklu, E. (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Renewable Energy*, 107 (1), 235-244.
- Vasu, A., Hagos, F. Y., Noor, M. M., Mamat, R., Azmi, W. H., Abdullah, A. A., & Ibrahim, T. K. (2017). Corrosion effect of phase change materials in solar thermal energy storage application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76 (1), 19-33.
- Yu, H., Duan, J., Du, W., Xue, S., & Sun, J. (2017). China's energy storage industry: develop status, existing problems and countermeasures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71 (1), 767-784.
- Zhang, K. H., Zhang, K., Cao, Y., & Pan, W. P. (2013). Co-combustion characteristics and blending optimization of tobacco stem and high-sulfur bituminous coal based on thermogravimetric and mass spectrometry analyses. *Bioresource Technology*, 131 (1), 325-332.
- Zhou, C., Liu, G., Wang, X., & Qi, C. (2016). Co-combustion of bituminous coal and biomass fuel blends: Thermochemical characterization, potential utilization and environmental advantage. *Bioresource Technology*, 218 (1), 418-427.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Bárbara Zon Nascimento – 50%

Thais Caliman Catelan – 50%