



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Sistemas Isolados

Uma avaliação das alternativas de suprimento de energia para o Sistema Isolado de Boa Vista

Lívia Batista Maciel Braga

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS - CCS

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral

Brasília, junho de 2019.



Lívia Batista Maciel Braga

Sistemas Isolados

**Uma avaliação das alternativas de suprimento de energia para o
Sistema Isolado de Boa Vista**

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Políticas Públicas e
Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral, apresentada ao
programa de pós-graduação lato sensu em Administração da PUC-Rio como
requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Políticas Públicas e
Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral

Orientador: Rodrigo Flora Calili

Brasília
Junho de 2019.

Agradecimentos

A Deus, pela dádiva da vida e por tantas graças que me são concedidas.

A participação neste curso coincidiu com a gestação e primeiros meses de vida do meu filho Henrique. A ele, a minha filha Liz e ao meu esposo José Eduardo, só tenho a agradecer por me incentivar a encarar os desafios e ir além.

Ao orientador Rodrigo Flora Calili, por toda atenção, compreensão e disponibilidade.

Resumo

Braga, Livia Batista Maciel. Calili, Rodrigo Flora. Sistemas Isolados – Uma avaliação das alternativas de suprimento de energia para o Sistema Isolado de Boa Vista. Rio de Janeiro, 2019. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Entre os desafios do planejamento energético no Brasil está a análise e identificação de soluções para o suprimento de energia elétrica em áreas isoladas, de forma segura e econômica. Atualmente, uma questão que tem demandado atenção é a continuidade do abastecimento dos Sistemas Isolados de Roraima e Boa Vista. O objetivo desse trabalho é apresentar as dificuldades que essa região vem enfrentando e expor as alternativas de suprimento de energia que são passíveis de sucesso. Apresentou-se várias possíveis soluções para resolver o problema de garantia energética nesta região.

Palavras- chave

Sistemas Isolados; Sistema Isolado de Boa Vista; fontes renováveis, leilão de energia; armazenamento de energia.

Abstract

Braga, Livia Batista Maciel. Calili, Rodrigo Flora. Isolated Systems - An evaluation of the alternatives of energy supply for the Boa Vista Isolated System. Rio de Janeiro, 2019. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Among the challenges of energy planning in Brazil is the analysis and identification of solutions to electricity supply in isolated areas, in a safe and economical way. Currently, an issue that has demanded attention is the continuity of supply of the Isolated Systems of Roraima and Boa Vista. The aim of this article is to present the difficulties that this region has been working through and to show the alternatives of energy supply that are likely to be successful. It was presented explanations about the current studies and the possible solutions to problem of energy supply at this region.

Key-words

Isolated Systems; Boa Vista Isolated Systems; renewable energy sources; energy auction; energy storage

Sumário

1 Introdução	9
2 Referencial Teórico	11
2.1. Os sistemas elétricos do Brasil	11
2.2. Estudos de soluções de abastecimento por meio de fontes renováveis	16
2.3. O leilão de energia elétrica para atendimento de Boa Vista	29
3 Metodologia	31
4 Conclusão	32
5 Referências	34

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Geração elétrica por fonte no Brasil – 2017	11
Tabela 2.2 Consumo de energia por subsistema elétrico – 2017	13
Tabela 2.3 Quantidade de Sistemas Isolados por UF - 2018	14
Tabela 2.4 - Premissas e custos para as diferentes fontes	22

Lista de Figuras

Figura 1 - Divisão do Brasil nos quatro submercados.....	12
Figura 2 - Consumo residencial versus a geração solar fotovoltaica típica	18
Figura 3 - Curva de carga típica de Roraima (demanda em MW).....	18

1 Introdução

O planejamento energético do Brasil enfrenta vários desafios. Entre eles está garantir suprimento de energia elétrica para todas os seus 5.570 municípios, de forma confiável, econômica, considerando as diversas questões ambientais.

Dada a sua dimensão territorial, a fim de assegurar o atendimento de toda a carga, o país foi dividido em subsistemas elétricos. A configuração em subsistemas permite a transferência da energia gerada, com ganhos sinérgicos e a exploração da diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias.

Entre os subsistemas, têm-se os Sistemas Isolados, que por questões técnicas e econômicas, não estão ligados ao Sistema Interligado Nacional – SIN e são abastecidos por geração local.

A cidade de Boa Vista é a única capital brasileira que não está interligada ao SIN. Seu abastecimento é garantido por usinas termelétricas a óleo diesel e por fornecimento de energia vindo da Venezuela.

Atualmente, o suprimento de energia para essa localidade apresenta algumas questões que carecem de urgência em sua solução. A crise na Venezuela vem impactando o cumprimento do contrato de energia, sendo que, nos últimos anos, é frequente o corte de seu fornecimento. Além disso, os contratos de fornecimento com as usinas termelétricas estão próximos de vencer, com validade máxima até 2021.

Além das questões políticas da Venezuela e as questões de prazos contratuais, uma importante análise é a avaliação do custo da energia, tendo em vista que a energia proveniente de usinas termelétricas a óleo diesel é bem mais cara.

Uma outra pauta que é importante ser tratada refere-se à questões ambientais. É sabido o impacto ambiental de usinas termelétricas, como sua contribuição para o aquecimento global e também o fato de usar um combustível fóssil que não se renova.

Nesse contexto, o problema identificado para realização desse trabalho se traduz na questão de como atender o mercado do sistema isolado de Boa

Vista, de forma a resolver os problemas enfrentados atualmente, tendo em mente que essas possíveis soluções devem atender às questões ambientais e possuir vantagens econômicas, frente ao que já se tem.

Portanto, o objetivo desse trabalho é apresentar as alternativas de suprimento de energia que são passíveis de sucesso para o caso do Sistema Isolado de Boa Vista. Para isso, serão abordadas as características dos sistemas isolados, com ênfase na única capital que faz parte desse sistema. Posteriormente serão apresentadas formas de abastecimentos de energia com ênfase de fontes renováveis, bem como estudos que demonstrem casos de sucesso. E por fim, destacar quais ações estão sendo tomadas no âmbito do governo federal.

Trabalhos semelhantes a esse já foram desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa de Energética – EPE. Para este trabalho, o escopo da análise se restringirá às questões técnicas e regulamentares.

Em razão da dificuldade de levantar os custos que envolvem os projetos próximos da realidade, não serão abordadas comparações de custos entre as alternativas encontradas.

2 Referencial Teórico

2.1. Os sistemas elétricos do Brasil

A área territorial do Brasil se traduz em 8.516.000 km² e, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a projeção da população no ano de 2019 é de cerca de 209,6 milhões de habitantes [1].

Ao pensar nesses números associados à demanda por energia elétrica e seu efetivo abastecimento, vê-se que há um grande desafio para o planejamento energético do país, que passa por questões econômicas, tecnológicas e regulamentares.

Segundo [2], uma publicação apresentada pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, no ano de 2017, a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil era de 157.112 MW. No referido ano, a geração de energia elétrica foi de 588 TWh.

O Brasil apresenta uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica. A fim de ilustrar a distribuição dessa matriz, a Tabela 2.1 apresenta dados de geração elétrica, por fonte, no ano de 2017.

Tabela 2.1 Geração elétrica por fonte no Brasil – 2017

	Geração elétrica (GWh)	%
Hidráulica	370.906	63,1
Gás Natural	65.593	11,2
Derivados de Petróleo	12.733	2,2
Carvão	16.257	2,8
Nuclear	15.739	2,7
Biomassa	49.385	8,4
Eólica	42.373	7,2
Outras	14.976	2,5

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 [3]

Com vistas a contribuir para o planejamento do suprimento de energia do país, a EPE realiza também estudos e projeções do consumo e da carga de

energia elétrica do Setor Brasileiro. Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 [3], elaborado por esta empresa, o consumo de energia no Brasil, em 2017, foi de 467.161 GWh.

Com a finalidade de possibilitar a transferência dessa energia gerada e o devido atendimento da carga, o Brasil foi dividido em subsistemas. Essa configuração em subsistemas permite também ganhos sinérgicos e a exploração da diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias.

O Sistema Interligado Nacional – SIN é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte [4], conforme ilustrado na Figura 2.1 abaixo. Esses sistemas elétricos são interconectados por meio de uma malha de transmissão. Sua integração de recursos de geração e transmissão permite o atendimento ao mercado de forma segura e econômica.

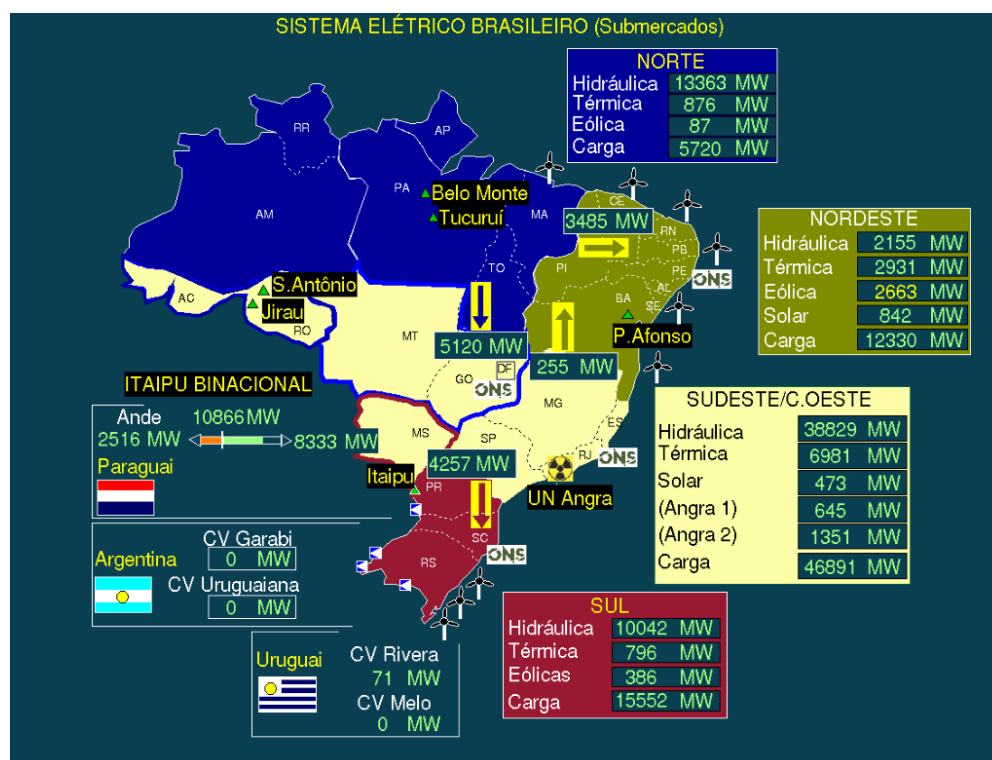


Figura 2.1 - Divisão do Brasil nos quatro submercados

Fonte: Tela de monitoração do Centro Nacional de Operação do Sistema (CNOS/ONS) no dia 21/02/2019

O Decreto nº 7.246, de 26 de julho de 2010 [5], regulamentou a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, que, entre outras coisas, dispõe sobre o serviço de energia elétrica dos Sistemas Isolados. Em seu artigo 2º, o referido Decreto conceitua que Sistemas Isolados são “sistemas elétricos de serviço

público de distribuição de energia elétrica que, em sua configuração normal, não estão conectados ao SIN, por razões técnicas ou econômicas”.

Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, que desde 1º de maio de 2017, assumiu as atribuições de previsão de carga e de planejamento da operação dos Sistemas Isolados, atualmente, existem 237 localidades isoladas no Brasil. Predominam as localidades da região Norte do país, situadas nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. Além disso, fazem parte também a ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco e algumas localidades de Mato Grosso. Cabe destacar aqui que, entre todas as capitais do país, Boa Vista (RR) é a única que ainda é atendida por um sistema isolado.

Tem-se que o consumo de energia nessas localidades é baixo e representa menos de 1% da carga total do país. A Tabela 2.2 ilustra como foi o consumo de energia no Brasil, em 2017, por subsistemas [3]. A título de comparação, o consumo de energia nos sistemas isolados também é apresentado.

Tabela 2.2 Consumo de energia por subsistema elétrico – 2017

	Consumo de energia elétrica (GWh)	%
Brasil	467.161	100
Sistemas Isolados	2.893	0,6
Norte	34.843	7,5
Nordeste	72.809	15,6
Sudeste/Centro-Oeste	271.619	58,1
Sul	84.997	18,2

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 [3]

A regulamentação do planejamento do atendimento aos Sistemas Isolados se dá por meio do Decreto 7.246/2010 [5] e da Portaria MME nº 67, de 1º de março de 2018 [6]. O art. 7º do Decreto nº 7.246/2010 estabelece que “os agentes de distribuição de energia elétrica deverão atender à totalidade dos seus mercados nos Sistemas Isolados por meio de licitação, na modalidade de concorrência ou leilão”. A Portaria MME nº 67/2018 trata justamente das condições dessa contratação de solução de suprimento, na modalidade de leilão.

A Portaria MME nº 67/2018 estabelece que os agentes de distribuição de energia que abastecem os Sistemas Isolados devem, anualmente, submeter ao

Ministério de Minas e Energia – MME, por meio da EPE, uma proposta de planejamento de atendimento compreendendo um horizonte de cinco anos.

De posse dos dados encaminhados à EPE, esta elabora um documento de consolidação das informações que servirá de subsídio para o planejamento de atendimento aos Sistemas Isolados, bem como para as diretrizes que o MME definirá com vistas a realizar leilões para efetivar esse atendimento.

De acordo com o documento elaborado pela EPE intitulado “Sistemas Isolados – Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2023 – Ciclo 2018” [8], existem 270 Sistemas Isolados no Brasil, distribuídos por 8 estados e atendendo à uma população de um pouco mais de 3 milhões de habitantes. A Tabela 2.3 foi retirada desse documento para trazer detalhes desses dados.

Tabela 2.3 Quantidade de Sistemas Isolados por UF - 2018

Estado	Número SIs	População atendida
Acre	9	213.579
Amapá	29	43.315
Amazonas	95	1.657.298
Pará	23	668.077
Rondônia	25	170.953
Roraima	86	494.409
Mato Grosso	2	4.038
Pernambuco	1	3.016
Total	270	3.254.685

Fonte: EPE - “Sistemas Isolados – Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2023 – Ciclo 2018” [8]

A fim de restringir a análise desse trabalho ao seu objeto, será dada uma ênfase às informações dos Sistemas Isolados que atende o estado de Roraima, em especial sua capital, Boa Vista.

Com relação à Boa Vista, sua geração e suprimento de energia se dá basicamente por meio de termelétricas à diesel e por importação de energia da Venezuela. No que se refere às térmicas, são 5 usinas com potência instalada de 189,1 MW. Com relação ao contrato de importação de energia, que atende Boa Vista e também outras localidades no estado de Roraima, este se iniciou em 2001 e tem validade até 2021.

Atualmente, com a crise que assola a Venezuela, várias questões estão sendo pauta no que se refere ao planejamento do abastecimento do estado de Roraima, em especial, a cidade de Boa Vista. O levantamento feito pela EPE indica que o planejamento para Roraima sofre de incertezas em virtude do elevado fluxo migratório na região. Além disso, problemas de desligamento no fornecimento de energia por aquele país têm impactado no custo da geração de energia aqui no Brasil.

A energia contratada com a Venezuela apresenta um custo bastante inferior ao custo das termelétricas que abastecem a região. Entretanto, desde janeiro de 2016, vem ocorrendo constantes desligamentos e interrupções do fornecimento de energia, resultando num maior acionamento de termelétricas a óleo diesel.

Diante desse cenário, e da instabilidade política e econômica que a Venezuela vive, não se pode afirmar se esse contrato de importação de energia será renovado.

Tem-se que a interligação do estado de Roraima ao SIN tem sido objeto de estudo e discussões há quase 10 anos. Entretanto, soluções que foram surgindo não se mostraram bem sucedidas, como é o caso do sistema de uma linha de transmissão em 500 kV, que foi projetado para conectar Manaus a Boa Vista, com extensão de 716 km, e que servirá para atender ao mercado de energia elétrica do estado de Roraima e também, num futuro, escoar o excedente de energia dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do Rio Branco que ainda estão em fase de estudo.

Esse projeto foi licitado em 2011 e, em 2012, o contrato de concessão de serviço público de transmissão de energia elétrica foi assinado, com vigência de 30 anos. Contudo, questões relacionadas a licenciamento ambiental resultaram em solicitação de rescisão de contrato e não há previsão para conclusão desse empreendimento.

Diante do grande desafio que envolve a solução do suprimento de energia para o mercado de consumidores de energia de Boa Vista e demais localidades do estado de Roraima, em 2017, foi criado pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CSME, um grupo de trabalho composto pela EPE, pelo ONS, pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, com vistas a avaliar as condições de atendimento da região, bem como analisar alternativas e propor soluções para aumentar a confiabilidade desse atendimento.

2.2. Estudos de soluções de abastecimento por meio de fontes renováveis

A busca de alternativas para suprimento de energia aos Sistemas Isolados vem sendo objeto de análise há algum tempo pelos formuladores de política do setor elétrico.

Nesse contexto, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, publicou a Nota Técnica nº EPE-DEE-NT-027/2014-r0, de 21 de fevereiro de 2014, intitulada “Avaliação de Alternativa de Suprimento em Sistemas Isolados do Acre – Avaliação de sistemas híbridos com energia fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre” [10].

O objetivo desse estudo era avaliar alternativas de suprimentos aos Sistemas Isolados, considerando o uso de sistemas híbridos com geradores a diesel e energia solar fotovoltaica, com e sem armazenamento de energia por meio de baterias.

A metodologia empregada consistiu de um levantamento sobre o mercado de energia e a demanda de potência a ser contratada até o décimo quinto ano de suprimento das localidades Marechal Thaumaturgo, Porto Walter, Jordão e Santa Rosa do Purus.

Tendo constatado o elevado custo de suprimento apenas com uso de usina termelétrica, foi analisada a viabilidade da implantação de sistemas híbridos de fornecimento de energia.

Para a comparação, foi feita análise de custo do investimento para cada tipo de geração (gerador a diesel, sistemas fotovoltaicos e baterias). Além disso, o sistema de cada localidade foi simulado utilizando um software denominado *Homer*, a fim de encontrar a melhor configuração utilizando geradores a diesel, sistemas fotovoltaicos e baterias.

O estudo concluiu que a adoção de sistemas híbridos, formados por sistemas fotovoltaicos, armazenamento de energia por meio de baterias e geradores a diesel, proporciona benefício econômico no valor da energia, em R\$/MWh, apesar de implicar em um aumento do investimento inicial. Além disso, há uma menor vulnerabilidade em função da expectativa de aumento do preço do diesel, redução de impactos ambientais, com menor consumo de combustíveis fósseis e, por fim, geração de conhecimento em sistemas renováveis na região amazônica, propiciando desenvolvimento tecnológico, industrial, comercial e de mão de obra nacional.

Mantendo-se nessa linha de busca de soluções de suprimento, o CMSE, em 2017, criou um Grupo de Trabalho, sob a coordenação do MME, com o objetivo de identificar alternativas, no médio e longo prazo, que garantam a segurança energética para Roraima.

Como dito anteriormente, o sistema isolado de Boa Vista é abastecido por cinco usinas termelétricas com potência instalada de 189,1 MW. O término da validade desses contratos de fornecimento varia de outubro/2019 a dezembro de 2020, já considerando neste prazo a possibilidade de prorrogação. Dessa forma, as alternativas a serem analisadas passam necessariamente por essa demanda e por esse prazo.

No âmbito dos trabalhos desenvolvidos por esse Grupo, cabe destacar um estudo elaborado pela EPE, intitulado “Sistemas Isolados GT Roraima – Subgrupo IV Identificação de alternativas de atendimento – médio e longo prazo”, que teve por objetivo o levantamento de opções de geração de energia elétrica em Roraima [9]. Tal análise abrangeu aspectos como benefícios, dificuldades, cronograma e potenciais de cada fonte de energia, além da capacidade remanescente de escoamento do sistema elétrico do referido estado.

Nesse estudo foi identificado que, quanto ao potencial eólico de Roraima, tem-se que as maiores velocidades de vento registradas estão situadas no extremo norte do estado, onde se localizam também unidades de conservação ambiental e terras indígenas. Entretanto, existe outros locais favoráveis à implantação desse tipo de fonte em áreas que não apresentam restrições ambientais.

Soma-se às limitações da geração por usinas eólicas seu caráter intermitente e sazonal. Assim, para o caso do abastecimento contínuo e seguro, resta ainda a necessidade do uso de energia proveniente de usinas termelétricas.

No que se refere ao tempo de construção de usinas eólicas, pode-se considerar que geralmente é curto, variando de 6 a 30 meses. Contudo, conforme estudo apontado pela EPE, para implantar parques eólicos nas regiões que não apresentam restrições ambientais, se faz necessária uma medição local de dados anemométricos por no mínimo 12 meses, prazo esse que deve ser acrescentado numa projeção de abastecimento.

A EPE fez simulações para a produtividade fotovoltaica na região de Boa Vista e os valores encontrados representam de 75 a 90% da produtividade de usinas fotovoltaicas na Bahia, que é uma região com os melhores índices de irradiação global horizontal – GHI do Brasil.

No que se refere a prazo, uma vantagem apresentada por essa fonte de energia é que sua implantação se dá de forma rápida, variando entre 6 e 24 meses.

Uma desvantagem do aproveitamento fotovoltaico é que sua geração é diurna, conforme ilustrado na Figura 2.2 abaixo, e a curva de carga da região de em análise tem seu pico no período noturno, conforme ilustrado na Figura 2.5 abaixo.

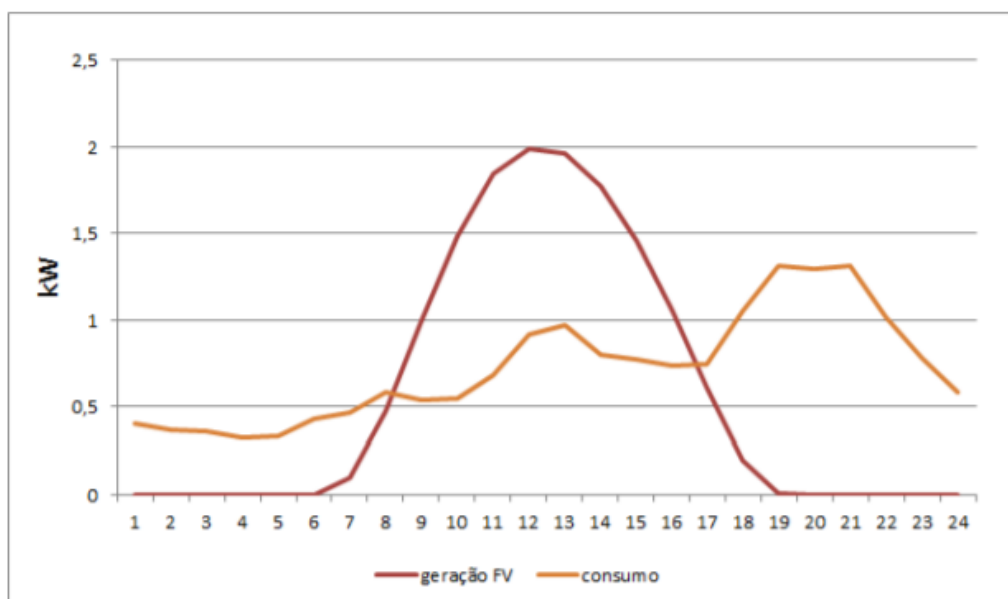


Figura 2.2 - Consumo residencial versus a geração solar fotovoltaica típica

Fonte: ANEEL – “Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL [11]”

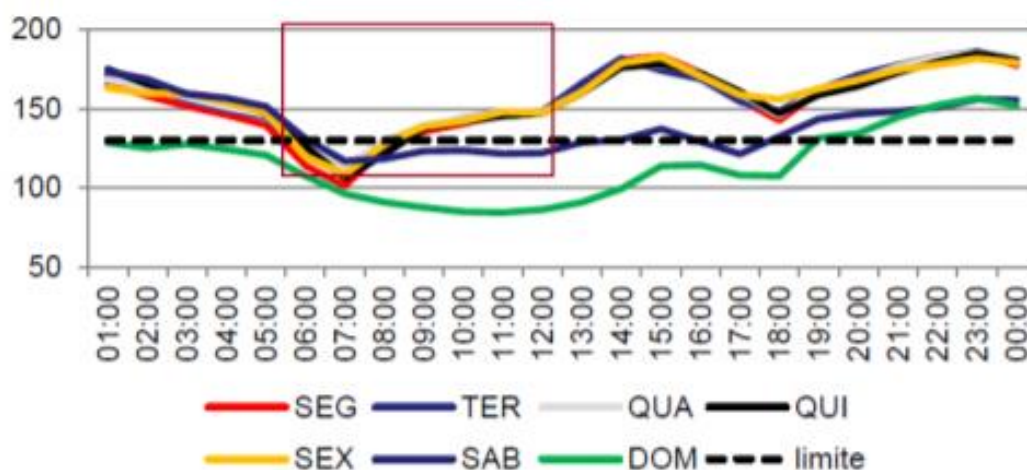


Figura 2.3 - Curva de carga típica de Roraima (demanda em MW)

Fonte: EPE – “Sistemas isolados GT Roraima [12]”

Assim como em qualquer fonte de energia, essa também apresenta questões ambientais a se considerar, no caso, a área requerida para instalação dos painéis fotovoltaicos. Dessa forma, áreas de conservação ambiental e terras indígenas podem representar dificuldades para obter licenciamento ambiental. Uma possível alternativa seria intensificar os incentivos à instalação de painéis solares nos telhados de residências e prédios comerciais nas regiões de sistema isolado para um melhor aproveitamento da geração fotovoltaica.

Quanto à biomassa, há potencial para o uso de biodiesel de palma, madeira de acácia de arroz. A vantagem para esse tipo de fonte é que o prazo de implantação é rápido, variando de 6 a 26 meses.

Comparando esses combustíveis, a biomassa de acácia apresenta vantagem por já ter disponível na região. A palma necessita de um período de 5 (cinco) anos de crescimento, até estar apta para a extração do óleo. E o arroz, apesar do estado de Roraima apresentar uma boa produção, ela está distribuída pelo estado, o que acarretaria em uma complexa logística de transporte.

O estado de Roraima ainda apresenta um potencial hidrelétrico, totalizando cerca de 780 MW, com a usina de Bem Querer e outras. Entretanto, são projetos de grande porte e estão em fase de estudos de inventário, licenciamento ambiental, o que representa um horizonte longo de implantação, podendo chegar a 10 anos.

Outro importante estudo elaborado pela EPE junto ao Grupo de Trabalho e que serviu de subsídio para o MME definir as diretrizes do leilão de suprimento de Boa Vista foi o “Sistemas Isolados GT Roraima – Estudo para contratação de energia elétrica e potência associada no sistema de Boa Vista. [12]”

Para elaboração desse estudo, vários fatores foram considerados, tais como: expectativa de crescimento de mercado, utilização de recursos energéticos locais, confiabilidade do suprimento energético, sustentabilidade econômica da geração de energia elétrica e restrições elétricas do sistema. E, ainda, uma importante análise feita foi de cenários em que se considera a renovação ou não do contrato de fornecimento de energia pela Venezuela.

Aquele primeiro estudo resultou em possíveis fontes a se considerar, com base nas particularidades e potenciais da região. Partindo dessa informação, esse segundo estudo considerou as seguintes premissas e metodologia:

- Para a previsão de demanda (MW) até 2033 foi considerada a curva de carga horária verificada para o ano de 2016, fornecida

pela Eletrobras Distribuição Roraima, e a carga prevista para 2021, 276 MW;

- Para a determinação do custo total de atendimento ao sistema considerou-se: estimativa do custo de disponibilidade das usinas a óleo diesel e combustível (curto, médio e longo prazo) e do seu custo variável – CVU; curvas de geração estimadas para as fontes não controláveis; restrições de potencial de geração das fontes energéticas; e disponibilidade de cada fonte;
- Foram considerados diferentes cenários para a contratação de geração de energia elétrica levando em consideração o preço do diesel, a taxa de desconto, a renovação do contrato de fornecimento de energia com a Venezuela e a data de interligação do sistema de Boa Vista com o SIN;
- Utilizou-se simulações do *software* Homer e um modelo criado pela EPE;
- A questão do fornecimento de energia com a Venezuela foi simulada de 3 maneiras: renovação do contrato pelo valor atual – R\$ 157/MWh (considerando 1 US\$ = R\$3,30); renovação por um preço acima do atual – R\$ 300/MWh e R\$ 900/MWh; e extinção do fornecimento pela Venezuela. Para o caso de admissão do contrato, considerou-se uma capacidade limitada a 130 MW;
- Foram considerados na análise quatro possíveis prazos para a conexão do sistema de Boa Vista ao SIN: 5, 10 ou 15 anos.
- Tendo em vista as previsões de encerramentos dos contratos de fornecimento atuais junto às termelétricas, não foram considerados nos estudos fontes cujo cronograma de implantação e operação ultrapassasse esse prazo. Foi o caso das usinas hidrelétricas e eólicas.

No dimensionamento do mercado, tem-se ainda que a Portaria MME nº 501, de 28 de dezembro de 2017, reconheceu “a necessidade de manutenção dos 216,5MW instalados em Boa Vista, até a efetiva interligação do sistema Boa Vista ao SIN ou até a entrada em operação de outras soluções de suprimentos definidas pelo MME” [13].

Além disso, o Operador Nacional do Sistema – ONS estabeleceu nos procedimentos de rede para as capitais que, para fins de satisfazer os requisitos

de confiabilidade, pelo menos 50% da carga da localidade deve ser atendida por meio da geração local. O impacto dessa medida também foi considerado na avaliação.

Com o tamanho do mercado e os elementos da análise definidos, o estudo apontou as premissas e custos considerados para cada fonte que foi analisada, os quais estão apresentados na Tabela 2.4 abaixo.

Tabela 2.4 - Premissas e custos para as diferentes fontes

	Lógica de suprimento	Custo do Combustível	Custo de investimento	Operação das usinas
Óleo Diesel	Logística de suprimento já consolidada na região	<p>Incerteza acerca do preço, duas possibilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> R\$ 2,51/litro, preço médio do diesel das distribuidoras de Roraima em jun/2017 (ANP) R\$ 3,01/litro – preço 20% superior ao anterior. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$1.000,00/kW/ano R\$2.500,00/kW, na avaliação plurianual, considerando contrato de no mínimo 5 anos. 	Os geradores a diesel serão responsáveis pela modulação de carga.
Óleo Combustível	Não há registro de utilização desse combustível para geração de energia elétrica na região, devido a uma cadeia de suprimentos menor.	<ul style="list-style-type: none"> R\$2,23/kg, com base em publicação na ANP e uma estimativa de custo de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$2.500,00/kW, considerando custo de reposição de 60%. 	Os geradores a óleo combustível devem operar na base, sempre à sua potência nominal
Biodiesel	Mesma premissa do Diesel	<ul style="list-style-type: none"> R\$2,355/litro (valor obtido do resultado do leilão da ANP10 para aquisição de biodiesel - média da região Norte - com entrega prevista para 2017). 	Mesma premissa do Diesel	Mesma premissa do Diesel

	Lógica de suprimento	Custo do Combustível	Custo de investimento	Operação das usinas
Biomassa	A produção de biomassa na região ocorre de forma espalhada pelo estado, logo a viabilização de uma usina desse porte pode ser comprometida.	<ul style="list-style-type: none"> R\$190/tonelada, já incluindo corte, transporte e armazenamento da madeira. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 5.000/kW. 	Usina com capacidade instalada de 40 MW, cujo combustível seria o cavaco da madeira proveniente da plantação de Acácia na região, operando a 100% da carga, na base
Fotovoltaica	-	-	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 5.300/kWp, considerando uma vida útil de 15 anos para os módulos fotovoltaicos e de 10 anos para os inversores. 	Possibilidade de geração com usinas de diferentes tamanhos, como usinas de 30 MWp, 60 MWp ou 90 MWp.
Baterias	-	-	<ul style="list-style-type: none"> R\$6.000/bateria, considerando câmbio, importação, frete e impostos. 	Foram consideradas baterias do tipo íon-lítio, excluindo a possibilidade do carregamento se dá com a utilização de combustível das térmicas.

Partindo de todas as premissas apontadas e após gerar várias simulações, o estudo apresentou os seguintes resultados:

- O suprimento de energia pela Venezuela no preço atual, resulta no menor custo de energia, qualquer que seja a matriz considerada;
- Ao não considerar o suprimento pela Venezuela, verifica-se um aumento do custo total de energia da ordem de 70%, o que torna a geração fotovoltaica e a óleo combustível mais competitivas e o armazenamento em bateria também surge uma solução possível;
- A biomassa pode induzir à redução do custo total de geração;
- A inserção de fontes renováveis torna o custo da energia elétrica menos vulnerável a elevações de preço do óleo diesel.
- O fornecimento de energia pela Venezuela e a geração a biomassa se mostraram como as opções que levam ao menor custo de energia;
- Uma menor taxa de desconto tende a favorecer as fontes com maior custo de investimento, como a usina fotovoltaica, porém seu impacto no custo de energia mostra-se pouco significativo. Cabe destacar que este custo de investimento com os sistemas fotovoltaicos está reduzindo cada vez mais;
- O contrato com a Venezuela impacta de maneira significativa o mix de geração, ou seja, no percentual de cada fonte na matriz. Quanto mais caro o contrato com a Venezuela, a usina fotovoltaica se mostra mais competitiva e atua na redução do custo total de atendimento do Sistema;
- A participação do óleo combustível na matriz também se torna mais evidente na ausência do fornecimento da Venezuela, apesar de ainda assim depender do preço considerado;
- Contratos mais longos levam a menores preços de energia. Porém, caso esse horizonte coincida com a interligação de Boa Vista ao SIN, isso acarretará em desperdício de recursos.
- A bateria não resultou em nenhuma configuração com menor custo, à época do estudo. No entanto, novas tecnologias à exemplo do uso da bateria com íon-lítio ou com chumbo-ácido, pode ser que o uso dessa solução apresente ganhos significativos e se torne viável.

Cabe destacar que quanto ao resultado das baterias, tem-se que sua tecnologia permite adotar inúmeras configurações, permitindo o atendimento das especificações do fornecimento. Dessa forma, ela pode se apresentar de forma mais competitiva.

Na busca por artigos científicos que corroborem com as vantagens de soluções híbridas para fontes de energia, que cabe destacar um estudo que foi desenvolvido no artigo feito por Bortolini, Gamberi e Graziani (2014), que desenvolveram o artigo “Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system” [14], que teve por objetivo apresentar uma análise técnica e econômica para um projeto de uma rede conectada a um sistema fotovoltaico com armazenamento de energia por bateria.

O estudo destaca a atual tendência de mudança na forma de geração de energia, substituindo a concentração da geração de maneira centralizada pela geração descentralizada utilizando fontes renováveis de energia, a exemplo das energias solar e eólica. Esse uso mais intenso das fontes renováveis traz diversas vantagens, a exemplo da redução do impacto ambiental e da possibilidade de levar energia elétrica para áreas mais remotas.

No entanto, devido à intermitência intrínseca da energia solar e sua interdependência de fenômenos naturais, é preciso desenvolver uma estratégia de armazenamento da energia gerada com o intuito de compensar as flutuações e garantir o suprimento de energia durante o período de não geração, ou seja, no período noturno quando se têm a ausência de incidência solar.

O artigo apresenta uma solução que combina um sistema fotovoltaico com um sistema de armazenamento em bateria com o intuito de minimizar os custos de geração de energia e garantir o máximo aproveitamento da energia solar, compensando as diferenças existentes entre os picos de geração e os picos de consumo. O modelo consiste em garantir o suprimento prioritariamente pela energia solar e pelo sistema de armazenamento, recebendo energia da rede elétrica somente quando necessário, ou seja, a conexão à rede funciona como uma espécie de backup em caso do conjunto fotovoltaico com o sistema de baterias não ser suficiente para a demanda. As entradas do sistema são basicamente o nível de irradiação, a temperatura e o perfil de demanda considerando todo o sistema. O modelo proposto foi aplicado para definir a configuração de um sistema para a construção de novos prédios de Engenharia e Arquitetura na Universidade de Bologna, na Itália.

A solução proposta consiste em suprir a demanda instantânea pela energia solar ou pela armazenada na bateria, com a seguinte estratégia: a

energia gerada pelo sistema fotovoltaico é direcionada primeiramente para suprir a demanda atual do sistema. Caso essa energia seja superior à carga, o excedente é direcionado ao sistema de bateria, até que este atinja o seu limite. O processo de carregamento da bateria se encerra ou quando ela atinge sua capacidade máxima ou quando não existe diferença entre a energia produzida e a demanda do sistema. Caso a demanda esteja cumprida e o sistema de bateria totalmente carregado, a energia remanescente é vendida à rede.

Por outro lado, nos períodos de baixa ou inexistente irradiação solar, em que o sistema fotovoltaico não apresenta geração, a demanda é suprida pelo sistema de baterias até que se atinja o limite mínimo de armazenamento. O processo de suprimento de energia pelo sistema de baterias se encerra ou quando a carga é completamente suprida ou quando a capacidade mínima do sistema de baterias é atingida. Neste caso, o suprimento da energia renascente é feito via alimentação pela rede elétrica.

Para realizar o estudo, foi desenvolvido um modelo analítico do conjunto fotovoltaico com o sistema de bateria. O modelo do sistema fotovoltaico quantifica sua produção horária e considera o efeito de redução em sua eficiência devido à degradação do sistema. Já com relação ao sistema de bateria, sua capacidade é expressa pelo seu armazenamento total e por sua autonomia, ou seja, quantas horas esse sistema consegue suprir a demanda considerando uma carga média. Além disso, foi desenvolvido também um modelo econômico com o intuito de reduzir os custos da geração de energia. Esta variável é representada por um parâmetro que é a razão entre a soma dos custos e a energia produzida, ambos nivelados pela inflação. Por fim, são incluídos também os custos associados à implementação do conjunto (sistema fotovoltaico + baterias) e à sua degradação em função do uso por um período prolongado de tempo.

Os estudos são feitos com vários cenários, alternando os parâmetros apresentados e os resultados mostram uma configuração ótima com uma redução nos custos de geração de 24,5% se comparado ao preço da energia pela rede elétrica. Além disso, mostrou-se também que para sistemas fotovoltaicos com potência nominal inferior a 200 kWp, o uso do sistema de baterias não se mostrou efetivo. Já para sistemas com potência nominal superior a 200 kWp, quanto maior a potência do sistema, maior é a necessidade do sistema de baterias, visto que seu uso leva a custos associados cada vez menores.

Outro estudo que cabe destacar foi desenvolvido no artigo feito por Meskani, Haddi e Becherif (2015), intitulado “Modeling and simulation of a hybrid energy source based on solar energy and battery, 2015 [15].

De acordo com Meskani, Haddi e Becherif (2015), a energia solar surge em um cenário com a necessidade de substituição das atuais fontes de geração de energia por opções com menor impacto no meio ambiente, visto que é uma fonte limpa e renovável. No entanto, um dos problemas que está associado a esse tipo de geração é a impossibilidade de suprir os picos de demanda inerentes à carga. O artigo apresenta uma proposta de solução híbrida entre um sistema de geração fotovoltaico com um sistema de baterias com o intuito de garantir o suprimento da energia em situações de carga em regime permanente pelo sistema fotovoltaico e utilizar as baterias para suprir a carga nos períodos de regime transitório, na existência de picos.

O artigo é baseado no desenvolvimento de um modelo dinâmico. O sistema fotovoltaico é modelado basicamente por um diodo em paralelo com uma fonte de corrente, que representa a corrente gerada pela incidência de irradiação solar. Ademais, inclui-se um capacitor em paralelo com este sistema, representando a capacitância do sistema que é dependente do nível de voltagem; uma resistência em série representando a resistência dos cabos e do material semicondutor e uma resistência em paralelo que representa a corrente de fuga inerente ao sistema. A corrente da fonte de corrente é diretamente proporcional à irradiação solar no sistema fotovoltaico. O sistema de baterias é modelado por um circuito equivalente composto por uma fonte de tensão e um resistor interno. Essa resistência interna é a principal responsável pela limitação de descarga da bateria e pela capacidade de carregamento.

A proposta do artigo é que, como os sistemas fotovoltaicos e de bateria apresentam desvantagens intrínsecas, a melhor abordagem seria uma solução híbrida, em que o sistema fotovoltaico é a principal fonte de energia suprindo a carga em regime permanente e as baterias fornecem energia complementar nos picos de demanda e absorvem a energia remanescente nos picos em que a carga é inferior à geração. Nesta modelagem, o sistema apresentará três modos de operação: modo de carregamento, em que a fonte principal, ou seja, o sistema fotovoltaico, fornece energia para a bateria; modo de descarregamento, em que a bateria e o sistema fotovoltaico suprem a demanda de energia; e modo de recuperação, em que a própria carga supre energia para a bateria (o artigo considera o exemplo de um carro que opere com esse funcionamento). Para garantir o máximo ponto de operação do sistema fotovoltaico, é utilizado o

Algoritmo de Perturbação e Observação para obtenção do máximo ponto de máxima potência.

As simulações foram feitas via Simulink e Matlab e os resultados encontrados mostram que: na presença de variação de carga, a bateria supre satisfatoriamente a carga e em regime permanente, a carga é completamente suprida pelo sistema fotovoltaico, visto que a corrente da bateria é nula, ou seja, as baterias conseguem suprir e absorver os picos de energia do regime transitório. Deste modo, a solução híbrida apresentada é satisfatória para cumprir tanto o regime permanente quando o transitório dos sistemas, possibilitando a redução dos harmônicos nas linhas.

Sob a ideia de redução de consumo de combustível fóssil, Bhandari, Chalise, Sternhagen e Tonkoski (2013) publicaram o artigo “Reducing Fuel Consumption in Microgrids Using PV, Batteries, and Generator Cycling” [16].

O objetivo desse trabalho foi analisar, para uma rede de abastecimento de pequeno porte, a redução de consumo de combustível utilizando energia fotovoltaica, associada a baterias e a um sistema de co-geração. Para isso, a metodologia empregada foi a avaliação da performance dos modelos criados, usando o software HOMER, além de análise econômica.

Os autores concluíram que os sistemas híbridos utilizando energia fotovoltaica têm grande potencial para reduzir o consumo de combustível e o custo da energia, porém o custo inicial para implantação é alto.

A análise pretendida nesse trabalho já foi objeto de outros estudos, como Furlan (2008), que defendeu a tese “Análise comparativa de armazenamento de Energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da Região Amazônica” em seu mestrado [17].

O trabalho de Furlan (2008) teve por objetivo comparar formas de armazenamento de energia por meio de baterias e hidrogênio e calcular o custo da energia elétrica produzida para cada sistema modelado.

Para esses fins, a metodologia empregada foi o desenvolvimento de um modelo matemático para o dimensionamento dos sistemas, onde foram consideradas as principais características e eficiências dos equipamentos que compõem os sistemas, bem como o perfil de carga característico das comunidades da Região Amazônica. Além disso, foi realizada uma análise econômica dos sistemas.

O estudo concluiu que o sistema que utiliza baterias apresenta vantagens econômicas frente ao sistema a hidrogênio, como custo inicial para implantação dos sistemas. Além disso, o custo da energia elétrica do sistema fotovoltaico a

bateria foi menor. Entretanto, algo que não foi avaliado nesse estudo foi o custo com operação, manutenção e transporte das baterias em locais remotos, o que deve aumentar o valor dos investimentos a serem feitos.

Voltando ao estudo feito para contratação de energia elétrica e potência associada no sistema de Boa Vista, uma importante conclusão que eles apontaram quanto ao uso de baterias é que “entende-se que o armazenamento em baterias deve ser permitido, a critério dos proponentes no futuro leilão, desde que associadas a uma fonte geradora que a carregue”.

2.3. O leilão de energia elétrica para atendimento de Boa Vista

Como já afirmado, Boa Vista é a única capital do país que não está interligada ao SIN. Embora nos últimos anos o governo tem buscado avançar nessa interligação, esse projeto ainda figura num horizonte de longo prazo para sua execução.

Outra indefinição que permeia o abastecimento dessa capital é o suprimento da Venezuela. Dessa forma, o que se vislumbra como solução nesse momento é a contratação de energia, que, como estabelecido por lei, deve ser feito por meio de leilão.

Nesse contexto, uma ideia nova que surgiu no âmbito do Grupo de Trabalho foi a implantação de um sistema de armazenamento de energia no Estado, bem como parte da carga de Boa Vista, com o intuito de garantir o suprimento das cargas quando houvesse perda da interligação por parte da Venezuela. Para isso, considerou-se a contratação de um sistema de bateria com capacidade de 70 MW.

Entretanto, cabe destacar que na Portaria 67/2018, que estabelece condições para contratação de soluções de suprimento, na modalidade de leilão, para atendimento dos Sistemas Isolados, define-se solução de suprimento como “instalação ou conjunto de instalações destinadas à geração de energia e potência elétricas para suprimento a Sistema Isolado”.

Dessa forma, por não se tratar de um sistema de geração de energia, tem-se que sua contratação encontra restrições regulamentares para se viabilizar.

Diante dessa questão, restou seguir os trâmites tradicionais. O resultado de todos esses estudos serviu de base para o MME elaborar diretrizes para a realização de um leilão com vistas a suprir o mercado de Boa Vista.

Nesse contexto, conforme estabelece o Decreto nº 7.246/2010 e a Portaria MME nº 67/2018, os agentes de distribuição devem encaminhar anualmente à EPE suas propostas de planejamento, para que esta análise e envie para aprovação do MME.

Após identificarem as necessidades de contratação de solução de suprimento para a expansão ou substituição da oferta existente, o MME define quais serão as diretrizes para a realização de leilões.

Esse trâmite foi seguido e, em 21 de dezembro de 2018, o MME publicou a Portaria nº 512, que estabelece “as Diretrizes para a realização do Leilão para aquisição de Energia e Potência Elétrica de agente vendedor, disponibilizadas por meio de Solução de Suprimento para o atendimento ao mercado consumidor do Estado de Roraima, denominado "Leilão para Suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas", de 2019”. O Leilão deverá ser realizado até 31 de maio de 2019.

Ao comparar o modelo desse leilão com outros leilões que ocorreram para os Sistemas Isolados, têm-se algumas inovações em suas diretrizes. A mais significativa delas é o fato de que ele foi dividido em uma contratação em função da disponibilidade de potência e montante anual de energia.

O art. 6º da Portaria MME nº 512/2018 estabelece que:

“Para o Leilão para Suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas, de 2019, poderão ser apresentadas Soluções de Suprimento para dois produtos distintos:

I - Produto Potência, no qual poderão participar Soluções de Suprimento com capacidade de modulação de carga e flexibilidade para operação variável, para as quais o compromisso de entrega consiste em disponibilidade de potência, em MW, e a respectiva energia associada, em MWh, caso necessária; e

II - Produto Energia, no qual poderão participar Soluções de Suprimento cujas fontes primárias sejam exclusivamente fontes renováveis, para as quais o compromisso de entrega consiste em produção anual de energia, em MWh.”

Em 1º de março de 2019, a EPE concluiu a etapa de cadastramento das propostas de solução de suprimento para participação no leilão de Boa Vista, referente à Portaria MME nº 512/2018. Conforme noticiado pela Empresa, foram cadastradas 156 propostas. Estas se encontram em análise para habilitação técnica.

3 Metodologia

Para fazer uma avaliação das alternativas de suprimento aos Sistemas Isolados, em particular o Sistema Isolado de Boa Vista, a metodologia de pesquisa usada para embasar esse estudo foi a descritiva, com uma profunda revisão da literatura existente, a fim de definir e qualificar as tecnologias mais desenvolvidas atualmente, bem como listar suas características de desempenho, e dessa forma, fazer um levantamento das vantagens e desvantagens de cada solução possível.

Com fonte de dados primários, a pesquisa foi baseada em estudos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, que trabalha exatamente com a finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Além disso, para contextualizar a questão no âmbito legal, buscaram-se referências em leis, decretos e portarias que regulamentam o assunto.

Ainda como fonte de pesquisa, há alguns artigos publicados sobre o tema, destacando casos de implantação e bons resultados de desempenho das soluções tecnológicas aqui descritas. Os autores que contribuíram com o trabalho foram: Bortolini, Gamberi e Graziani (2014), Meskani, Haddi e Becherif (2015), Bhandari, Chalise, Sternhagen e Tonkoski (2013) e Furlan (2008).

Os resultados apresentados têm caráter essencialmente qualitativo, ao expor as conclusões das análises feitas pelos órgãos públicos que atuam no setor elétrico, bem como relato das últimas notícias, que sinalizam quais os próximos acontecimentos e desfecho da questão aqui apresentada.

4 Conclusão

Como dito inicialmente, o planejamento energético do Brasil enfrenta vários desafios. Uma questão que já vem sendo objeto de estudo há alguns anos é o suprimento de energia ao Sistema Isolado de Boa Vista, única capital do país que não está interligada ao SIN.

Atualmente o suprimento de energia elétrica em Boa Vista se dá por meio de contratos de fornecimentos por usinas termelétricas, contratos estes que estão prestes a vencer, e um contrato de fornecimento com a Venezuela, que dada a crise política e econômica que está passando, vem apresentando problemas de desligamentos e cortes recorrentes.

Uma questão que já é debatida há algum tempo no âmbito do poder público é a interligação de Boa Vista ao SIN. Esse projeto inclusive já foi objeto de licitação, porém questões ambientais paralisaram seu andamento e não há previsão de solução para o impasse.

Diante da urgência da questão, órgãos do setor elétrico, como MME, EPE, CMSE, ONS, nos últimos anos vem desenvolvendo estudos que envolvem análises de alternativas de suprimento para essa região.

Nesse contexto, o problema identificado para realização desse trabalho se traduziu na questão de como atender o mercado do sistema isolado de Boa Vista, de forma a resolver os problemas enfrentados atualmente, de forma a garantir uma eficiência econômica e energética, a mitigação de impactos ao meio ambiente e a utilização de recursos energéticos locais.

Para fazer uma avaliação das alternativas de suprimento aos Sistemas Isolados, em particular o Sistema Isolado de Boa Vista, a metodologia de pesquisa usada para embasar esse estudo foi a descritiva, com uma profunda revisão da literatura existente, a fim de definir e qualificar as tecnologias mais desenvolvidas atualmente, bem como listar suas características de desempenho, e dessa forma, fazer um levantamento das vantagens e desvantagens de cada solução possível.

Após entender as características do sistema isolado de Boa Vista e ter dimensão dos potenciais energéticos que a região dispõe, mesmo com certo

grau de incerteza, foi possível levantar as vantagens e desvantagens de cada fonte de energia.

Esse trabalho encerra em um momento importante, em que o poder público, na figura do MME publicou as diretrizes de um leilão que vai ocorrer até 31 de maio de 2019 e, para esse certame, cerca de 150 projetos foram apresentados à EPE para habilitação técnica.

5 Referências

[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. “Projeções e estimativas da população do Brasil e das Unidades da Federação”. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em 8 Mar. 2019.

[2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA . “Balanço Energético Nacional 2018”. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf>. Acesso em 8 Mar. 2019.

[3] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA . “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 ”. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>>. Acesso em 8 Mar. 2019.

[4] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. “Sobre o SIN – O que é o SIN”. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em 29 Mai. 2019.

[5] BRASIL. Decreto nº 7.246, de 26 de julho de 2010. “Regulamenta a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, que dispõe sobre o serviço de energia elétrica dos Sistemas Isolados, as instalações de transmissão de interligações internacionais no Sistema Interligado Nacional - SIN, e dá outras providências”. Diário Oficial da União, 2009.

[6] BRASIL. Portaria MME nº 67, de 1º de março de 2018. “Estabelece as condições para contratação de Solução de Suprimento, na modalidade de Leilão, para o atendimento aos mercados consumidores das concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços e instalações de distribuição de energia elétrica em Sistemas Isolados; e revoga as Portarias MME 600, de

30.06.2010; a 493, de 23.08.2011; e o art. 4º da Portaria MME 320, de 20.05.2011”. Diário Oficial da União, 2018.

[7] BRASIL. Portaria MME nº 600, de 30 DE JUNHO DE 2010. “Aprova as diretrizes para que a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL realize, direta ou indiretamente, Leilões de Contratação de Energia Elétrica e Potência Associada para atendimento do mercado consumidor das concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços e instalações de distribuição de energia elétrica que atuem nos Sistemas Isolados”. Diário Oficial da União, 2010.

[8] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. “Sistemas Isolados – Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2023 – Ciclo 2018”. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-346/EPE-NT-Planejamento%20SI-ciclo_2018_rev1.pdf>. Acesso em 09 mar. 2019.

[9] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. “GT Roraima Subgrupo IV Identificação de alternativas de atendimento – médio e longo prazo”. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/EPE-DEE-NT-032-2017-r0%20-%20Identifica%c3%a7%c3%a3o%20de%20alternativa%20RR.pdf>>. Acesso em 09 mar. 2019.

[10] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. “Avaliação de Alternativa de Suprimento em Sistemas Isolados do Acre – Avaliação de sistemas híbridos com energia fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre”. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/EPE-DEE-PT-027-2014-r0.pdf>. Acesso em 02 mai. 2019.

[11] ANEEL. “Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL, Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024.” Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9>. Acesso em 29 mai 2019.

[12] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. “Sistemas isolados GT Roraima – Estudo para Contratação de Energia Elétrica e Potência Associada no Sistema de Boa Vista.” Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/EPE-DEE-NT-064-2017-r0%20-%20Contrata%C3%A7%C3%A3o%20energia%20Boa%20Vista%20\(sem%20marca\).pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/EPE-DEE-NT-064-2017-r0%20-%20Contrata%C3%A7%C3%A3o%20energia%20Boa%20Vista%20(sem%20marca).pdf)>. Acesso em 29 mai 2019

[13] BRASIL. Portaria MME nº 501, de 28 de dezembro de 2017. “O MINISTRO DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA reconhece a necessidade de manutenção dos 216,5 MW instalados em Boa Vista, Estado de Roraima, conforme disposto na Portaria MME nº 396, de 5 de novembro de 2013, até a efetiva interligação do Sistema Isolado de Boa Vista ao Sistema Interligado Nacional ou até a entrada em operação de outras soluções de suprimento definidas pelo Ministério de Minas e Energia e revoga a Portaria MME nº 276, de 29 junho de 2016.” Diário Oficial da União, 2017.

[14] BORTOLINI M.; GAMBERI M., GRAZIANI A., “Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system”, 2014.

[15] MESKANI A., HADDI A., BECHERIF M., “Modeling and simulation of a hybrid energy source based on solar energy and battery, 2015.

[16] BHANDARI Y., CHALISE S., STERNHAGEN J., TONKONSKI R., “Reducing Fuel Consumption in Microgrids Using PV, Batteries, and Generator Cycling, 2013

[17] FURLAN, A.L., “Análise comparativa de armazenamento de Energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da Região Amazônica”, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. Dissertação (Mestrado)