



Grupo de Estudo de Aspectos Empresariais e de Gestão Corporativa e da Inovação e da Educação e de Regulação do Setor Elétrico-GEC

VIABILIZAÇÃO DE ÁREAS EM SUBESTAÇÕES DA CHESF PARA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - ESTUDO DE CASO

JOSE BIONE DE MELO FILHO(1); MANOEL OLÍMPIO RESENDE JUNIOR(1);
CHESF(1);

RESUMO

Este trabalho estuda a viabilização de plantas fotovoltaicas em Subestações visando atender as regras da micro e minigeração distribuída, apresentando um caso de estudo da SE Messias da Chesf. A micro e minigeração solar ainda é um conceito recente no Brasil. No início de 2012, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) emitiu a Resolução Normativa nº 482 que regulamentava o Sistema de Compensação de Energia Elétrica utilizando sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica de distribuição. No ano de 2016, a ANEEL publicou a REN nº 687 que aprimorou a resolução anterior, o que permitiu um crescimento de sistemas conectados. A Chesf dentro do seu programa de desenvolvimento sustentável realizou uma pesquisa entre as suas subestações (SE) para verificar o potencial de áreas que poderiam ser utilizadas para a instalação de sistemas fotovoltaicos dentro do conceito da REN nº 687, para tal, foram considerados aspectos como conexão com a rede de distribuição e também o SIN, área disponível interna e entorno da subestação, potencial da radiação solar incidente, demanda de consumo de energia da subestação e capacidade de escoamento da energia elétrica produzida. Estas considerações permitiram que realizássemos um ranqueamento e priorização para definir a SE que será instalado o sistema. Além, de associarmos esta ação ao programa de implantação da ISO 50.001 (Gestão de Energia). A amplitude deste programa deverá atingir 60% nas SE's da Chesf, proporcionando uma redução bastante significativa na conta de energia, tornando-a autogeradora. Está sendo apresentado a metodologia adotada, como: especificação de equipamentos, otimização de projeto executivo, além de um estudo de caso real já realizado pela Chesf. Uma avaliação econômica também foi realizada apresentando um **Payback** entre 4 a 5 anos, com uma taxa interna de retorno em torno de 15%, foi aplicado o convênio ICMS 16 do CONFAZ.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Distribuída com Fotovoltaico, Sistemas Fotovoltaicos, Subestação com Sistemas Fotovoltaicos.

1.0 - INTRODUÇÃO

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Diariamente, toda esta energia chega ao nosso planeta de forma gratuita e limpa. Os raios solares, além de trazerem a luz e o calor, essenciais para a vida na Terra, podem ser aproveitados para a geração de energia, tanto na forma de calor quanto na de eletricidade.

A questão energética é um pilar fundamental a ser enfrentado na busca pelo desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a geração elétrica, com seu papel fundamental e cada vez mais crescente no cotidiano da sociedade, vem tendo seus paradigmas modificados, tornando-se mais diversificada em sua composição, com redução do papel dos combustíveis fósseis (1).

Neste sentido, as fontes renováveis de energia vêm tendo uma contribuição bastante significativa, com expectativas de claro crescimento, inclusive em outros segmentos que não o da eletricidade, como mostra a Figura 1, cujos dados apontam as projeções da agência internacional de energia (IEA – *International Energy Agency*). O cenário nacional de geração elétrica não é diferente. Com uma matriz fortemente baseada na hidroeletricidade, o Brasil possui índices significativos de fontes renováveis, alavancada nos últimos anos pela participação da geração eólica e solar-fotovoltaica, as chamadas renováveis variáveis (2).

O crescimento de tais fontes variáveis na matriz elétrica nacional vem acompanhando medidas adotadas pelos órgãos regulamentadores que buscam modernizar o setor elétrico nacional, modificando o papel de atuação dos consumidores dentro da estrutura do setor, e que visam a idealização de uma rede inteligente (*Smart Grid*).

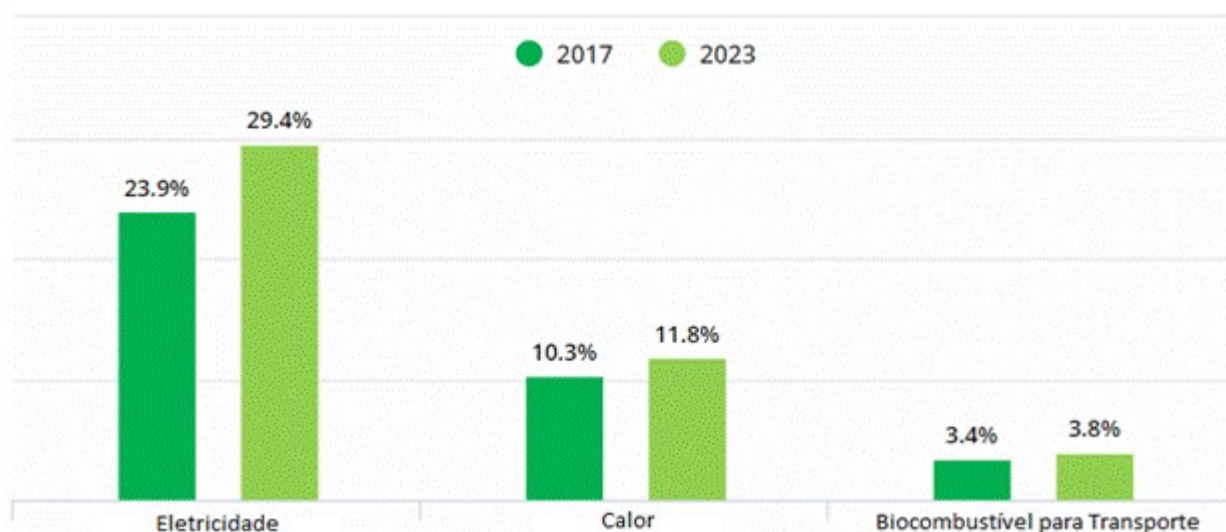


Figura 1 – Porcentagem das fontes renováveis por setor consumidor.

Fonte: Adaptado de <https://www.iea.org/topics/renewables/> (Acesso em 10.03.2019).

A Chesf visando otimizar as suas áreas disponíveis em subestações, aproveitou as Resoluções Normativas N° 482 e 687 da ANEEL, que estabelecem as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica ao sistema de compensação, e dá outras providências. Desta forma, a Chesf poderá reduzir o custo com o consumo de energia elétrica dentro de suas respectivas subestações. Estudos realizados, levantaram a demanda de energia elétrica em seu complexo de SE 's, de modo a projetar micro e mini gerações, que são definidas como: microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica cuja potência instalada é de até 75kW; e minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Toda a energia ativa gerada para fins de compensação pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. Além deste objetivo, outro que podemos ressaltar é o aumento da confiabilidade dos serviços auxiliares nas subestações, incrementando mais uma fonte de geração, além da fonte convencional e os grupos de geradores de energia, tendo também um banco de baterias para as cargas auxiliares CC.

2.0 - METODOLOGIA

Concepção inicial foi de abater todo o consumo de energia elétrica da Chesf através dos sistemas condominial de minigeração fotovoltaicas instaladas por estado, nas Subestações da Chesf. Com vistas ao desenvolvimento de projetos para implantação de sistemas de minigeração de energia em suas subestações através da tecnologia

solar fotovoltaica, a Chesf vem avaliando diversas localidades do Nordeste brasileiro onde possui instalações próprias (subestações e/ou usinas), avaliando os fatores técnicos e econômicos inerentes a cada situação.

Esse estudo se iniciou com visitas técnicas a 06 subestações, visando à avaliação visual e levantamento de informações técnicas locais importantes no que tange ao desenvolvimento de projetos de geração de energia solar.

Por apresentarem bons níveis de radiação solar, bem como, disponibilidades consideráveis de áreas para este tipo de implantação, foram inicialmente escolhidas as subestações de Campina Grande II, Messias, São João do Piauí, Santa Rita II, para a presente avaliação.

O segundo passo dessa prospecção foi a verificação quanto ao atendimento a alguns pré-requisitos técnicos. Este trabalho relacionou vários critérios técnica, que foram analisados quanto ao atendimento a esses requisitos pelas áreas inicialmente escolhidas.

Dentro dos requisitos levantados, podemos destacar os que visa abater todo o consumo, otimizar os contratos de demanda (OD) e maximizar os custos evitados (rearranjo dos projetos iniciais observando melhor combinação financeira das contas residuais pós-implantação), além de, utilizar as usinas de minigeração como fonte alternativa (melhorias de transmissão) – em proposição junto à ANEEL. Se progredir, pode-se ter RAP adicional e o projeto deverá contar com *storage*.

Dentro do conceito de storage, a Figura 2 apresenta um diagrama que caracteriza as fontes de alimentação de uma subestação típica, de modo que possa atender aos procedimentos de rede da ONS, configurando uma maior segurança a operacionalidade do sistema e autonomia da própria subestação.

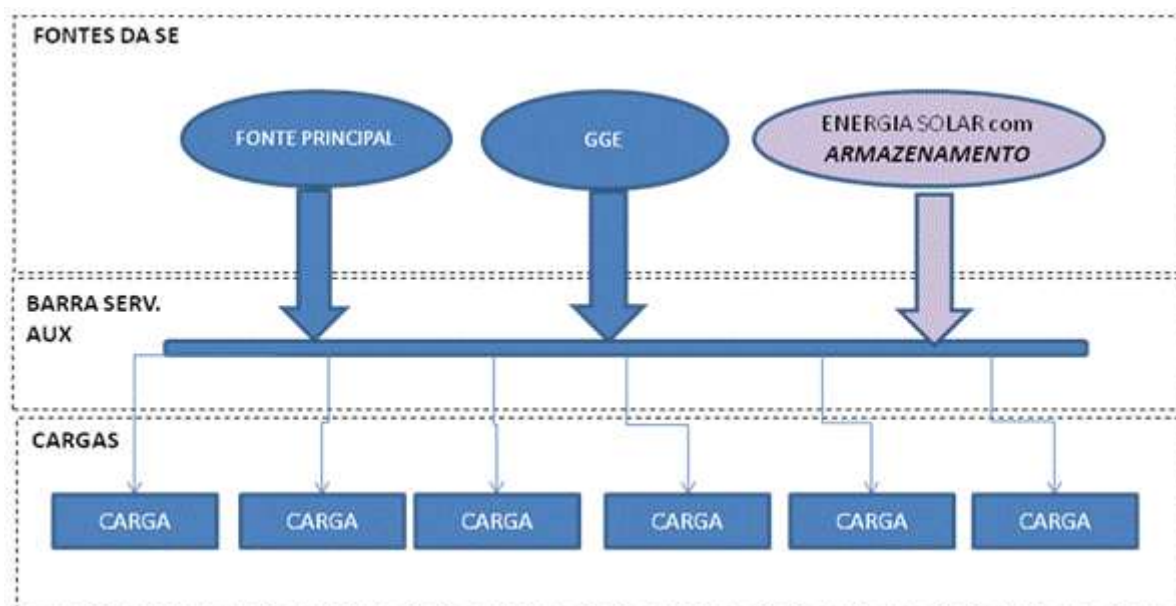


Figura 2 – Diagrama de fornecimento de energia elétrica para uma Subestação.

2.1 Fatores Desejáveis para a Locação de uma Minigeração

A seguir, está sendo apresentado uma a lista dos fatores considerados como pré-requisitos para a locação de sistemas de minigeração fotovoltaica:

a) Bom nível de radiação solar (recurso solar)

O índice de radiação solar do Brasil é um dos mais altos do mundo. Grande parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima à linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia. A região Nordeste do Brasil, por estar ainda mais próxima do que as demais



regiões, é a que possui maior área de radiação solar e também aonde ela é mais eficaz, variando entre 5.700 e 6.100 Wh/m² dia. Os projetos considerados na presente avaliação, subestações de Camaçari II, Quixadá e Governador Mangabeira foram avaliados através de dados locais de irradiação solar disponíveis no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB. Para efeito de cálculo do potencial de geração de energia, foram utilizados os valores das médias anuais de irradiação da localidade mais próxima: SE CAMAÇARI – 5,27 kWh/m².dia,,SE QUIXADÁ – 5,49 kWh/m².dia, SE GOVERNADOR MANGABEIRA – 4.92 kWh/m².dia;

b) Disponibilidade de áreas para implantação

Visitas técnicas foram realizadas às referidas subestações com o objetivo de verificação de áreas disponíveis e adequadas à implantação de sistemas fotovoltaicos de geração de energia. Inicialmente foram analisados os seguintes requisitos:

c) Facilidade de conexão ao sistema

Em projetos de geração de energia e parte preponderante e significativa do custo de implantação, a conexão do sistema ao sistema interligado.

d) Facilidade de acesso

Em projetos de minigeração fotovoltaica, as potências dos sistemas a serem implantados variam de 1 a 5 MW. Considerando as potências dos módulos comuns no mercado como, por exemplo, 250W e 350W, podemos afirmar que a maioria dos projetos resultaram numa quantidade considerável de módulos, podendo chegar quantitativos de aproximadamente 30.000 módulos, o que, demandará uma boa logística de transporte, boas condições de terreno, assim como, a proximidade de rodovias de boa qualidade. Juntese aos módulos os demais materiais e equipamentos, tais como: inversores, as estruturas de fixação, cabos, painéis, etc.

e) Variáveis ambientais

Na escolha das áreas consideradas para a presente avaliação, foram considerados terrenos próprios da Chesf que não impactassem segundo fatores como: · Áreas de conservação ambiental; · Presença local de grande quantidade de vegetação nativa; · Presença local de grande biodiversidade, · entre outros.

Após definidos os critérios de análise, foi realizado um levantamento de carga de 8 estados do Nordeste, onde a Chesf tem sua maioria das instalações, conforme Figura 3. É observado que o estado de Sergipe o consumo é desprezível, porém o estado da Bahia apresenta a maior carga, conseqüentemente deve deter o maior sistema, posteriormente vem o Ceará e Alagoas. Para o estado de Alagoas temos a Subestação que apresenta o maior consumo, além de ter sido escolhida para receber a Certificação ISO 50001..

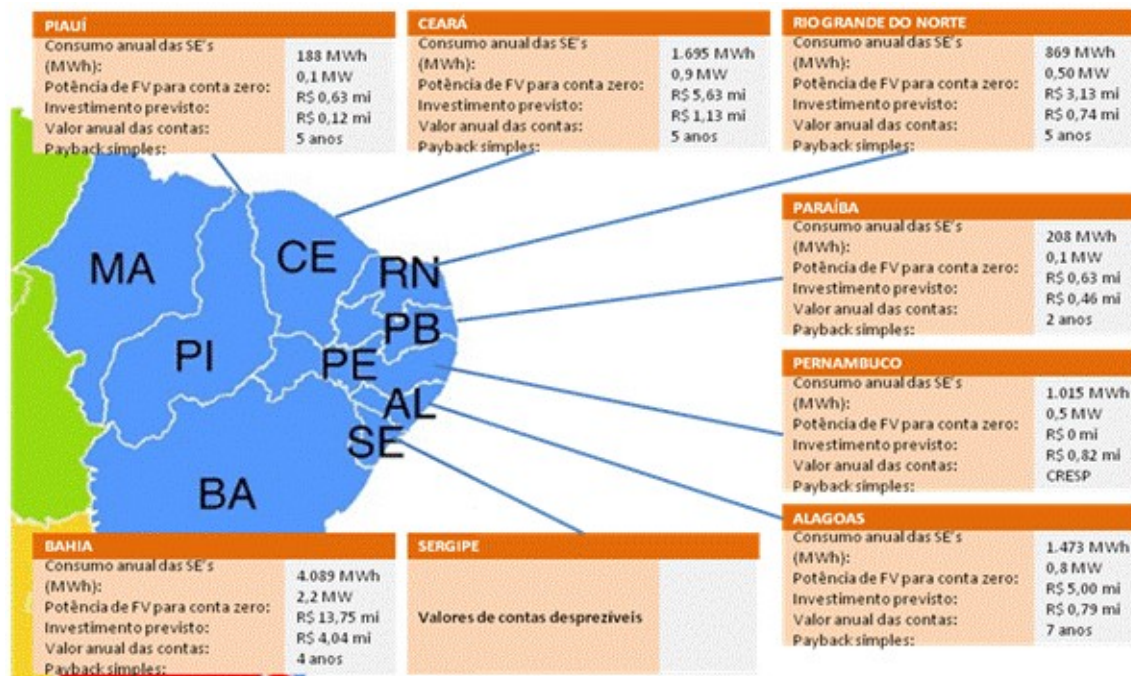


Figura 3 – Distribuição dos projetos fotovoltaicos dentro dos critérios adotados.

3.0 - 2.2 Procedimento Adotado no Desenvolvimento dos Projetos – Estudo de Caso SE MESSIAS

a) RECURSO SOLAR

Localidades próximas:

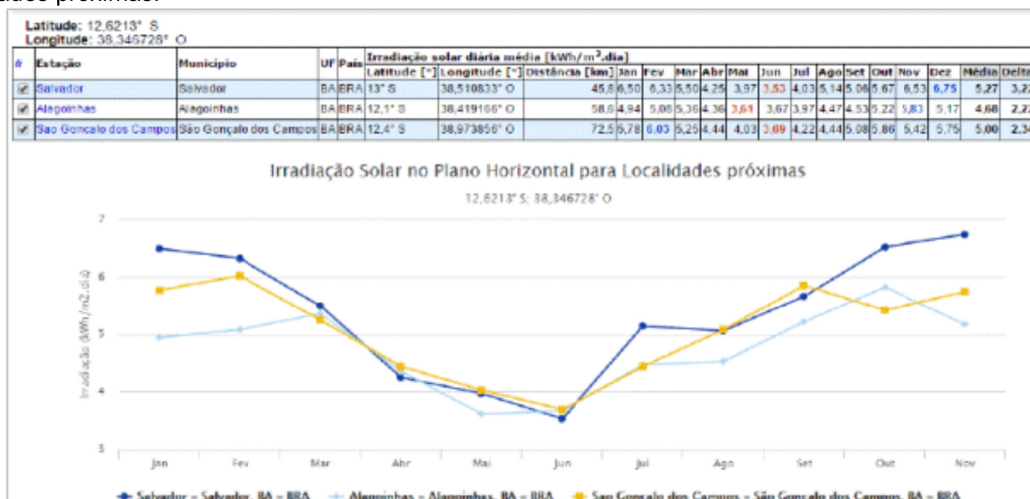


Figura 4 – Distribuição da irradiação solar no Plano Horizontal.

Para efeito de cálculo do potencial de geração de energia, foram utilizados os valores das médias anuais de irradiação da localidade mais próxima. Nível médio de irradiação solar considerado – 5,27 kWh/m².dia

b) LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

SE MESSIAS – Latitude 9°24'11"S , Longitude 35°50'31"W

A baixo, planta de locação com indicação do sistema proposto a ser instalado, bem como, vista aérea da área prevista para a referida instalação.



Figura 5 – Planta de locação do Sistema Fotovoltaico.

c) DISPONIBILIDADE DE ÁREAS

A área da SE Messias, considerada na presente avaliação técnica-econômica, apresenta algumas características favoráveis à implantação de um sistema de minigeração fotovoltaica:

- Área plana
- Área segura, dentro dos limites da SE Messias
- Área sem presença de árvores
- Facilidade de conexão
- Poucas interferências que possam promover sombreamentos
- Fácil acesso

d) IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE

A área escolhida não apresente espécies protegidas, nem vegetação densa, o que necessitasse de uma avaliação ou licença por parte de órgãos especializados ambientais.

e) SISTEMA PROPOSTO

O sistema de mini geração proposto para instalação nesta área, possui as seguintes características técnicas:

Área total ocupada: 5 hectares

Quantidade total de módulos: 11.640

Área de cada placa fotovoltaico: 2 m²

Área total de placas fotovoltaicas: 23.280 m²

f) CARACTERÍSTICAS LOCAIS

Inclinação local: 13° (Latitude)
Orientação azimuth: 22° Leste
Irradiação global horizontal anual: 5,27 kWh/m²
Temperatura ambiente média anual: 24,9 °C



g) DESCRIÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PREVISTO

Potência total instalada : 3.492 kWp; Potência nominal : 2,444 kW; Tipo de módulos : silício cristalino (c-Si);
Eficiência dos módulos : 15%; Estrutura : fixa; Eficiência Inversor : 98%.

h) CONEXÃO AO SISTEMA

DETALHE TRAFO 69/13,8kV	DETALHE BARRAMENTO 13,8kV	DETALHE MUFLA DE DERIVAÇÃO
		

Para a conexão do sistema projetado, está sendo prevista uma derivação ao barramento de 13,8kV da SE Messias através de derivação a partir de muflas 15 kV e cabos isolados de média tensão 8,7/15kV que interligarão a SE a casa de controle/inversão do sistema de mini geração fotovoltaica.

i) RADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL E TEMPERATURA AMBIENTE – REFERÊNCIA CLIMÁTICA

Medias anuais ao longo prazo: **Gh_m** Irradiação global mensal [kWh/m²]; **Gh_d** Irradiação global diária [kWh/m²];
Dh_d Irradiação difusa diária [kWh/m²]; **T₂₄** Temperatura ambiente diária (diurna) [°C]

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

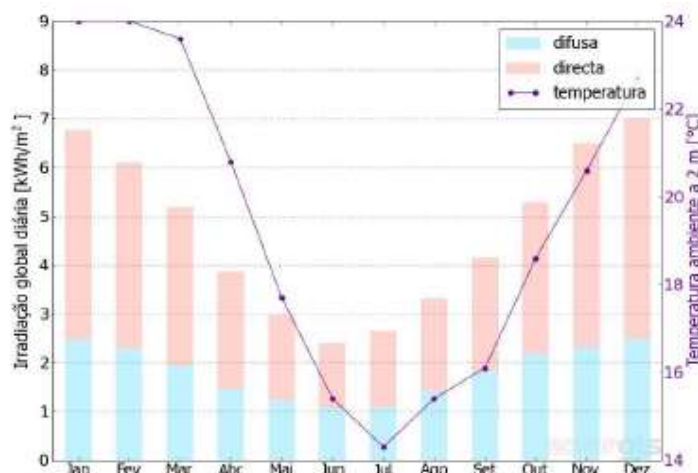


Figura 6 – Composição da irradiação sobre os módulos fotovoltaicos pelo período de um ano.

I) ENERGIA PRODUZIDA FV INICIAL

Na Figura 7 expressa as médias mensais a longo prazo: **Es_m** Produção de energia específica mensal total [kWh/kWp]; **Es_d** Produção específica de energia diária total [kWh/kWp]; **Et_m** Produção específica de energia mensal total [GWh]; **Es_{share}** Percentagem mensal de energia total produzida [%]; **PR** Performance Ratio [%]; Energia Anual Média Produzida : 7.119 GWh; Performance Ratio médio: 81%.

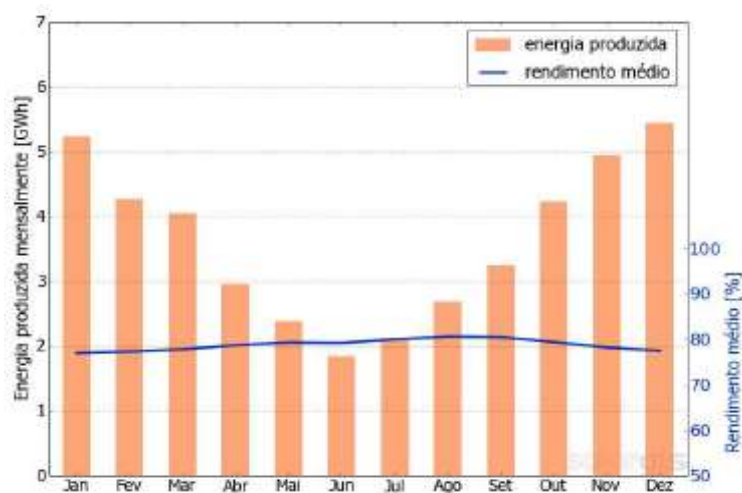


Figura 7 – Média da Energia Produzida pelo período de um ano.

m) ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA

Investimento: R\$ 19.904.400,00
Benefício anual: R\$ 2.758.683,69
Relação benefício/custo: 1,09
Valor presente líquido: R\$ 16.528.167,71
Taxa interna de retorno: 20,04%
Tempo de retorno: 10 anos

3.1 Utilização da Tecnologia de Armazenamento de Energia (Storage)

Além de implantar uma fonte intermitente de geração de energia em uma Subestação, a integração com a tecnologia de armazenamento de energia (STORAGE), elimina o risco da intermitência, aumentando a confiabilidade e monitoramento ao sistema, bem como, pode atender aos procedimentos de rede da ONS no item 8.10.3 Alimentação em corrente alternada - (a) Os serviços auxiliares CA devem ter duas fontes de alimentação, sendo uma fonte externa e outra da própria subestação - do terciário de unidade transformadora de potência da subestação ou de unidade transformadora exclusiva para essa finalidade. Caso a subestação não tenha unidade transformadora de potência, as duas fontes de alimentação devem ser externas e de subestações distintas.

Acrescer uma fonte de energia ininterrupta e confiável aos Serviços Auxiliares da Subestação Messias por meio de mineração solar associado a um sistema de armazenamento por baterias, também agrega ao ativo à subestação de forma a atender os critérios gerais aplicáveis ao processo de revisão periódica das Receitas Anuais Permitidas das concessionárias de serviço público de transmissão de energia elétrica, ver Figura 8.

Existem diversas tecnologias de armazenamento de energia, dentre as disponíveis, as baterias é a que se apresenta com o maior potencial de adaptabilidade com o setor elétrico, pois a capacidade das baterias em fornecerem energia para dispositivos com necessidades tão variadas quanto relógios digitais a automóveis, e agora a sistemas elétricos, que vão de uma residência a subestação. Os avanços na tecnologia da bateria foram geralmente lentos, entretanto, com grande avanço na duração e o aumento da capacidade de armazenamento. Hoje as baterias podem ser usadas como alternativa aos motores de combustão interna nos carros e nos outros meios de transporte, que se assemelham com a necessidade do sistema elétrico, estes usos requer maior densidade de energia (a quantidade de energia armazenada em um volume). Porém as baterias mais adequadas para esse tipo de trabalho ainda apresentam custos elevados, porém, com o avanço do uso desta tecnologia, os preços vêm reduzindo os preços e se tornando mais competitiva.

O armazenamento de energia a nível doméstico/comercial vem aumentando dada a crescente quantidade de produção elétrica descentralizada e centralizada (especialmente com painéis fotovoltaicos) e o importante consumo de energia no nível das mais variadas instalações. Uma residência equipada com [painéis fotovoltaicos](#) consegue obter uma [auto-suficiência](#) elétrica máxima de cerca de 40% (3). Para obter valores mais elevados de [auto-suficiência](#), é necessário proceder ao armazenamento de energia dado o desajuste temporal entre o consumo de energia e a produção elétrica a partir de [painéis fotovoltaicos](#) (3). No entanto esta é uma solução com o custo elevado em relação à utilização da rede elétrica, dado o custo do armazenamento energético (4).

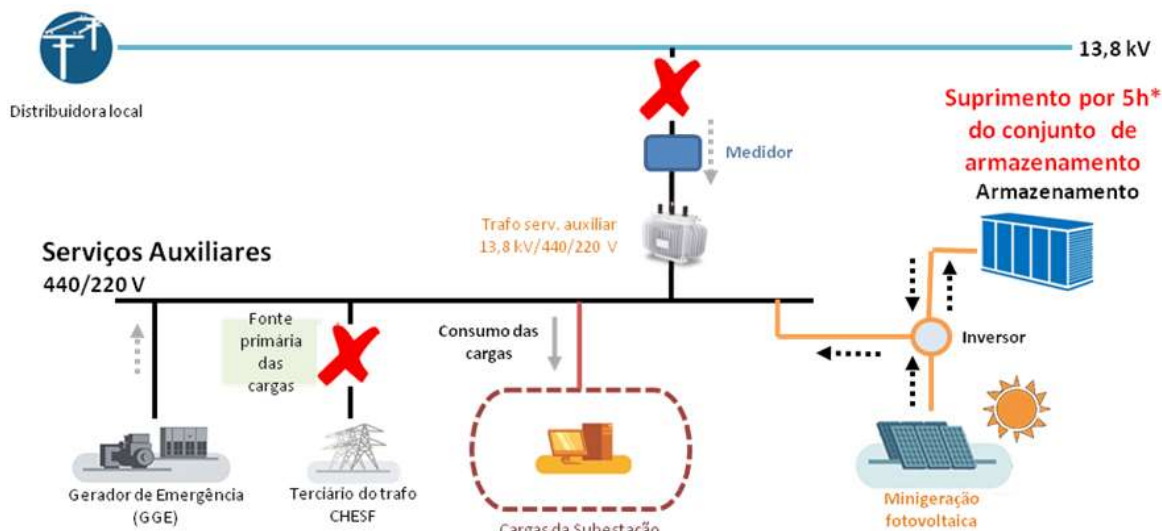


Figura 8 – Conexão de sistema de armazenamento de energia ao barramento de alimentação de uma Subestação.

4.0 - RESULTADOS

Após estudos em diversos cenários, a Tabela 1 resume os resultados obtidos, destacando a Economia obtida em valores percentuais, que na sua maioria ficam acima de 70%, com taxas de TIR's bem acima de taxas de atratividades aplicadas no mercado financeiro, estes resultados dão uma credibilidade para a implantação de micro ou minigeração em subestações, ressaltamos que o trabalho foi desenvolvido sem considerar a questão de armazenamento, que estará sendo aplicado em um segundo momento, visto a necessidade de colocarmos esta etapa em execução. É importante ressaltar os valores financeiros faturados e evitados por estados, são bastante relevantes e importante no auxílio de uma tomada de decisão.

Estado	Total Faturado (R\$)	Custo Evitado com Otimização de Demandas (R\$)	Economia de	TIR (25 anos)	Payback Descontado (anos)
AL	793.735,18	593.703,00	75%	15,0 %	10
PB	459.654,23	120.480,00	26%	22,3 %	8
PI	129.584,46	80.590,00	62%	14,2 %	10
RN	742.584,07	544.875,00	73%	20,0 %	8
CE	1.129.515,19	826.940,00	73%	16,5 %	9
BA	3.044.361,28	1.960.836,00	64%	15,9 %	9
TOTAL	6.299.434,41	4.127.424,00	65,5%		

Tabela 1 – Resumo dos resultados econômicos obtidos.

A Chesf já iniciou os processos de contratação das plantas fotovoltaicas, com uma previsão de conclusão para dezembro de 2019, além desta ação pioneira, terá o início dos estudos de armazenamento de energia, que se integrará à pesquisa, abrindo uma nova linha de pesquisa.

5.0 - CONCLUSÃO

O sistema elétrico nacional vem sofrendo mudanças em suas concepções ao longo dos anos, que, entre outras questões, buscam modernizar e o aproximar do conceito ideal – a *Smart Grid*. Entre essas mudanças, duas circundam o escopo desse trabalho: Uso da Energia Solar Fotovoltaica e o Armazenamento de Energia.

As informações obtidas na análise realizada, pontuou a viabilidade técnica e econômico no uso de sistemas fotovoltaicos em subestações, além de uma integração com a tecnologia de armazenamento de energia, que atenderá como terceira fonte o procedimento de rede adotado pela ONS

Assim, os resultados apontam um futuro bastante promissor da geração distribuída no Brasil, cujas contribuições para a não ocorrência de futuros apagões e no alavancar o crescimento devido aos investimentos privados na sua expansão, dado nível de estrangulamento da capacidade de investir do setor público, são essenciais para uma política de desenvolvimento sustentável.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) International Energy Agency - IEA, 2018, "Key Electricity Trends 2017" [Online]. Available: <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/april/key-electricity-trends-2017.html>. [Accessed: 14-May-2018].
- (2) Tolmasquim, M. T., 2011, *Novo Modelo Do Setor Elétrico Brasileiro*, Synergia, Rio de Janeiro.
- (3) de Oliveira e Silva, Guilherme; Patrick (15 de setembro de 2016). «Lead-acid batteries coupled with photovoltaics for increased electricity self-sufficiency in households». *Applied Energy*. **178**: 856–867. doi:10.1016/j.apenergy.2016.06.003
- (4) de Oliveira e Silva, Guilherme; Hendrick, Patrick (1 de junho de 2017). «Photovoltaic self-sufficiency of Belgian households using lithium-ion batteries, and its impact on the grid». *Applied Energy*. **195**: 786–799. doi:10.1016/j.apenergy.2017.03.112

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



José Bione de Melo Filho possui graduação em Engenharia Elétrica - Modalidade Eletrotécnica pela UPE (1990), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade de Pernambuco (1993), mestrado em Engenharia Elétrica pela UFCG (1999), doutorado em Tecnologias Energéticas Nucleares pela UFPE (2006) e Pós-doutorado em Energia Renovável no Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales e Tecnológicas del Gobierno de España - CIEMAT (2011), MBA Executivo em Gestão Empresarial no CEDEPE (2016). Atualmente é professor do Mestrado em Tecnologia da Energia e do Curso de Especialização em Energia Renovável da Universidade de Pernambuco, professor do IFPE, relator do GES-Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento de energia do SNPTEE-Seminário Nacional de Produção, Transmissão e Energia Elétrica do Cigré-Brasil, e Gerente da Assessoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Chesf. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica,

Fontes Renováveis de Energia e Eficiência Energética, com ênfase em sistemas de acionamento de máquinas, máquinas elétricas, eletrônica de potência, energia solar, eólica, biomassa e armazenamento de energia, atuando principalmente nos seguintes temas: geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos, térmicos (termosolar e convencional) e eólicos, além de desenvolver projetos em Eficiência Energética e Armazenamento de Energia.