



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/23

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO 2 - GPT**

**GRUPO DE ESTUDO DE PRDODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT**

**CONCEPÇÃO, DESENVOLVIMENTO E INSTALAÇÃO DO PRIMEIRO SISTEMA HÍBRIDO ON E OFF GRID  
SIMULTÂNEO DO BRASIL**

**Eduardo Fontes Silveira(\*)**  
ITAIPU BINACIONAL

**Celso Ribeiro Barbosa Novais**  
ITAIPU BINACIONAL

**Bruno Henrique de Moraes Giacchetta**  
ITAIPU BINACIONAL

**José Carlos de Almeida Queiroz Junior**  
EXERCITO BRASILEIRO

**Mateus Alves de Sordi**  
SMARTLY Energia Sustentável

**Felipe Tadeu Silva Viana Stemler**  
SMARTLY Energia Sustentável

**RESUMO**

Visando o suprimento de cargas sensíveis a oscilações de energia e/ou redução na conta de energia, várias empresas tais como GOOGLE, APPLE e MICROSOFT estão produzindo sua própria energia, armazenando-a em baterias e, em alguns casos, até vendendo-a. Esses sistemas são conhecidos como sistemas híbridos, podendo atuar conectados a rede ou não.

Em 2015 foi apresentada à Itaipu Binacional e Parque Tecnológico uma demanda oriunda do Exército Brasileiro para concepção de um sistema híbrido no Quartel General do Exército, em Brasília. O sistema foi instalado num dos blocos do quartel gerando economia e segurança energética.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sistema Híbrido, Microrede, *Smart Grid*, Armazenamento de Energia, Energia Solar

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Em recente estudo de futuro elaborado pela Shell [1] é previsto para 2060 um crescimento populacional da ordem de 40% e concentração dessa população na zona urbana na razão de quatro quintos do total. Além disso, o estudo [1] indica que a partir de 2030 as fontes renováveis começarão a ser expressivas na matriz energética, sendo dominantes a partir de 2060, com predomínio da energia solar distribuída.

No esteio da energia solar distribuída, muitas tecnologias associadas vêm crescendo e se tornando cada vez mais relevantes, tais como os sistemas de armazenamento. Nessas microredes vem ocorrendo uma verdadeira evolução da eletricidade com a adição de componentes de controle tornando-as “inteligentes”, as chamadas *smart grids* [2].

Assim, *Smart Grid* é uma rede de eletricidade que pode, utilizando inteligência artificial, integrar todos os atores conectados a ela (geradores, consumidores, e os que atuam em ambos os lados) de modo a entregar eletricidade de forma mais eficiente, econômica e segura [3].

Devido ao seu custo, as *smart grids* têm sido empregadas em redes menores, notadamente as *microgrids* (ou microredes). Microredes são sistemas de baixa tensão que possuem fontes de energia esparsas (microturbinas, células a combustível, módulos solares, etc) combinadas com sistemas de armazenamento (capacitores, baterias, hidrogênio, etc). [4]. Tais sistemas podem ser operados de maneira não-autônoma (conectados a rede) ou autônoma (desconectados da rede principal).

Em 2015 foi assinado entre Itaipu, Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) e Exército Brasileiro um acordo de cooperação para, dentre outros, construir microredes de geração e armazenamento de energia para Pelotões de

Fronteira (ou destacamentos) do Exército. Para tanto, vislumbrou-se primeiramente a instalação de uma planta piloto no Quartel General do Exército em Brasília.

Essa planta, operada com controle inteligente (*smart grid*), visou não só demonstrar o domínio da tecnologia bem como reduziu a conta de energia do Exército além de ter permitido um *backup* de energia instantâneo bem como a redução do desbalancamento de fases e aumento da vida útil do transformador rebaixador principal do bloco J, o escolhido para o projeto, por ter ali cargas mais sensíveis ao Exército.

## 2.0 - LEVANTAMENTO DE DEMANDA ENERGÉTICA E POTENCIAL SOLAR

Assim que foi assinado o termo de cooperação iniciaram-se as medições de carga elétrica demandada no Quartel General do Exército, bem como o levantamento do seu potencial solar. Já havia um primeiro estudo de demanda de energia, realizado por uma consultoria externa que apontava uma carga de 1.136 kWh para todo o bloco J, sendo cerca de metade desta energia consumida apenas para funcionamento dos aparelhos de ar condicionado nos ambientes.

Como a quantidade de módulos solares necessários para suprir toda a demanda seria alta para um projeto piloto, foram definidas algumas cargas prioritárias, como as cargas que alimentam as câmeras de segurança e aparelhos de raio X da portaria Sul do Exército, bem como de alguns importantes órgãos, como o do Escritório de Projetos do Exército.

Essas cargas foram monitoradas durante o ano de 2015 apresentando uma carga média de aproximadamente 330 kWh em seu último semestre conforme mostra a figura 1, abaixo.

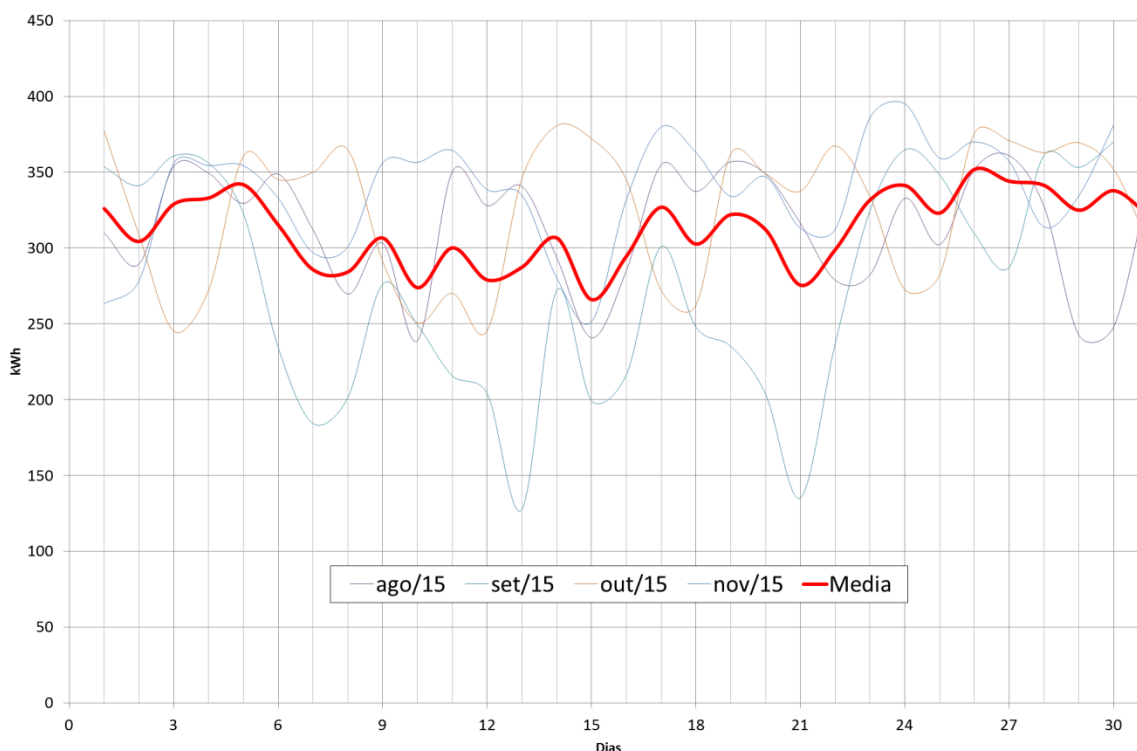


FIGURA 1 – Demanda de energia média – QG do Exército (Brasília)

O Quartel General do Exército situa-se em local privilegiado, numa das três melhores regiões de irradiação solar brasileira, tendo insolação média de 5,289 kWh/m<sup>2</sup>/h, conforme mostra a figura 2, o que representa cerca de 83% da máxima que pode ser obtida (6,3 kWh/m<sup>2</sup>/h) dentro do Brasil. O índice de claridade mostra também que representa uma região com pouca nebulosidade e, portanto, favorável ao aproveitamento solar.

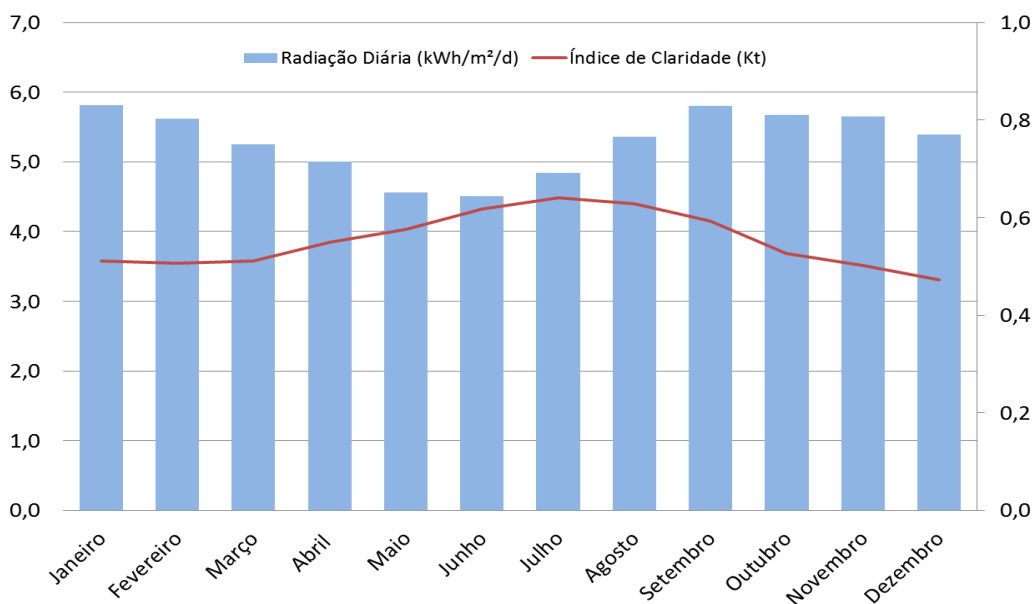


FIGURA 2 – Demanda de energia média – QG do Exército (Brasília)

Considerando a demanda média apresentada pelas medições das principais cargas sensíveis (aprox. 330 kWh/dia) e a insolação média diária, foi calculada a quantidade de módulos solares necessários utilizando o Método da Insolação [5] encontrando a quantidade mínima de 322 módulos. Como o sistema também necessitava armazenar energia, adotou-se um número mais conservador, fazendo a compra de 360 módulos.

A figura 3 mostra um gráfico recente da carga diária, mostrando o comportamento típico de um dia (média diária de Agosto de 2016), onde é possível observar os três comportamentos do sistema já implantado e em funcionamento. De 0 hora até próximo das 7 horas da manhã e após às 18hs, quando o sol já se pôs, as cargas são alimentadas somente pelas baterias. Entre 7 e 8h30 da manhã e 16h30 e 18h há um suprimento misto, baterias complementando a falta da energia solar E, entre 8h30 e 16h30 toda a carga é suprida pelos módulos solares, sendo seu excedente utilizado para recarregamento das baterias.

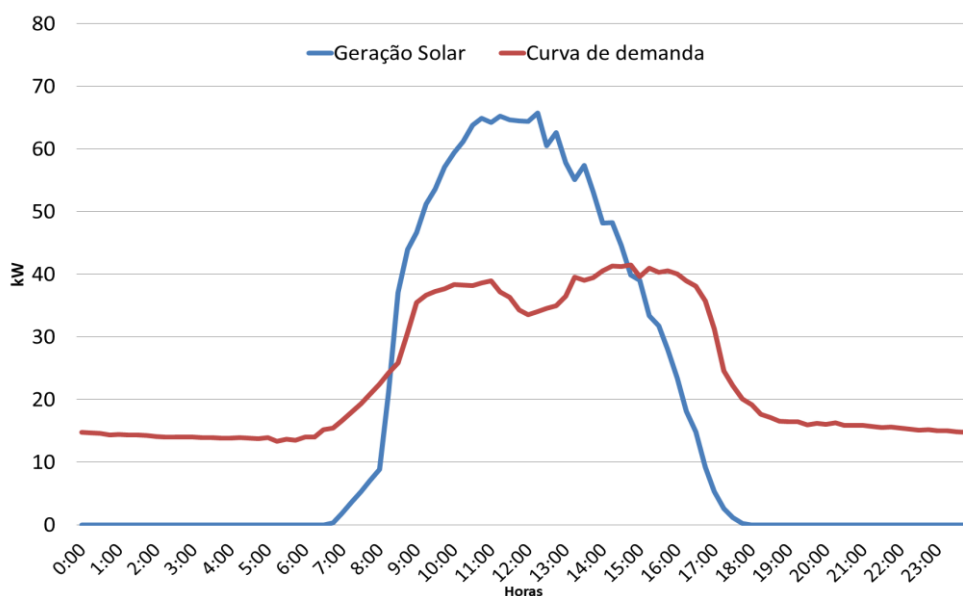


FIGURA 3 – Demanda de energia média – QG do Exército (Brasília)

### 3.0 - METODOLOGIA DO SOFTWARE DE CONTROLE

A maior dificuldade numa microrede de energia está relacionado com o controle de diferentes fontes de energia [6]. No entanto, essa é justamente a característica que distingue esse sistema de um sistema distribuído comum [2] e permite que ele atenda demandas especiais, reduzindo o tempo de perda de alimentação elétrica e aumentando a eficiência energética [7].

Desta maneira, embarcado no inversor híbrido encontra-se um software de controle desenvolvido pela empresa INGRID sob supervisão e direcionamento da Itaipu Binacional. Esse software, além de viabilizar o uso de baterias de sódio, ainda incomuns no mercado, permite uma gestão eficiente das três fontes de energia existentes no sistema: solar, proveniente da rede (empresa distribuidora de energia), e advinda das baterias.

O software de controle cumpre duas funções primordiais: 1- Estabilidade: O controlador garante que a demanda energética seja suprida, de modo igual, por uma das fontes (solar, baterias, ou rede) o tempo todo. 2- Economia: O controlador gerencia as três fontes de energia de tal sorte que o consumo da rede é minimizado e o consumo dos módulos solares é maximizado.

**3.1 Função Estabilidade:** Essa função é prioritária. A energia das fontes deve sempre igualar a energia demandada pelas cargas elétricas. Para tanto, a seguinte equação deve ser garantida em todo tempo.

$$Grid [W] + Bat [W] + PV [W] = Load [W] \quad (I)$$

As unidades de todas as variáveis é medida por potência, que representa a derivada da energia em um instante de tempo infinitesimal. Assim:

**Grid:** potência oriunda da rede definida por limites técnicos e legais.

**Bat:** potência demandada ou fornecida pela bateria. Podendo assumir valores positivos ou negativos.

**PV:** potência dos módulos solares e intrinsecamente dependente da radiação solar incidente.

**Load:** potência demandada pelos equipamentos conectados ao sistema, ou seja: a carga elétrica.

**3.2 Função Economia:** Essa função é justamente a inteligência do sistema, pois busca gerenciar as fontes de energia de modo a sempre minimizar a potência oriunda da rede (*grid*), diminuindo a conta de energia ao final do mês. Isto é alcançado basicamente de duas maneiras: sempre tentando maximizar o uso da energia solar, privilegiando o suprimento da carga primeiramente com ela, e faltando potência, utilizando prioritariamente a potência disponível da bateria.

Para esse ajuste, tendo uma equação e três incógnitas, reorganizamos a equação e colocamos algumas condições de contorno que foram implementadas no algoritmo e até aqui funcionando a contento. Assim a equação pode ser reescrita, da seguinte maneira:

$$Grid = Load - PvSun - BatLim \quad (II)$$

Desta maneira, a rede só é utilizada como último recurso e o termo *Bat* agora é escrito como *BatLim*, pois a bateria deve ser utilizada até o seu limite de SOC (*State of Charge*), que no caso das baterias de sódio é de 20% (abaixo desse valor algumas reações eletroquímicas podem não ser regeneradas diminuindo a densidade energética da bateria e mesmo a sua vida útil) ou até o limite de autonomia que se deseja no caso de um *blackout*.

Além disso, o controlador pode ainda executar duas funções indesejadas, mas possíveis. A primeira é o excesso de produção solar, ou seja, toda carga já está sendo suprida pela energia solar e as baterias estão 100% carregadas, então o controlador irá diminuir, automaticamente a geração solar.

E a outra situação é o fato de não haver insolação mínima (dia completamente nublado, por exemplo) e não haver carga nas baterias, sendo necessário que a rede (da concessionária) seja capaz de suprir toda a demanda de carga sem comprometer o funcionamento dos equipamentos.

#### 4.0 - COMPONENTES DO SISTEMA E INSTALAÇÃO

O sistema está configurado com módulos fotovoltaicos totalizando 93,6 kW (360 módulos) conectados a 6 inversores solares com potência unitária de 15 kW. Esses inversores são conectados a outro inversor (híbrido), com potência máxima de 125 kW que faz a gestão da energia no sistema. Esse inversor é responsável por fazer o carregamento das baterias utilizando energia solar prioritariamente. No total são doze baterias com acumulação total de 282 kWh.

Uma das inovações do projeto é que as baterias usadas para acumulação são de Sódio, e todos os equipamentos tiveram que ser customizados para operar com ela visto que a predisposição original do inversor híbrido estar preparado apenas para baterias de lítio ou chumbo ácido. Isto se deu pelo fato da bateria de Sódio ser totalmente reciclável, usar materiais abundantes na natureza, possuir alta densidade energética e estar sendo desenvolvida de forma nacional (em escala piloto) no PTI com apoio da Itaipu Binacional e FINEP.

Tabela 1 – Dados dos equipamentos utilizados

Equipamento	Modelo	Fabricante	Potência Unitária	Quantidade	Potência Total
Módulo Solar	CS6P - 260	Canadian Solar	260 W	360	93,6 kW
Inversor Solar	Ingecon Sun 3 Play TL	Ingeteam	15 kW	6	90kW
Inversor Híbrido	Ingecon Sun Storage 1 Play	Ingeteam	125 kW	1	125 kW
Bateria	ST523 Sodium Nickel Chloride	Fiamm	23,5 kW	12	282 kW

A tabela 1 mostra os dados compilados do sistema. Já, a configuração pode ser vista por meio da figura 4.

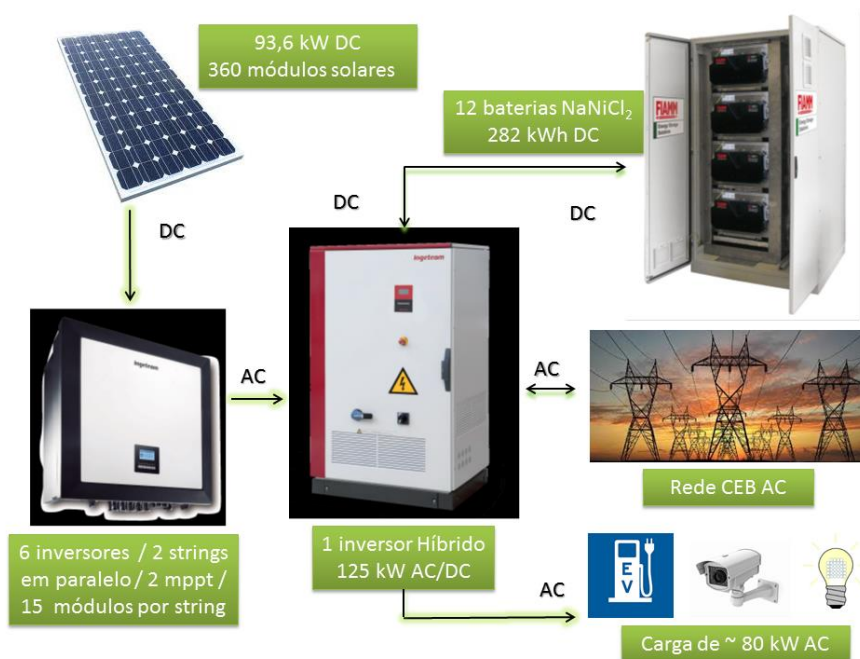


FIGURA 4 – Configuração do Sistema

A instalação do sistema ocorreu no mês de dezembro de 2015, precisamente entre os dias 2 e 18 de dezembro, onde a primeira semana compreendeu a chegada dos equipamentos cedidos por Itaipu Binacional e a instalação dos módulos solares. Na semana subsequente se deu a instalação das baterias e montagem e adequação dos quadros elétricos do Exército. E, na terceira e última semana, foram integrados os módulos solares ao sistema de armazenamento e feito o comissionamento.



22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

Os módulos solares foram instalados pela empresa Smartly energia Sustentável, sediada em Brasília. No total foram empregados 10 funcionários entre técnicos e engenheiros para transporte, montagem e comissionamento da planta solar.

Já a reestruturação da rede elétrica interna do prédio e a instalação do sistema de armazenamento compreendeu uma equipe de 14 pessoas. Destas, 5 pessoas eram estrangeiras e representantes dos equipamentos ou software contratado, ou seja: 1 engenheiro da INGETEAM, 1 engenheiro da FIAMM, dois engenheiros e um programador da INGRID. As outras nove pessoas eram compostas por: dois engenheiros e dois técnicos da Itaipu Binacional, dois técnicos do PTI, um engenheiro do Exército e dois técnicos eletricitistas de empresa contratada pelo Exército.

As figuras seguintes mostram um pouco a complexidade da montagem e o resultado final.



FIGURA 5 – Fotos da Montagem da Planta Solar



FIGURA 6 – Fotos da Planta Solar em operação

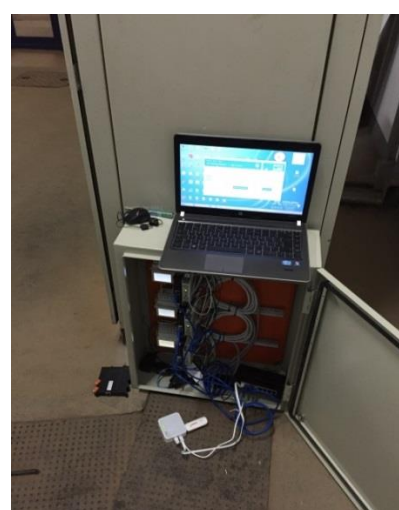


FIGURA 7 – Esquerda: Embarque do material / Direita: Sistema de Monitoramento

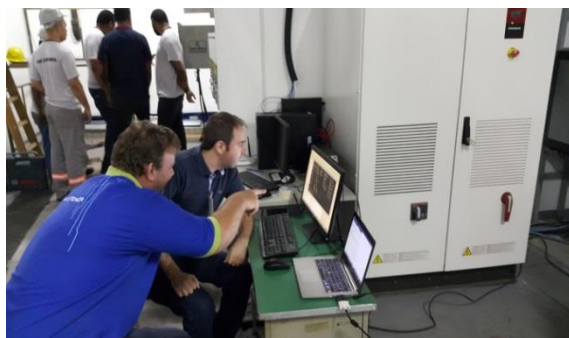


FIGURA 8 – Esquerda: Comissionamento do Sistema / Direita: Inauguração do Sistema

## 5.0 - CONCLUSÕES

A instalação do sistema foi de grande valia técnica para toda a equipe de Itaipu e do PTI, visto ser um projeto piloto que pretende ser instalado em unidades destacadas do Exército nas fronteiras do Brasil com outros países, (hoje existem 22) além de poder ser instalado em empresas, que assim como o Exército, possuem cargas sensíveis que não podem sofrer *blackout* nem interrupção, mesmo que por milissegundos, na sua demanda de energia.

O sistema também apresenta uma série de características inovadoras e de segurança, que o torna o primeiro nesta categoria instalado no Brasil, tais como: utilização de baterias de sódio alta potência 100% recicláveis, com imunidade a variação da temperatura e um alto grau de segurança, que evita a ocorrência de explosões ou incêndios, além de possuir sistema inteligente de gerenciamento de energia e poder operar tanto no modo *ON Grid* quanto no modo *OFF Grid* (ou seja: conectado ou não à rede de energia) .

No modo *OFF GRID*, caso ocorra um “Blackout”, a resposta do sistema é 150 vezes mais rápida que um sistema de backup diesel convencional e por isso também mais confiável, uma vez que essa velocidade de reenergização do sistema é praticamente imperceptível aos sistemas eletrônicos. Desta maneira, assegura que enquanto o sistema estiver instalado, a portaria que faz a segurança do Exército e outras cargas prioritárias sempre terão energia para funcionar corretamente.

No modo *ON GRID*, a combinação baterias e energia solar está gerando uma economia estimada de 15 mil reais ao Exército, no mês, em torno de 6% da sua fatura de energia. Como o software é programável e as baterias podem prover energia a qualquer hora do dia, a economia pode chegar a até 30 mil reais no mês, caso o sistema seja acionado no horário de ponta, onde a energia custa mais caro. Como o sistema é expansível e modular, a economia ainda pode ser ainda maior futuramente.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SHELL. Cenários sob novas lentes. Disponível em <[www.shell.com](http://www.shell.com)>. Acesso em 21 de março de 2016.
- [2] HATZIARGYRIOU N. Microgrids architectures and control. IEE Press. 2014.
- [3] BOSSANT S. Renewable and distributed systems integration demonstration progress. EPRI Smart Grid Demonstration Advisory Meeting. 2009.
- [4] IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Standart for Interconnecting Distributed Resources with ElectricPower Systems. 2003.
- [5] VILLALVA M. G, GAZOLI J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. EditoraÉrica. 1ª edição. 2014.
- [6] MAJUMDER R. Microgrid: Stability Analysis and Control. VDM. 2010.
- [7] LASSETER R.H. “Microgrids”. Power Engineering Society – Winter Meeting, pp 305-308. IEE. 2012.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Eduardo Fontes Silveira**, nascido em Brasília, 12 de Outubro de 1982. Formado em Engenharia Mecânica (2006) e com Mestrado na área de energia renovável (2013), ambos na Universidade de Brasília (UnB). Pós-graduado em 2012 em Gestão da Inovação pela UNICAMP. Ingressou na Eletronorte Eletrobras em 2007 trabalhando na área de P&D e Inovação fazendo a avaliação de novos projetos, redação de patentes, prospecção tecnológica, e a negociação de contratos de Transferência de Tecnologia. Já ministrou cursos em empresas do Setor Elétrico de todo o Brasil e entes governamentais nas áreas de Inovação e Propriedade Intelectual. Desde 2012 encontra-se cedido à ITAIPU atuando no Projeto Veículo Elétrico de ITAIPU coordenando, desenvolvendo e construindo projetos de *smart grid*, coordenando programa de compartilhamento de veículos elétricos, e também projetos de infraestrutura para veículos elétricos. Presta também consultoria na área Propriedade Intelectual à Fundação Parque Tecnológico de ITAIPU (FPTI).

