

ESTUDO PARA MELHORAR O SUPRIMENTO ENERGÉTICO EM UMA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO POR SATÉLITE

Márcio Zamboti Fortes¹, Paulo Vinicius Alves Freitas², Marcelo Cruz Lima³, Leonardo P Silva⁴, Rômulo Thaygor Hatakeyama Alves⁵, Guilherme Moreira Quintanilha⁶

RESUMO: Estações de monitoramento por satélite precisam de considerável energia elétrica para operar. Convencionalmente, a alimentação das estações é feita por concessionárias de energia elétrica conectadas ao sistema interligado. Este artigo apresenta um sistema de energia fotovoltaico conectado "on grid" com a estação de monitoramento de satélites. O sistema proposto evita interrupções do suprimento energético da estação. Esta alternativa é especialmente interessante para estações remotas localizadas em áreas onde o fornecimento de energia da distribuidora é insuficiente ou instável, o que significa, uma má qualidade de energia. O sistema fotovoltaico com painéis solares e um inversor pode suprir energia para a estação durante o dia, e durante a noite, a energia é obtida pelo sistema elétrico da concessionária ou pode ser atendido por baterias carregadas durante o dia. Os autores utilizaram o software PVsyst para o dimensionamento correto do sistema. Variáveis como: a irradiância, o ângulo de inclinação dos painéis solares, a potência nominal informada pelo fabricante do painel, a área disponível para a instalação do sistema e outros são as variáveis consideradas.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar; Inversores; PVSyst; Paineis Fotovoltaicos.

INTRODUÇÃO

Durante muito tempo o petróleo foi a fonte de energia dominante, dada a importância que o mesmo veio adquirindo ao longo do tempo nos aspectos geração de Energia e desenvolvimento tecnológico de seus produtos derivados. Se antes o seu acesso e aplicação eram um tanto quanto limitados, com os recursos tecnológicos de hoje figura como um relevante insumo energético para um mundo globalizado e ávido por manter-se em escala de crescimento (PIMENTEL, 2011). Entretanto, após a década de 1970, sobretudo depois a crise de 1973, opções alternativas ao petróleo foram desenvolvidas, e algumas até consolidadas. As sucessivas crises que

vieram a posteriori não só serviram para despertar a necessidade de diversificar a matriz energética em escala mundial, mas também para admitir que um dia o petróleo pode esgotar-se (PEREIRA, 2008).

Uma alternativa para essa diversificação é a energia solar fotovoltaica, cujo efeito físico que resulta na geração de energia foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Em suas observações, Becquerel verificou que placas metálicas, de platina ou de prata, quando mergulhadas em um eletrólito e expostas à luz, produziam uma pequena diferença de potencial. Em 1877, W. G. Adams e R. E. Day, ambos inven-

¹ Márcio Zamboti Fortes; Universidade Federal Fluminense; mzf@vm.uff.br

² Paulo Vinicius Alves Freitas ; Universidade Federal Fluminense; pvafreita@gmail.com

³ Marcelo Cruz Lima; Universidade Federal Fluminense; lima.marcelocruz@gmail.com

⁴ Leonardo P Silva; Universidade Federal Fluminense; leonardopereira001@yahoo.com.br

⁵ Rômulo Thaygor Hatakeyama Alves; Universidade Federal Fluminense; romulothaygor@yahoo.com.br

⁶ Guilherme Moreira Quintanilha; Universidade Federal Fluminense; guilherme.moreira@globo.com

tores norte americanos, desenvolveram o primeiro dispositivo sólido para geração de eletricidade por exposição à luz, embora o mesmo apresentasse uma baixa eficiência da ordem de 0,5% (VALLERA e BRITO, 2006). Todavia, é creditada a Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson a invenção da primeira célula solar fotovoltaica (PERLIN, 2004).

As células fotovoltaicas, também podem ser chamadas de células solares, consistem em dispositivos semicondutores que, quando expostos à luz, produzem corrente elétrica (BORGES NETO e CARVALHO, 2012). Podem ser utilizados vários materiais e estruturas para a sua fabricação, sendo o silício o material mais empregado, uma vez que já existe grande conhecimento tecnológico a respeito do mesmo, e da matéria prima que lhe dá origem (REIS, 2003). Assim, temos as células que são fabricadas com tecnologia de primeira geração, também conhecidas como silício cristalino; as que são fabricadas com tecnologia de segunda geração, como filmes finos de silício amorfo; e as de terceira geração, com concentradores fotovoltaicos (LIMA e outros, 2013). Os módulos fotovoltaicos são formados por um agrupamento de células conectadas eletricamente (VILLALVA, 2012).

Embora seja mais comum utilizar o silício monocristalino para fabricar as células fotovoltaicas, há outras tecnologias que podem ser empregadas, como o silício em sua forma amorfa, e em sua forma policristalina. Ainda, como forma de reduzir os custos de produção, pode-se utilizar o silício com menor grau de pureza, lingotes ou lâminas de silício com seção quadrada, silício diretamente na forma de placas ou fitas, esferas de silício, dentre outras soluções que visem este propósito. E, como existe uma crescente utilização destas células para a geração de energia, outros materiais são estudados, dentre eles o arsenato de gálio e o sulfeto de cádmio (REIS, 2003).

Os módulos fotovoltaicos são a unidade básica formada por um conjunto de células solares interligadas eletricamente e encap-

suladas. Já o painel fotovoltaico é a composição de um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente e montados de forma a compor uma única estrutura (ORTEGA, 2013). De modo geral, a potência dos módulos é representado pela potência de pico e os demais parâmetros que descrevem o comportamento elétrico do mesmo são apresentados a seguir:

- Corrente de curto-circuito I_{SC} (A): trata-se do valor de corrente quando não há tensão externa na célula.
- Tensão de circuito aberto V_{OC} (V): valor de tensão que o dispositivo pode entregar sob determinadas condições de radiação e temperatura.
- Ponto de potência máxima P_M (W): trata-se do ponto de operação no qual a potência entregue alcança o maior valor.
- Tensão de máxima potência V_{mp} (V): valor de tensão no qual se obtém a potência máxima PM.
- Corrente de máxima potência I_{mp} (A): valor de corrente que o dispositivo entrega para potência máxima P_M .

Conforme a Norma Técnica ABNT NBR10899 publicada em 2006, os sistemas solares fotovoltaicos são "um conjunto de elementos necessários ao aproveitamento da energia radiante solar, para uma dada aplicação por meio da conversão fotovoltaica"(ABNT, 2006). Estes sistemas podem ser classificados em três tipos: sistemas isolados ou autônomos (*off grid*), sistemas conectados à rede (*on grid*) e sistemas híbridos (ORTEGA, 2013). Os sistemas *off grid* ou isolados, são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica. Podem ser usados para fornecer eletricidade para residências em zonas rurais ou locais onde a energia elétrica não esteja disponível. Outras aplicações também são feitas para iluminação pública, alimentação de sistemas de telecomunicações e no carregamento de veículos elétricos (VILLALVA, 2012).

Os sistemas *on grid* (ou SFCR – Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede), têm como principal característica a não utiliza-

ção de um sistema de armazenamento.

Por estar sempre conectado à rede, o consumidor pode trocar parte do excedente de eletricidade gerada por créditos junto à concessionária, os quais serão abatidos do valor da conta de energia, tendo como limitante o valor mínimo pelo fornecimento de energia. Por fim, os sistemas híbridos visam fornecer energia elétrica de forma confiável e, ao mesmo tempo, diminuir a dependência de recursos externos. As fontes renováveis de energia mais comumente utilizadas neste tipo de sistema são a solar e eólica. O dimensionamento adequado dos geradores de energia elétrica através de fontes renováveis, do banco de baterias, e a utilização de uma estratégia de operação que otimize os recursos disponíveis, deve ter como objetivo minimizar ou eliminar a utilização do grupo gerador a diesel e maximizar a vida útil do banco de baterias, diminuindo os custos de operação e manutenção do sistema (CRESESB, 2014).

Não se deve esquecer nas análises de conexão de sistemas fotovoltaicos a rede de distribuição os impactos que podem causar nos conceitos de qualidade de energia elétrica. Estudos como (AFONSO et al., 2018) apresentam aspectos técnicos que devem ser considerados na conexão para mitigar possíveis problemas causados por esta tecnologia de geração distribuída.

Aspectos técnicos relacionados a proteção também fazem parte das diversas linhas de pesquisa relacionados ao tema sistemas fotovoltaicos. Em especial, uma grande preocupação existe quando a desconexão deste novos geradores da rede, como abordado em (BIAZ et al., 2018).

O Brasil, ao seguir os passos de outros países ao redor do mundo como Espanha, Alemanha e Estados Unidos, busca diversificar a sua matriz energética e aumentar a quantidade de energia disponível. Um importante passo foi dado em abril de 2012, quando a ANEEL publicou a Resolução Normativa Nº 482 (ABNT, 2012), estabelecendo as condições para o acesso da micro e da mini geração distribuída de energia elétrica à rede. Segundo Castro

(2014), esta medida “foi um importante passo para o crescimento da energia fotovoltaica no Brasil, ainda pouco aproveitada devido aos altos custos e, até então, falta de regulamentação”.

A Resolução Normativa Nº 482 (ABNT, 2012) define o Sistema de Compensação de Energia, também conhecido como *net-metering*. De acordo com este sistema, toda a energia injetada na rede, ou seja, a energia gerada menos a consumida, será transformada em créditos que serão abatidos da conta de energia elétrica da unidade consumidora ou outras unidades consumidoras em outra localidade, mas que estejam devidamente cadastradas para este fim e que possuam o mesmo CPF ou CNPJ. Na mais recente atualização, o período máximo para compensação dos créditos passou de 36 para 60 meses.

Alguns trabalhos referentes a implantação de sistemas fotovoltaicos considerando aspectos técnicos e econômicos que balizam parte deste estudo são: (SOUZA e outros, 2018), (LEITE e outros, 2018) e (VALE e outros, 2017).

ESTAÇÃO DE RADIOMONITORAÇÃO DE SATÉLITES – EMSAT

A interferência nas comunicações que utilizam satélite geostacionário é uma realidade, e acontece diariamente. Pode ocorrer de forma intencional ou não. A massificação da utilização do satélite, e o crescimento exponencial da quantidade de remotas pelo globo terrestre aumentam a probabilidade da geração de sinais prejudiciais aos que ocupam uma faixa de frequência neste meio de transmissão.

Na maioria das vezes, trata-se de uma interferência ocasionada por falha de equipamento ou imperícia do operador em campo. Ocorre com frequência o fato de o próprio usuário do satélite gerar uma portadora em radiofrequência indesejada, potencialmente prejudicial à sua rede ou a de outrem. Dependendo do tamanho da rede, ou da quantidade de operações que ocorrem durante o dia, é quase que inviável descobrir a origem do problema sem a

geolocalização.

Apesar das ocorrências serem pequenas, existem casos em que a interferência é intencional. Soma-se ainda a possibilidade da utilização do satélite sem a devida autorização.

Com o propósito de mitigar possíveis interferências prejudiciais satelitais, possibilitar o controle e acompanhamento de utilização de radiofrequências, posições orbitais e características técnicas, o Brasil, através da ANATEL, adquiriu uma estação para monitoração e geolocalização de estações que utilizam satélite geoestacionário como meio de transmissão.

Além do Brasil, poucos países possuem tecnologia para detectar a fonte interferente em um satélite geoestacionário. São eles: Alemanha, Cazaquistão, Ucrânia, Japão, EUA, Coreia do Sul, China, Paquistão, Vietnã, Bielorrússia e Rússia. Apenas o Brasil domina esta técnica no hemisfério Sul do planeta. A estação EMSAT foco deste estudo fica instalada na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

São aplicações da EMSAT:

- Mitigação de interferências prejudiciais em comunicações via satélite geoestacionário;
- Geolocalização de fontes emissoras que venham a prejudicar transmissões de televisão, rádio, de banda larga, sistemas de controle de espaço aéreo via satélite e sistemas utilizados para fins de defesa;
- Radio monitoração automatizada, detecção pró-ativa, identificação e geolocalização de emissões não autorizadas ou com irregularidade técnica;
- Avaliação do uso eficiente do espectro espacial e ocupação de posições orbitais por redes (nacionais e estrangeiras) notificadas à UIT;
- Autonomia para realizar testes, medições e estudos de compatibilidade eletromagnética necessários para coordenação e convivência de usuários/serviços em faixas adjacentes (Regulamentação de condições de uso de RF);
- Suporte à UIT-R e administrações envolvidas no tratamento de interferên-

cias internacionais;

- Acompanhar a entrada de novos satélites em operação;
- Testar novas tecnologias (como carrier ID) para identificação de estações transmissoras, estudos de efeitos atmosféricos (como atenuação por chuva) sobre comunicações por satélites e novas modulações;

• Suporte à ativação (ou manutenção) de estações terrenas da Marinha.

Principais características técnicas:

- Geolocalização de banda C e Ku;
- Não monitora conteúdo, somente Radiofrequência;
- Monitoração de downlink;
- Licenciada para medidas em bandas UHF, L, S, X, C, Ku e Ka;
- Pronta para medidas em bandas C, Ku e Ka;
- Apenas recepção de satélites geoestacionários;
- Planos de monitoração / dados históricos / alarmes (*threshold*);
- A operação da estação pode ser realizada remotamente;

DESCRIÇÃO DO SISTEMA E EQUIPAMENTOS PROPOSTOS

Este trabalho propõe a utilização de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para melhorar a alimentação da estação EMSAT.

O sistema de geração fotovoltaica proposto apresenta em sua configuração, componentes que não só possibilitam o processo de geração de eletricidade, mas também sua conexão à rede elétrica e quantificação da energia gerada. Os principais elementos empregados em um sistema fotovoltaico conectado à rede são:

- Inversor *grid-tie*: responsável por converter a energia elétrica gerada em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Ainda, cabe a este componente a conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede da concessionária de forma segura. Convém ressaltar que só podem ser instalados inversores que tenham sido

certificados pelo INMETRO.

- Medidor bidirecional: equipamento responsável por medir a energia total consumida da rede e a energia total fornecida à mesma.

- *String box*: Conjunto de placas solares devidamente conectadas e com terminais disponíveis em caixas de conexão.

METODOLOGIA

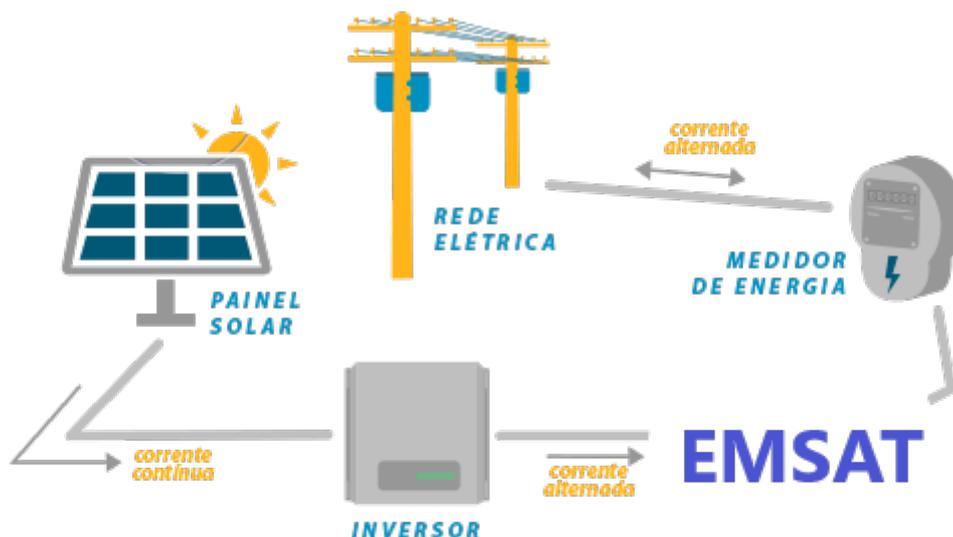


Figura 1 – Representação do sistema fotovoltaico.

Para a realização do estudo de viabilidade e o correto dimensionamento de sistemas fotovoltaicos existem diferentes softwares comerciais disponíveis no mercado, dentre eles podemos citar: PVsyst, PV*Sol e SOLergo.

Neste trabalho devido a disponibilidade de acesso, os autores optaram pela utilização do *software* PVsyst que é uma ferramenta que leva em conta as características de irradiância do local onde serão instalados os painéis, temperatura em diversas épocas do ano, melhor inclinação dos painéis e muitos outros fatores.

Para começar o projeto é necessário saber qual o consumo médio da estação, o que pode ser obtido através de 12 faturas da concessionária de energia elétrica (preferencialmente as 12 últimas). Este estudo de caso utilizou como base de dados o histórico de consumo do ano de 2016 apresentado na tabela I.

Meses de 2016	Consumo (kWh)
JAN	9841
FEV	10333
MAR	11120
ABR	9910
MAI	9888
JUN	8096
JUL	8387
AGO	8588
SET	9444
OUT	9053
NOV	9829
DEZ	9154
Consumo médio	9470
Consumo total	113643

Por estes dados encontra-se o consumo médio mensal da estação, que é de 9470 kWh. Para o cálculo da potência de pico utiliza-se a Equação (1).

Tabela I - Consumo da Estação no ano de 2016

$$P_p = \frac{E \times P_{sol}}{G_{POA} \times PR} \quad (1)$$

Onde:

P_p = potência de pico do painel (kWp)

E = energia consumida diariamente pelas cargas (kWh/dia)

P_{sol} = irradiância de referência (1 kW/m²)

G_{POA} = irradiação diária no plano dos mó-

dulos (kW/m²dia)

PR = performance ratio (coeficiente de desempenho)

Considerando-se $E=315,7$ kWh/dia (calculado baseado na média do consumo da instalação), $G_{POA} = 4,63$ kW/m²dia (extraído do software PVsyst) e $PR=0,75$ (extraído do software PVsyst), encontra-se $P_p = 3,5$ kWp.

Este dado é utilizado no PVsyst e as Figuras 2 a 6 ilustram os resultados obtidos.

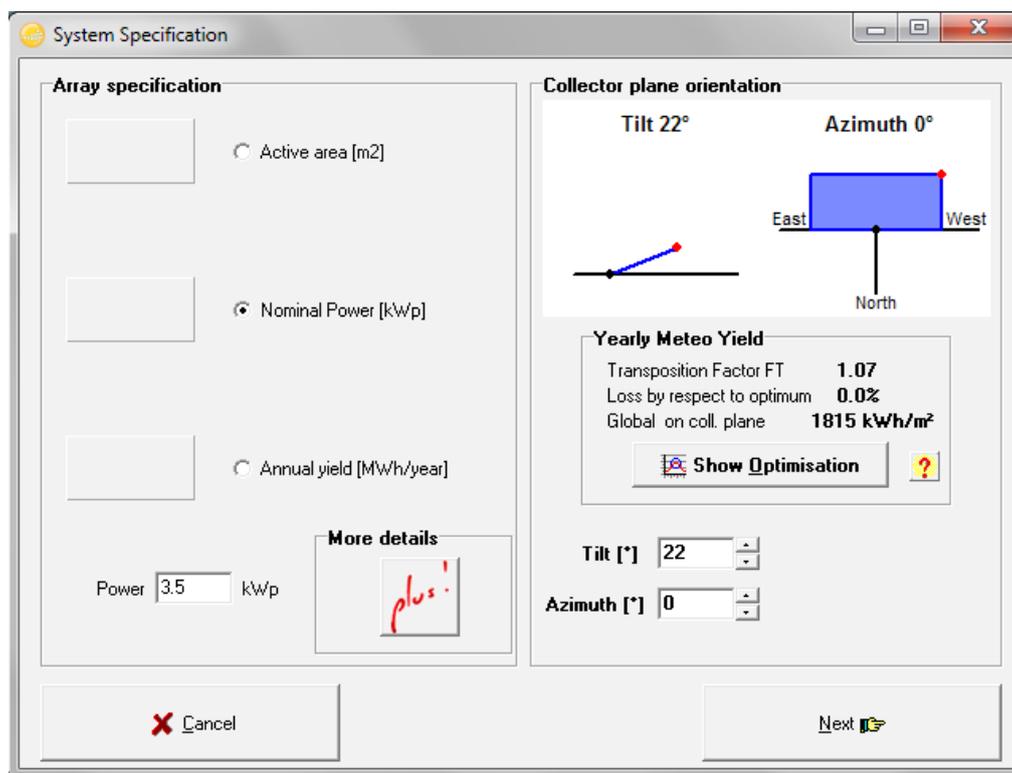


Figura 2 - PVsyst – Potência de 3,5 kWp e inclinação de 22°

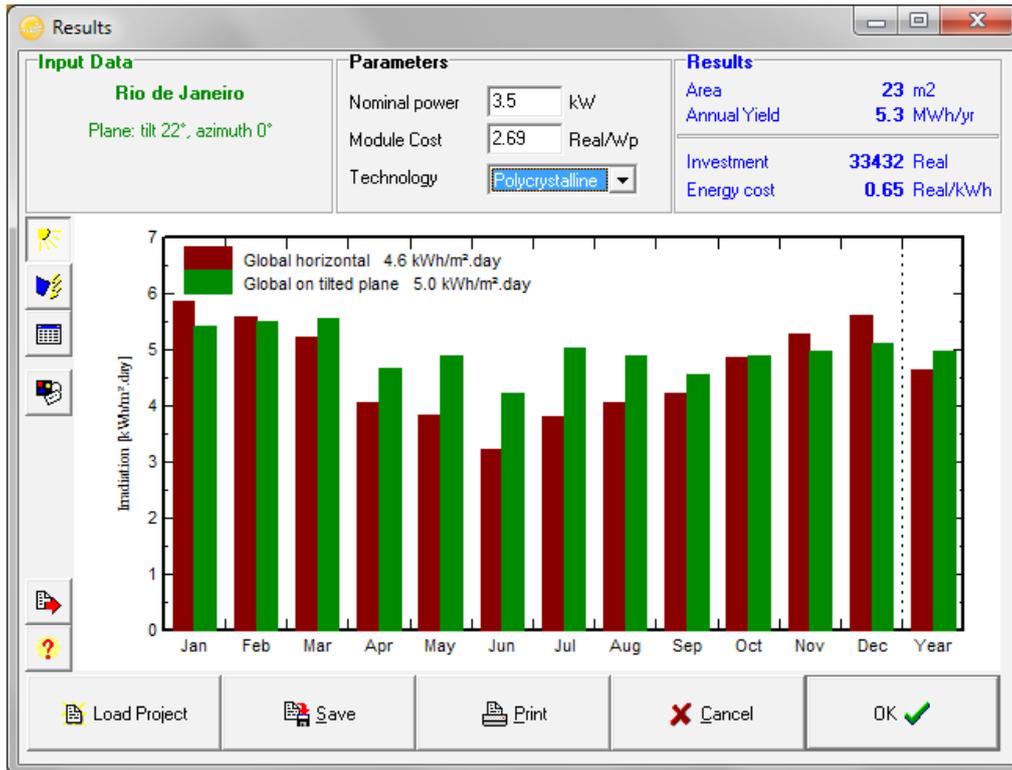


Figura 3 - PVsyst - Irradiância no local (horizontal e plano inclinado)

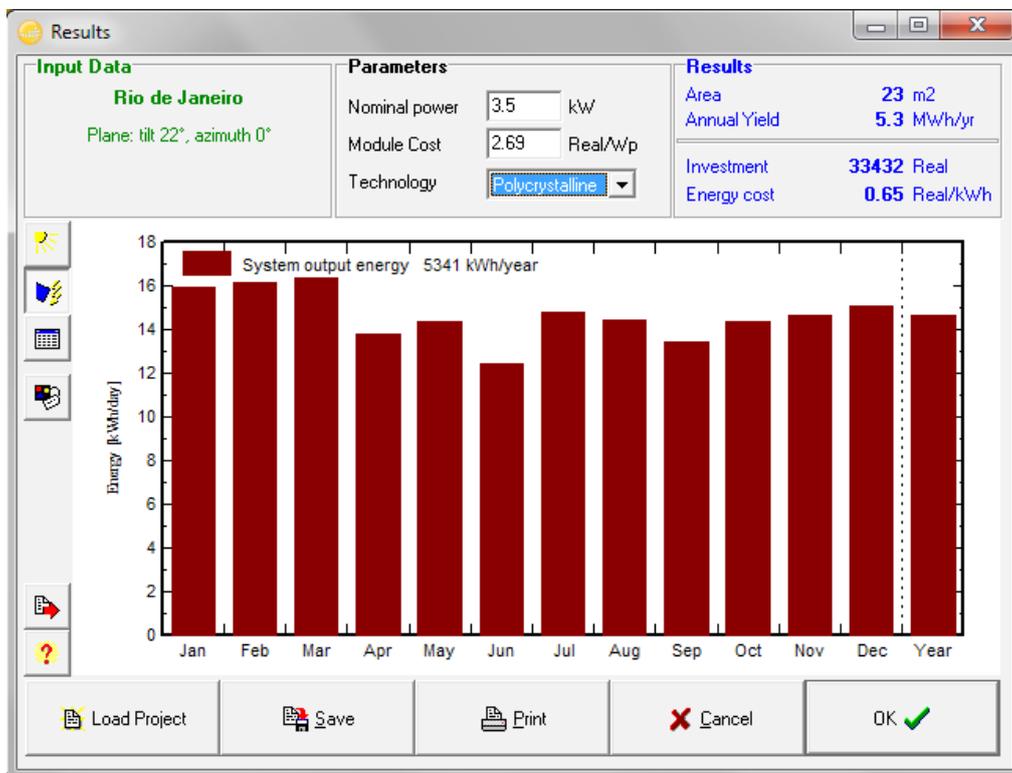


Figura 4 - PVsyst - Energia de saída do sistema

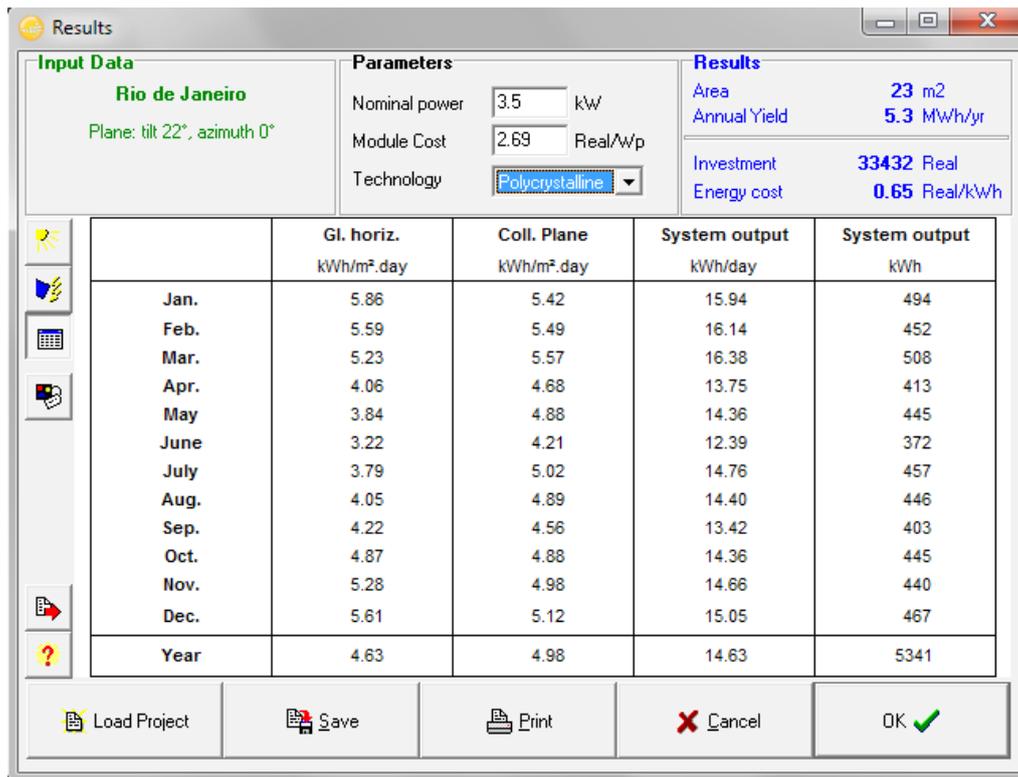


Figura 5 - PVsyst – Energia de saída do sistema

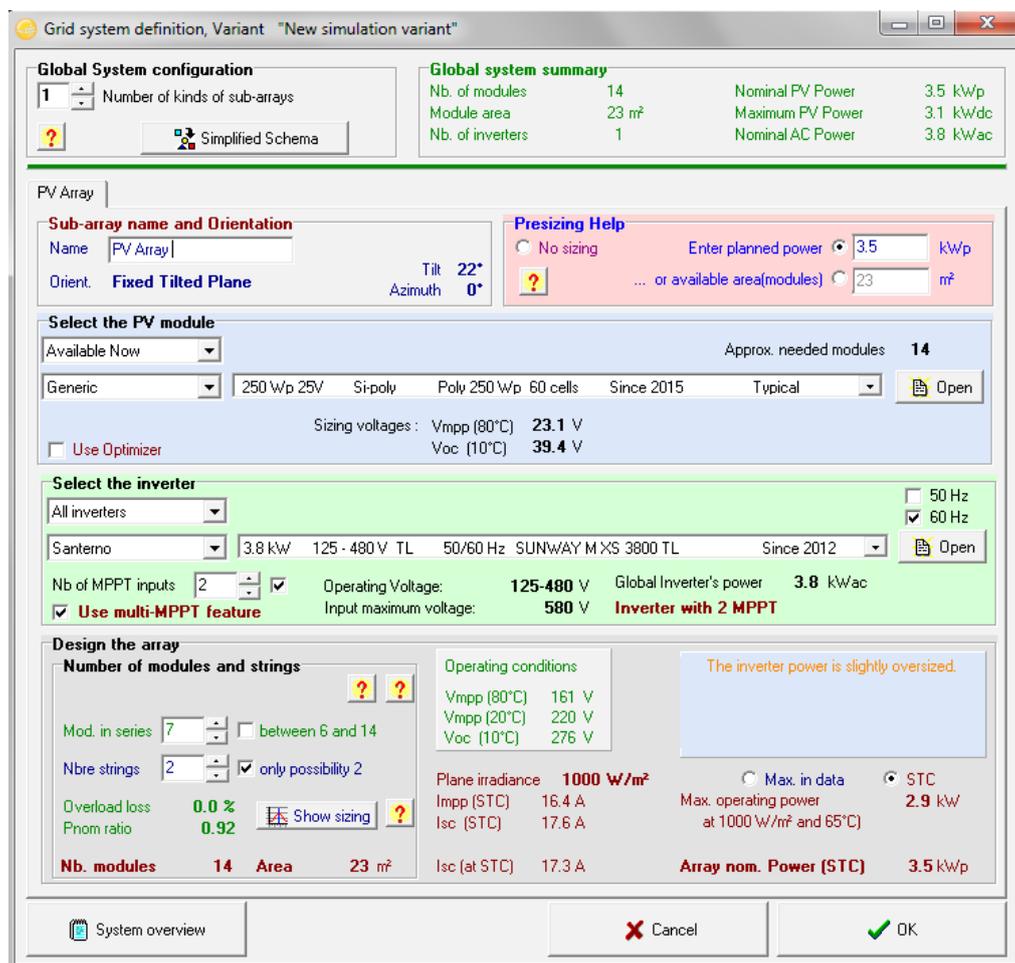


Figura 6 - PVsyst – Dados do Sistema

A figura 2 apresenta a especificação do arranjo e orientação do painel fotovoltaico, a figura 3 apresenta a irradiância no local horizontal e plano inclinado, os resultados de saída com a energia diária são apresentados nas figuras 4 e 5 e a figura 6 apresenta os dados do sistema especificado através da simulação realizada.

CONCLUSÃO

No ano de 2016 o indicador coletivo de continuidade DEC relativo à duração equivalente de interrupção por unidade consumidora apurado pela concessionária que atende a estação de radiomonitoração de satélites foi de 12,87. A energia gerada pelo sistema especificado corresponde a 4,7% do total consumido pela instalação, montante suficiente para suprir a instalação durante 17 dias. Logo, esse sistema poderá contribuir para o suprimento desta carga nos momentos em que haja a interrupção do fornecimento da concessionária.

O sistema especificado prevê uma área necessária de 23 m² e são sugeridas duas

strings com 7 módulos de 250 Wp em série. O inversor sugerido é de 3,8 kW 125-480 V. Os sistemas fotovoltaicos além de oferecerem redução de custo financeiro, são ótimas opções para melhorar a confiabilidade de sistemas críticos.

Este estudo de caso apresenta especificamente uma proposta para atender a uma estação de radiomonitoração de satélites que necessita de um fornecimento de energia de altíssima confiabilidade, a fim de fornecer seus serviços sem interrupção. Assim, concluímos que pode-se obter alta eficiência energética com o consumo de energia através do sistema fotovoltaico proposto.

Os sistemas fotovoltaicos já estão se tornando uma opção com tecnologia e equipamentos disponíveis no Brasil e sua aplicação se torna factível de ser analisada de forma rápida por *softwares* como o PVsyst. Existem outros disponíveis nas diversas mídias e a disseminação das aplicações como resultados preliminares para os estudos deve ser amplamente difundida como apresentado neste artigo.

ABSTRACT: *Satellite monitoring stations need considerable electric power to operate. Conventionally, the power supply of the stations is done by electric distribution Power Company. This paper presents an "on grid" system for the satellite monitoring station with photovoltaics power cells. The proposed system avoids interruptions of the energy supply of the station. This alternative is especially interesting for remote stations located in areas where the energy supply of the electric system is small or instable, which means, a bad power quality. A photovoltaic system with solar panels and an inverter can give energy to the station through the day, and through night, the energy is given by the electric system or can be given by batteries charged during the day. The authors used the software PVsyst for the correct dimensioning of the system. Variables as: irradiance, tilt angle of the solar panels, the panel manufactory power, the available area for installation of the system and other ones was considered.*

Keywords: *Solar energy; Inverters; PVsyst; Photovoltaics Panels.*

BIBLIOGRAFIA:

AFONSO, T.A.S.F. et al. **Impact Analysis on Power Quality of a Small Distributed Generation.** American Journal of Renewable and Sustainable Energy, v.4, n.3, p.56-63, 2018.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>. Acessado em julho 2018.

BIAZ, B.M et al. **Islanding Detection in Distributed Generation using Unsupervised Learning Techniques.** IEEE Latin America Transactions, v.16, n.1, p.118-125, 2018.doi: 10.1109/TLA.2018.8291463.

BORGES NETO, M.R.; CARVALHO, P.C.M.. **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos.** Editora Érica, 2012.

CASTRO, R.D. **Energia solar térmica e fotovoltaica em residências: estudo comparativo em diversas localidades do Brasil.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2014.

CRESESB, Energia Solar – Principios e Aplicações. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acessado em: junho 2017.

CRESESB, Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acessado em: março 2019.

LEITE, M.C.C. et al. **Harmonic Analysis of a Photovoltaic Systems connected to low voltage grid.** IEEE Latin America Transactions, v.15, n.1, p. 112-117, 2018. doi: 10.1109/TLA.2018.8291462.

LIMA, Alberto C. et al. **A Energia Solar no Espírito Santo: Tecnologias, Aplicadas e Oportunidades. Espírito Santo:** Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo, 2013. Disponível em: <http://www.aspe.es.gov.br/download/Energia_Solar_ES.pdf>. Acessado em: abril 2018.

ORTEGA, L.L.M. **Conversão fotovoltaica: comparação de modelos de desempenho.** Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC/RJ, 2013.

PEREIRA, E.M. **Petróleo e suas crises políticas, econômicas, sociais e ambientais na 2ª metade do século XX. Outros Tempos.** Pesquisa em Foco. v. 5, n. 6, p.54-72, 2008. Disponível em: <http://www.outrostempos.uema.br/OJS/index.php/outros_tempos_uema/article/view/206>. Acessado em: maio 2017.

PERLIN, J. **The silicon solar cell turns 50.** 2004. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33947.pdf>>. Acessado em: junho 2017.

PIMENTEL, F. **O Fim da Era do Petróleo e a Mudança do Paradigma Energético Mundial: Perspectivas e Desafios para a Atuação Diplomática Brasileira.** Fundação Alexandre Gusmão, 2011. Disponível em: <http://funag.gov.br/loja/download/838-Fim_da_Era_do_Petroleo_e_a_Mudanca_do_Paradigma_Energetico_Mundial_O.pdf>. Acessado em: maio 2018.

REHMAN, Shafiqur; BADER, Maher A.; AL-MOALLEM, Said A. **Cost of solar energy generated using PV panels**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 11, n. 8, p.1843-1857, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.005>.

REIS, L.B. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. Editora Manole, 2003.

SOUZA, G.; MOSQUEIRA, R.A.; FORTES, M.Z. **Viabilidade Técnico-Financeira de Projetos de Geração Fotovoltaica: Análise de Perdas**. Revista SODEBRAS, v.13, n.153, p.101-107, 2018.

VALE, A.M. e outros. **Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program "Minha Casa Minha Vida"**. Energy Policy, v.108, p.292-298, 2017. doi: 10.1016/j.enpol.2017.06.001.

VALLERA, A.M.; BRITO, M.C. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de Física, Portugal, v. 29, n. 1-2, p.10-15, 2006.

VILLALVA, M.G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. Editora Érica, 2012.

Submetido em: 20/10/2018

Aceito em: 25/03/2019