

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO SUPRINDO UMA ESTAÇÃO RÁDIO BASE DE TELEFONIA CELULAR

Geraldo M. A. Junior – geraldomotta@unisuam.edu.br

Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, Engenharia Elétrica.

Endereço: Av. Paris, 84.

CEP: 21041-020 – Rio de Janeiro – RJ.

Daniel dos S. Nascimento – daniel_msn@hotmail.com

Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, Engenharia Elétrica.

Endereço: Av. Paris, 84

CEP: 21041-020 – Rio de Janeiro – RJ.

Monique A. F. Rocha – moniquerocha@macae.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Construção Civil.

Endereço: Av. Aluizio da Silva Gomes, 50.

CEP: 27930-560 – Macaé – RJ

Antonio J. D. Silva – antoniojoseds@gmail.com

Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, Engenharia Elétrica.

Endereço: Av. Paris, 84.

CEP: 21041-020 – Rio de Janeiro – RJ.

Resumo: O presente artigo aborda o crescimento do setor de telecomunicações e o seu consumo de energia elétrica. Para garantir que as estações rádio base, responsáveis pela telecomunicação de telefonia móvel, alcancem áreas remotas e mantenham a rentabilidade do negócio, é necessário o desenvolvimento de sistemas eficazes capazes de reduzir os custos operacionais. Nesse sentido, fontes renováveis de energia são recursos que podem ser utilizadas para suprir a falta e diminuir os custos com este insumo. Entre essas fontes, a energia proveniente do sol se destaca como uma das mais promissoras e, na busca pelo aproveitamento direto da radiação solar, diversas tecnologias têm sido estudadas e desenvolvidas. Considerando, então, a relevância que a geração renovável de energia assume nesse contexto, este trabalho detalha a implantação e estuda a viabilidade técnica-econômica da instalação de um projeto de geração fotovoltaico off-grid de distribuição, fornecendo energia a uma estação rádio base de telefonia celular no estado do Rio de Janeiro. A geração fotovoltaica proposta no sistema ideal mostrou-se viável tecnicamente, mas não tão atrativa economicamente em relação ao sistema funcional. Já o sistema funcional mostrou-se mais economicamente atrativo, porém, sua autonomia não é a mais indicada para sistemas de telecomunicações, podendo ocorrer em casos extremos falta de energia.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Estação rádio base. Off-grid.

1 INTRODUÇÃO

O estudo para implantação de um sistema de geração fotovoltaico fornecendo energia a uma estação rádio base (ERB) de telefonia celular visa diminuir o custo da energia elétrica fornecida pela distribuidora de energia. Em regiões remotas e rurais, as falhas no fornecimento de energia em centrais telefônicas, interrompem a comunicação com várias cidades e, conseqüentemente, geram transtorno ao usuário e prejuízo à empresa de telefonia (ALVARENGA, OLIVEIRA, *et al.*, 2016).

A busca por fontes renováveis complementares torna-se cada vez mais importante devido a crescente busca por energia. Entre essas fontes, a energia proveniente do sol se destaca como uma das mais promissoras devido às diversas tecnologias que tem sido estudadas e desenvolvidas. A eletricidade solar, tradicionalmente chamada de energia fotovoltaica, é uma fonte limpa de energia que tem potencial para contribuir com o desenvolvimento ambientalmente sustentável (LORA e HADDAD, 2006).

Apesar desse grande potencial, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018), em maio de 2018 a energia fotovoltaica (UFV) representou apenas 0,78% do total de energia consumida. Logo, diante desse cenário em que o setor de energia solar só tende a aumentar, o objetivo deste artigo é analisar a viabilidade técnica da utilização de módulos fotovoltaicos na alimentação de energia elétrica nas Estações Rádio Base. Também será observada a possibilidade de diminuição do impacto ambiental, assunto este que está inserido em uma discussão mais ampla sobre preservação ambiental e sustentabilidade econômica.

2 DESENVOLVIMENTO

Para implantação de uma ERB com módulos fotovoltaicos, controlador de carga e baterias, é necessário uma torre do tipo *Greenfield*, ou seja, instalada no solo e que o local possua espaço físico disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos.

Após a realização de análise geral no estado do Rio de Janeiro, destacou-se a opção de implantação da ERB na cidade de Angra dos Reis - Ilha Grande, devido à grande necessidade de cobertura celular e também pela sua elevada irradiação solar diária média mensal. Existem atualmente na Ilha Grande cinco ERB's, quatro localizadas na Vila do Abraão e uma localizada na região de Provetá. A Vila Dois Rios da Ilha Grande possui atualmente um campus da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (Centro de estudos ambientais e desenvolvimento sustentável), um Ecomuseu, trilhas e demais infraestruturas voltadas para o turismo que necessitam de cobertura de telefonia móvel. Atualmente, a torre situada na Vila do Abraão é a mais próxima da Vila Dois Rios e, mesmo assim, não é suficiente para dar cobertura a toda região. Devido a essas razões, a Vila Dois Rios foi a área escolhida para implantação da ERB estudada.

2.1 Características Climáticas da Localidade Escolhida

O clima em Ilha Grande é tropical. No inverno existe muito menos pluviosidade do que no verão. Conforme evidenciado na Tabela 1, a temperatura média do mês de novembro é de 28.3°C, o mês mais quente do ano. A temperatura média em março é de 26.7 °C, que durante o ano é a temperatura média mais baixa (CLIMATE, 2018). A temperatura exerce influência sobre as características elétricas dos módulos fotovoltaicos. A Tabela 1 é de suma importância para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Além das condições climáticas, a disponibilidade da irradiação solar depende da inclinação do eixo imaginário da Terra e de sua trajetória elíptica, da latitude local e do



período do ano. Para as coordenadas correspondentes à Vila Dois Rios/Ilha Grande, a base de dados fornece os dados de irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] referente ao plano horizontal, apresentado pela Tabela 2, para no mínimo três localidades próximas ao ponto de interesse.

Tabela 1 - Tabela Climática Ilha Grande

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	27.4	26.9	26.7	26.9	26.9	26.8	27.2	27.5	28.2	28.2	28.3	28
Temperatura mínima (°C)	22.4	22.4	22.6	22.7	22.3	21.6	21.7	21.9	22.8	22.7	22.9	22.9
Temperatura máxima (°C)	32.5	31.5	30.9	31.2	31.6	32.1	32.7	33.2	33.7	33.8	33.7	33.1
Temperatura média (°F)	81.3	80.4	80.1	80.4	80.4	80.2	81.0	81.5	82.8	82.8	82.9	82.4
Temperatura mínima (°F)	72.3	72.3	72.7	72.9	72.1	70.9	71.1	71.4	73.0	72.9	73.2	73.2
Temperatura máxima (°F)	90.5	88.7	87.6	88.2	88.9	89.8	90.9	91.8	92.7	92.8	92.7	91.6
Chuva (mm)	144	228	310	303	200	56	27	3	2	4	7	39

Fonte: (CLIMATE, 2018).

Tabela 2 - Tabela Climática Ilha Grande

Latitude: 23,184734° S

Longitude: 44,194023° O

Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																	
				Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			23,201° S	44,149° O		5,0	5,86	6,09	4,93	4,41	3,52	3,20	3,19	4,00	4,06	4,68	4,99	5,67	4,55	2,90
Angra dos Reis	Angra dos Reis	RJ	BRASIL	23,201° S	44,249° O		5,9	5,85	6,02	4,87	4,37	3,52	3,20	3,19	3,99	4,03	4,61	4,92	5,56	4,51	2,83
Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			23,101° S	44,149° O		10,4	5,65	5,91	4,78	4,33	3,52	3,18	3,21	4,04	4,09	4,61	4,80	5,42	4,46	2,72

Fonte: (CRESESB, 2018).

2.2 Estação Rádio Base Escolhida

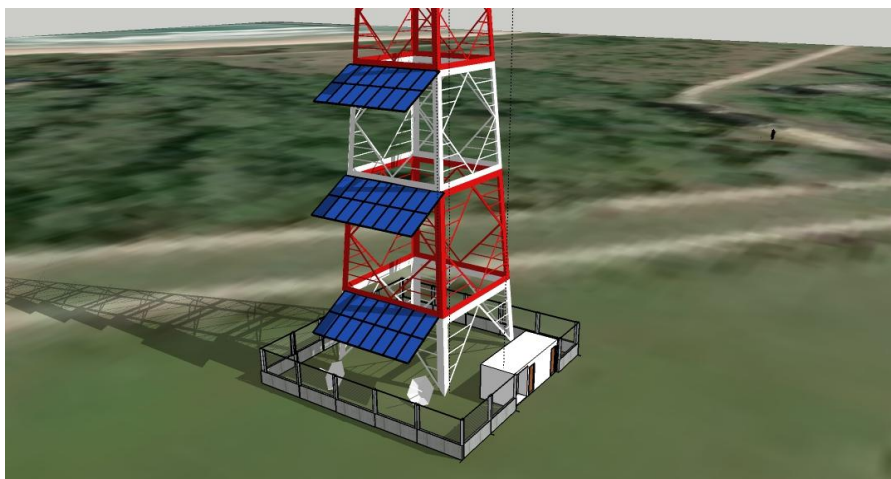
A ERB escolhida para o anteprojeto foi a que possui uma configuração de torre Greenfield conjugada com um gabinete de energia da Eltek (possui um menor consumo), entrada de alimentação de energia em DC-48V, facilitando no dimensionamento do sistema e no custo benefício. Um importante fator a ser observado é o tipo de alimentação das cargas, podendo ser em corrente contínua (CC) ou alternada (CA). A utilização de equipamentos CC dispensa a utilização do inversor. Os componentes básicos no interior do gabinete Eltek são: banco de baterias, modens ópticos, módulos de controle, módulos de RFs, fibras ópticas, cabos coaxiais, disjuntores e refrigeração fornecida pelo próprio gabinete.

2.3 Estudo da Implantação da ERB

Foram estudados dois sistemas de operação distintos: com autonomia para sete dias, chamado de ideal; com autonomia para apenas dois dias, chamado de funcional. No sistema

ideal (autonomia de sete dias) o estudo apresenta os painéis fotovoltaicos instalados diretamente na estrutura de uma estação radio base de 60 metros de altura, conforme é mostrado na Figura 1, visando a otimização da área de implantação. Conforme recomendado por (CRESESB, 2014), as placas foram orientadas em um ângulo de 23° em direção ao Norte. Também foi instalado um container ventilado que abrigará as baterias, gabinete de energia e controladores de carga totalizando uma área de intervenção de aproximadamente 240 m^2 .

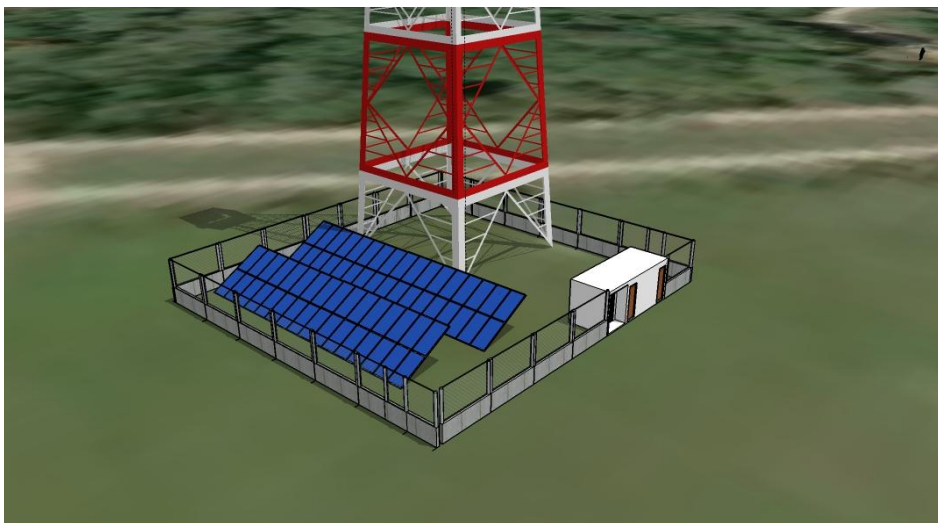
Figura 1 – Estudo de implantação do sistema ideal.



Fonte: Autores.

Já no sistema funcional, conforme mostrado na Figura 2, as placas fotovoltaicas foram dispostas ao solo, em sequência, como uma segunda opção de implantação. A área total utilizada para instalação das placas, instalação da torre e acondicionamento do container foi de 525 m^2 . Como a autonomia desse sistema é de dois dias, os módulos fotovoltaicos devem ficar livres de obstáculos que possam fazer sombra sobre elas, assim potencializando a geração de energia.

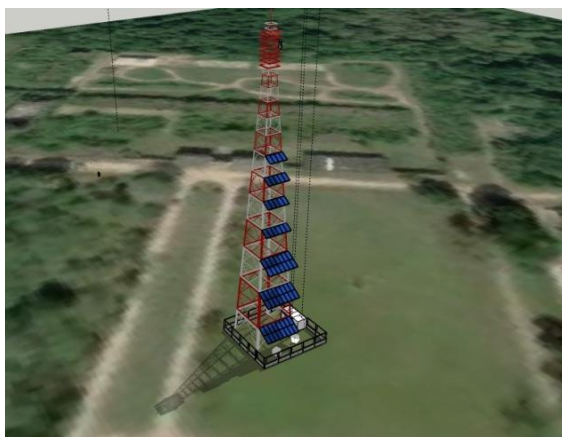
Figura 2 – Estudo de implantação do sistema funcional



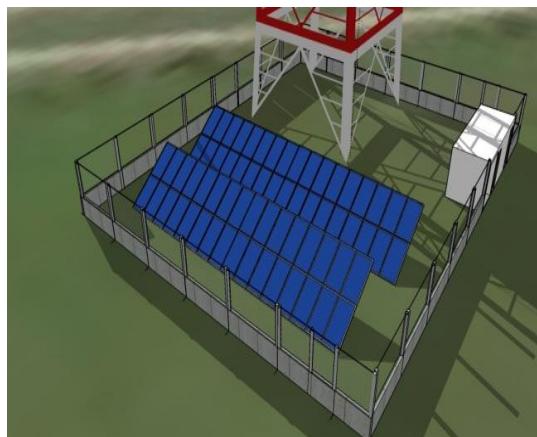
Fonte: Autores.

Através do programa *Sketchup*, foi realizado um estudo de insolação das placas fotovoltaicas do sistema ideal Figura 3-a (autonomia de sete dias) e do sistema funcional Figura 3-b (autonomia de dois dias). Este estudo permitiu ter uma noção do comportamento dos dois sistemas, podendo assim obter o máximo de aproveitamento do sol. A melhor forma encontrada para não ocorrer sombreamento nos módulos fotovoltaicos foi a utilizada pelos módulos fotovoltaicos onde são planejados no solo (sistema funcional). Já o estudo realizado no sistema ideal, percebeu-se que nos meses que sucedem ao verão, os módulos fotovoltaicos superiores fazem sombreamento nos módulos inferiores em um curto período do dia.

Figura 3 – Estudo de Insolação: (a) sistema ideal e (b) sistema funcional



(a)



(b)

Fonte: Autores.

2.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Com base dos dados apresentados na Tabela 3, é possível realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, assim como as correções dos dados das placas fotovoltaicas em relação à temperatura ambiente da localidade onde está sendo feito o estudo do sistema.

Tabela 3 - Dados coletados para dimensionamento de todo sistema fotovoltaico.

LOCALIDADE	
Temperatura média do local de instalação do sistema	27,41 °C
Horas de sol pleno (HSP)	3,19
CARGAS	
Tensão do sistema (Vcc)	48 V
Carga diária	40600 Wh
Energia Ativa Necessária	41856 Wp
BATERIAS	
Modelo	Freedom Df3000
Eficiência da bateria	0,97
Autonomia Sistema Ideal (dias)	7
Autonomia Sistema Funcional (dias)	2
Tensão nominal da bateria	12 Vcc
Capacidade da bateria (C20)	170 Ah

PLACAS FOTOVOLTAICAS	
Modelo	CS3K-300
Potência máxima (PMP)	300 Wp
Tensão circuito aberto (VOC)	39,3 V
Corrente de curto circuito (ISC)	9,82 A
Tensão em máxima potência (VMP)	32,5 V
Corrente em máxima potência (IMP)	9,24 A
CONTROLADORES DE CARGA MPPT	
Modelo	ITRACER IT6415ND

Fonte: Autores.

A Tabela 4 foi elaborada com base em cálculos para a correção das características elétricas do módulo fotovoltaico. O módulo fotovoltaico sofre influência da temperatura ambiente em que é instalado e com isso sua potência, corrente e tensão podem apresentar alterações em relação aos seus valores nominais. Esses valores precisam ser corrigidos para temperatura da localidade da instalação e assim ter um dimensionamento mais exato.

Tabela 4 - Correção das características elétricas do módulo fotovoltaico.

DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO CORRIGIDO	
Potência máxima (PMP)	269,57 Wp
Tensão em máxima potência (VMP)	29,91 V
Corrente em máxima potência (IMP)	9,36 A
Tensão circuito aberto (VOC)	36,17 V
Corrente de curto circuito (ISC)	9,95 A

Fonte: Autores.

Para o dimensionamento do banco de baterias deve ser inserida a profundidade da descarga da bateria (%). Nesse caso, foram realizados cálculos com duas profundidades de descargas diferentes e a partir dessa informação será apresentada a capacidade do banco de bateria (C20) e a quantidade de baterias conectadas em série e em paralelo para o sistema (ideal e funcional). Quanto maior for a profundidade da descarga, menor será a quantidade de baterias utilizada no banco, quanto menor for a profundidade maior será a vida útil da bateria. Na Tabela 5 é inserido o dimensionamento dos bancos de baterias.

Tabela 5 - Correção das características elétricas do módulo fotovoltaico

DIMENSIONAMENTO BANCO DE BATERIAS	
Profundidade da descarga (sistema ideal)	50 %
Profundidade da descarga (sistema funcional)	80 %
Capacidade do banco (C20) (sistema ideal)	2208 Ah
Capacidade do banco (C20) (sistema funcional)	2180 Ah

Número de baterias em paralelo (sistema ideal)	72
Número de baterias em paralelo (sistema funcional)	13
Número de baterias em série (sistema ideal)	4
Número de baterias em série (sistema funcional)	4
Total de baterias utilizadas (sistema ideal)	288
Total de baterias utilizadas (sistema funcional)	52

Fonte: Autores.

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico considerando controlador de carga MPPT – é apresentada a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para fornecer energia para alimentar as cargas e carregar o banco de baterias quando no sistema será utilizado controlador de carga com a tecnologia MPPT.

O dimensionamento elétrico do controlador MPPT – a partir do modelo disponível, é possível determinar a quantidade de controladores MPPT, em paralelo, que serão utilizados no sistema fotovoltaico. Com base nos dados obtidos, o controlador de carga MPPT é o mais viável para os projetos estudados, os resultados são comuns para os dois sistemas (ideal e funcional).

A Tabela 6 foi criada para facilitar o entendimento dos resultados obtidos.

Recomenda-se instalar os controladores de carga o mais próximo possível das baterias, evitando-se assim perdas de energia na fiação; deve ser instalado em local à sombra e ventilado para assim aumentar a vida útil do equipamento. Utiliza-se somente fiação de qualidade dentro das normas da ABNT, assim não comprometendo o rendimento do sistema.

Tabela 6 - Dimensionamento do controlador de carga.

DIMENSIONAMENTO CONSIDERANDO CONTROLADOR DE CARGA MPPT	
Número de módulos em série	02
Números de módulos em paralelo	33
Total de módulos	66
DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO DO CONTROLADOR	
Corrente máxima suportada pelos controladores	411A
Tensão de operação	48 V
Corrente suportada pelo controlador	60 A
Quantidade de controladores em paralelo	07

Fonte: Autores.

Foi elaborada uma análise financeira de custo dos principais equipamentos necessários para a construção do sistema fotovoltaico apresentado, não levando em conta o custo de instalação do sistema. A Tabela 7 apresenta valores referentes aos equipamentos do sistema ideal (autonomia de sete dias), planejado para instalação das placas diretamente na estrutura da torre. Na Tabela 8 são apresentados os valores dos equipamentos do sistema funcional (autonomia de dois dias), planejado para instalação das placas diretamente no solo e à frente da Estação Rádio Base.

Tabela 7 - Descrição dos valores dos equipamentos do sistema ideal.



EQUIPAMENTOS	UNIDADES	VALOR	TOTAL
Bateria	288	R\$ 1.050,00	R\$ 02.400,00
Controlador de carga MPPT	7	R\$ 2.959,00	R\$ 20.713,00
Placa fotovoltaica	66	R\$ 669,00	R\$ 44.154,00
Estruturas de fixação, projeto, material elétrico.		R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
TOTAL			R\$ 82.267,00

Fonte: Autores.

Tabela 8 - Descrição dos valores dos equipamentos do sistema Funcional.

EQUIPAMENTO	UNIDADE	VALOR	TOTAL
Bateria	52	R\$ 1.050,00	R\$ 54.600,00
Controlador de carga MPPT	7	R\$ 2.959,00	R\$ 20.713,00
Placa fotovoltaica	66	R\$ 669,00	R\$ 44.154,00
Estruturas de fixação, projeto, material elétrico.		R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
TOTAL			R\$ 134.467,00

Fonte: Autores.

A partir dos projetos especificados, foram propostos dois diferentes cenários de geração, consumo e desempenho. Para o cálculo da energia produzida foi utilizado o método da irradiação global, método utilizado em sistemas com a tecnologia MPPT onde durante todo o tempo o módulo funciona em seu ponto de máxima potência. A Tabela 9 apresenta os resultados de geração de energia produzida pelo sistema fotovoltaico estudado, onde para obter um resultado mais preciso, foi levada em consideração a irradiação solar diária de cada mês do ano.

Tabela 9 - Estimativa de geração de energia com base na tecnologia MPPT.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA			
Mês	Irradiação diária (kWh/m²/dia)	Média diária (kWh)	Média Mensal (kWh)
Janeiro	5,78	102,81	3.084,30
Fevereiro	6,00	106,72	3.201,60
Março	4,86	86,44	2.593,20
Abril	4,37	77,73	2.331,90
Maio	3,32	62,61	1.878,30
Junho	3,19	56,74	1.702,20
Julho	3,19	56,74	1.702,20
Agosto	4,01	71,32	2.139,60
Setembro	4,06	72,21	2.166,30

Outubro	4,63	82,35	2.470,50
Novembro	4,90	87,16	2.614,80
Dezembro	5,55	98,72	2.961,60
TOTAL		961,55	28.846,50

Fonte: Autores.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao cenário atual do Brasil que é extremamente favorável para implantação de fontes de energias renováveis, principalmente na área de geração fotovoltaica, onde se destaca como umas das mais promissoras devido ao desenvolvimento de tecnologias as quais facilitam a utilização desse sistema e por ser uma fonte limpa de energia, acaba contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Diante disso, este trabalho apresentou um estudo para implantação de um modelo de geração fotovoltaico, utilizando-se de dois sistemas de operação distintos: o primeiro com autonomia para sete dias, chamado de ideal e o segundo com autonomia para apenas dois dias, chamado de funcional. O estudo foi desenvolvido na Ilha Grande - RJ, e constou das etapas de determinação das premissas de projeto, do planejamento, das pesquisas de campo, do estudo da implantação e da análise dos resultados sob a ótica técnica e econômica considerando os sistemas operando separadamente.

A geração fotovoltaica do sistema ideal mostrou-se viável tecnicamente, mas não tão atrativa economicamente quanto o sistema funcional. Porém, do ponto de vista das empresas do ramo de telefonia, considerando o cenário nacional dos preços da energia elétrica, os incentivos governamentais existentes, os preços dos principais equipamentos como módulos e baterias em declínio no mercado mundial e também o retorno financeiro de longo prazo pela vida útil dos equipamentos, acaba também se tornando interessante esse sistema.

Embora o sistema funcional tenha sido mais economicamente atrativo, sua autonomia não é a mais indicada para sistemas de telecomunicações, podendo ocorrer em casos extremos falta de energia. Nesse caso, pode ser utilizada uma fonte de energia alternativa, por exemplo, um Aerogerador interligado ao sistema, como forma de backup para manter o funcionamento do mesmo, porém essa consideração não foi analisada no referido projeto.

Além disso, também se apresentou uma nova forma, além da usual, de instalação das placas fotovoltaicas na própria torre, visando à otimização da área de implantação. Para isso, o estudo de insolação anual feito no programa *Sketchup* foi fundamental na avaliação da funcionalidade da instalação, mostrando-se eficiente e com economia de metade da área utilizada no sistema usual de instalação das placas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. H. *et al.* **Estudo de caso para implantação do smart grid na telefonia móvel.** Revista científica da FHO/UNIARARAS, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 13, Fevereiro 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. site da ANEEL, 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

CLIMATE. Clima Ilha Grande. Climate Data Org, 2018. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/piaui/ilha-grande-313662/>>. Acesso em: 28 de agosto de 2018.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 01 de setembro de 2018.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** Rio de Janeiro. 2014.

ESPOSITO, S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, v. v. 40, p. 85-114, dezembro 2013.

LORA, E.; HADDAD, J. **Geração Distribuída – Aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

MAPS, G. Google Maps. **Google Maps**, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-23.1826233,-44.1948385,15z>>. Acesso em: 01 de setembro de 2018.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL-ECONOMIC VIABILITY OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM SUPPLYING A RADIO STATION OF CELL PHONE BASE

Abstract: *This article addresses the growth of the telecommunications sector and its consumption of electricity. To ensure that base stations responsible for mobile telecommunication reach remote areas and maintain business profitability, it is necessary to develop effective systems that can reduce operating costs. In this sense, renewable energy sources are resources that can be used to fill the shortage and reduce costs with this input. Among these sources, the energy from the sun stands out as one of the most promising, and in the search for the direct use of solar radiation, several technologies have been studied and developed. Considering the relevance of renewable energy generation in this context, this work details the implementation and studies the technical and economic viability of the installation of a photovoltaic off-grid generation project, providing power to a base radio station in the state of Rio de Janeiro. The photovoltaic generation proposed in the ideal system proved to be technically feasible, but not as economically attractive as the functional system. The functional system has proved to be more economically attractive, however, its autonomy is not the most suitable for telecommunications systems, and in extreme cases there may be a lack of energy.*

Key-words: Photovoltaic solar energy. Base station. Off-grid.