

# SISTEMA FOTOVOLTAICO NO AEROPORTO INTERNACIONAL DE MANAUS: ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DE IMPLANTAÇÃO USANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

**Carlos Gomes Fontinelle** – fontinelle@ifam.edu.br

**Jandecy Cabral Leite** – jandecy.cabral@itegam.org.br

Universidade Federal do Pará (UFPA), Programa de Pós-Graduação em Ciências e Meio Ambiente (PPGCMA),

Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (Itgam)

**Carlos Magno Cassio de Assis** – carloszeebomaster38@gmail.com

Instituto Federal de Tecnologia do Amazonas (Ifam), Grupo de Pesquisa em Energia Solar Fotovoltaica

**Resumo.** Atualmente, a inserção de energias renováveis na composição da matriz energética brasileira tem se mostrado em franca expansão, principalmente devido aos diversos problemas ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis. A energia solar é uma fonte renovável de energia, limpa, silenciosa e o painel fotovoltaico pode ser instalado em qualquer local que receba luz solar. Deste modo, esta modalidade de energia ganha mais espaço e popularidade no mundo inteiro, principalmente no Brasil, não apenas pelas condições climáticas favoráveis, mas também pelo custo atual elevado da energia elétrica. Dado ao grande potencial de insolação do território brasileiro, os sistemas fotovoltaicos tornam-se uma alternativa bastante atrativa principalmente em aeroportos que são locais tipicamente grandes, horizontais, ensolarados, apresentam poucas áreas de sombreamento e possuem perfil de consumo energético elevado. O ambiente de estudo deste trabalho foi o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes localizado em Manaus, Estado do Amazonas. O objetivo desse estudo foi inspecionar algumas áreas adequadas para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental para implantação desses sistemas. Os valores numéricos dos projetos foram comprovados por meio de softwares livres de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Para este trabalho, foram elaboradas duas propostas de projeto: 1) Primeira proposta: 4,6MW (demanda contratada do Aeroporto), 1.a) 14.832 painéis fotovoltaicos, 1.b) Investimento de R\$ 19.500.000,00, 1.c) Payback de 8,6 anos, 1.d) VPL de R\$ 60.906.929,00, 1.e) TIR de 12,5%, 1.f) Redução anual de 495,1tCO<sub>2</sub>; ii) Segunda proposta: 402kW (carga do estacionamento de funcionários do aeroporto), 2.a) 1.296 painéis fotovoltaicos, 2.b) Investimento de R\$ 1.732.636,00, 2.c) Payback de 8,8 anos, 2.d) VPL de R\$ 5.310.732,00, 2.e) TIR de 12,3%, 2.f) Redução anual de 43,4tCO<sub>2</sub>. Neste contexto, a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no referido aeroporto mostrou-se viável nos aspectos técnico, econômico e ambiental.

**Palavras-chave:** Energia Renovável, Energia Solar, Aeroporto.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Pereira *et al.* (2006), no atual cenário energético, existe uma preocupação crescente com a preservação do meio ambiente no que tange à poluição e ao impacto ambiental. Essa necessidade está impulsionando a comunidade científica mundial a pesquisar e desenvolver fontes de energia que sejam renováveis e limpas, pois a queima de combustível para geração de energia elétrica é responsável pela emissão de poluentes, tais como: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxido de nitrogênio (NO). Outros fatores motivadores são o aumento da demanda energética, a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e mitigação do Efeito Estufa.

Por se tratar de uma fonte renovável, a energia solar fotovoltaica ganhou espaço e preferência pelos cientistas do mundo inteiro. De acordo com os dados da SolarPower Europe (2017), em 2015, a potência mundial fotovoltaica instalada era de 229,9GW e em 2016 chegou a marca de 306,5GW, ou seja, um aumento significativo de 33%.

No cenário nacional, a capacidade fotovoltaica instalada chegou a 141MW no final de julho de 2017 (Aneel, 2017a).

Segundo dados de 2015 da EPE (2016), 75,51% da oferta de energia elétrica brasileira está associada a fontes de energia renováveis assim distribuídas: 64% de energia hidráulica, 8% de energia de biomassa, 3,5% de energia eólica e 0,01% de energia solar.

Dado ao grande potencial de insolação do território brasileiro, a energia solar torna-se uma alternativa bastante atrativa, principalmente em aeroportos.

Braun *et al.* (2007) afirmam que os aeroportos, de uma forma geral, são ambientes propícios à instalação da energia solar fotovoltaica, pois são, na maioria das vezes, lugares providos de grandes edificações, ensolarados e possuem áreas de pouco sombreamento. Além disso, a pegada de carbono de aeroportos pode ser reduzida com a substituição da fonte de energia elétrica convencional pela fonte de energia solar fotovoltaica de acordo com (Sukumaran e Sudhakar, 2017).

O aumento da utilização do transporte aéreo nos últimos anos fez com que aeroportos do Brasil e de outros países estejam em constante expansão e modernização para acomodar a crescente demanda, buscando alternativas viáveis de aplicação de energias renováveis em seus sítios aeroportuários e a mitigação de emissão de CO<sub>2</sub> devido aos passageiros quando fazem uso da aviação.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva realizar um estudo de avaliação técnica, econômica e ambiental para implantação de um sistema de energia solar no Aeroporto Internacional de Manaus.

## 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O Efeito fotovoltaico é a conversão direta da luz solar em energia elétrica. De acordo com Villalva e Gazoli (2012), este efeito consiste no aparecimento de uma diferença de potencial (tensão elétrica) nos terminais (eletrodos) de uma célula formada por uma composição de materiais semicondutores quando da absorção da radiação eletromagnética do Sol.

### 2.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Segundo Pinho e Galdino (2014), os Sistemas Fotovoltaicos são classificados em duas modalidades principais: isolados (*off-grid*) ou conectados à rede (*on-grid* ou *grid-tie*). É possível também operar sistemas híbridos, combinando mais de uma fonte de energia, por exemplo diesel-fotovoltaico.

A norma NBR 11704: 2008 define que sistema isolado (*off grid*) é um sistema fotovoltaico que não possui qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica. Geralmente, utiliza baterias para armazenamento de energia, conforme Fig. 1a.

O sistema *On-Grid* ou *Grid-Tie*, de acordo com a NBR 11704:2008, é aquele que efetivamente é conectado ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Também é conhecido como Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), conforme Fig. 1b. Possui dois componentes principais: o gerador fotovoltaico (conjunto de módulos fotovoltaicos, cabeamento e acessórios) e o inversor solar (dispositivo que converte tensão contínua em tensão alternada). Este sistema foi utilizado neste trabalho.

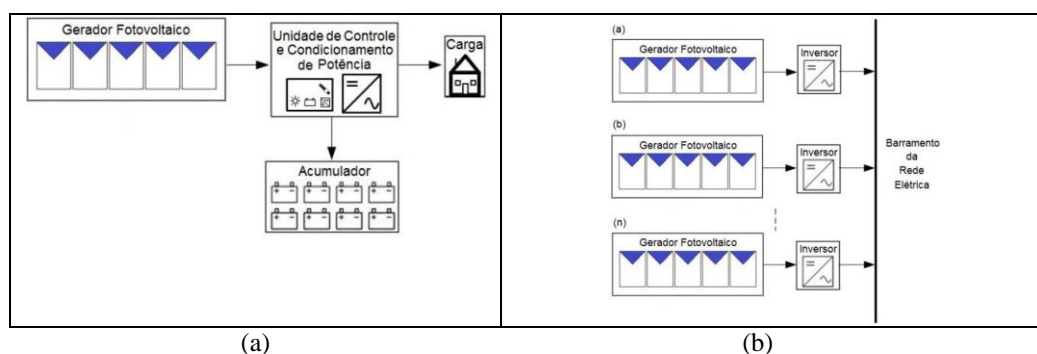


Figura 1 – SFCR. (a) *Off Grid*. (b) *On Grid*. Fonte: Pinho e Galdino (2014).

## 3. METODOLOGIA

A pesquisa está estruturada em três etapas, sendo que a primeira etapa consistiu no levantamento de dados da localização geográfica do Aeroporto Internacional de Manaus, do recurso solar disponível na localidade, do levantamento de carga e do consumo de energia elétrica do aeroporto. A partir daí, foram determinadas a inclinação, a direção dos painéis fotovoltaicos e a quantificação da radiação solar incidente.

A segunda etapa apresentou o dimensionamento do SFCR. A unidade consumidora foi enquadrada em uma categoria de disponibilidade mensal, conforme as Resoluções Normativas (RNs) da Aneel nº 482/2012 e 687/2015. A partir desse ponto foi possível estimar a demanda energética do aeroporto por meio da consulta às faturas de energia e então dimensionar o gerador fotovoltaico e o inversor solar. Esta etapa apresentou, também, as especificações técnicas dos equipamentos. Foram realizadas pesquisas em catálogos de fabricantes e solicitação de informações técnicas junto aos fornecedores de componentes e acessórios fotovoltaicos. Cada equipamento foi escolhido de acordo com os requisitos estabelecidos nas normas técnicas brasileiras e diretrizes das resoluções normativas e procedimentos da Aneel. Na última etapa, foi realizada a análise estatística dos resultados obtidos.

### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

O Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (SBEG) está localizado no Município de Manaus, Estado do Amazonas. De acordo com a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), esse Aeroporto foi inaugurado em 1976 e está localizado na Zona Oeste da cidade.

Em 2015, foi concluída a obra de reforma e ampliação da capacidade de passageiros e aeronaves do aeroporto.

O Terminal de Passageiros 1 (TP 1) foi ampliado de 39,4 mil m<sup>2</sup> para 97,25 mil m<sup>2</sup>. Em função disso, a sua capacidade de atendimento de passageiros foi ampliada passando de 6,4 milhões para 18,2 milhões por ano, projetando um atendimento da demanda estimada para os próximos 35 anos.

É o maior aeroporto da Região Norte do Brasil e representa para a Região Norte, o grande elo de integração com o resto do Brasil e com o mundo, considerado uma das principais portas de entrada da Região Amazônica, em virtude da dificuldade existente nas outras vias de transporte: a terrestre e a fluvial.

A Fig. 2a apresenta uma visão aérea do Aeroporto Internacional de Manaus, com destaque para o Terminal de Passageiros 1 e 2 (TPS 1 e TPS 2), Estacionamento de Funcionários e o Terminal de Logística de Carga (TECA).

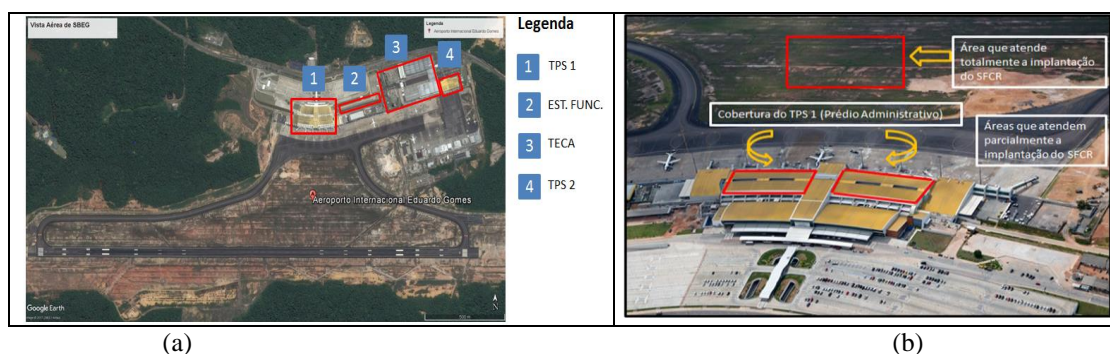


Figura 2 – Vista Aérea do Aeroporto Internacional de Manaus. (a) Ambientes de SBEG. (b) Áreas que atendem totalmente e parcialmente a implantação do SFCR em SBEG. Fonte: Infraero (2017).

A Fig. 2b mostra áreas de SBEG que podem atender total ou parcialmente a implantação do sistema. O local que atende a carga total possui área estimada de 450.000 m<sup>2</sup>. Está localizado na parte interna do aeroporto (lado ar) entre as pistas de taxiamento de aeronaves. Uma área somente de 30.000 m<sup>2</sup> é necessária para implantação de uma usina fotovoltaica no solo. Além disso, este local é plano, sem sombreamento, facilita a manutenção, é próximo da edificação aeroportuária e respeita o Plano Diretor do Aeroporto.

A Fig. 3 mostra áreas de SBEG propícias para a instalação de um SFCR. A cobertura do Estacionamento de Funcionários, Fig. 3a, foi utilizada para dimensionar um SFCR para reduzir o consumo das cargas de iluminação do aeroporto. Possui área de 2.470 m<sup>2</sup>. Este local foi escolhido, porque não possui sombreamento e sua estrutura metálica está adequada à inclinação, direção e peso dos painéis fotovoltaicos.



Figura 3 – Áreas potenciais para implantação de SFCR em SBEG. (a) Estacionamento de Funcionários. (b) Cobertura do Prédio Administrativo do TPS 1. Fonte: Infraero (2017).

#### 4. DIMENSIONAMENTO DO SFCR

Este tópico apresenta o dimensionamento do Projeto de SFCR considerando a Demanda Energética Total de SBEG (Demanda Contratada) e a Demanda da Potência Ativa consumida pelo Estacionamento de Funcionários.

Para o dimensionamento da Carga Total instalada em SBEG foi realizado o Projeto de uma Usina Fotovoltaica em atendimento às RNs 414/2010, 482/2012 e 687/2015 da Aneel.

Os projetos foram elaborados considerando os aspectos técnico, econômico e ambiental dos SFCRs e os cálculos foram comprovados por meio de simulação computacional usando os softwares RETScreen e SAM que são ferramentas computacionais para projetos de sistemas fotovoltaicos.

O programa RETScreen, conforme definição de Pinho e Galdino (2014), é uma ferramenta computacional para análise de projetos de energias renováveis. Foi desenvolvido no programa Excel e é distribuído gratuitamente pelo *Minister of Natural Resources* do Canadá. Neste trabalho, ele foi aplicado para simular os parâmetros econômicos e ambientais. Já o SAM (*System Advisor Model*) é um programa norte-americano gratuito desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* que orienta e facilita as pessoas do setor de energia renovável na tomada de

decisões de projetos fotovoltaicos nos aspectos técnicos e econômicos. Esta ferramenta foi utilizada para simular os parâmetros técnicos dos projetos propostos neste trabalho.

A Fig. 4 apresenta os valores das variáveis climáticas de SBEG. Destaca-se nesta figura, a radiação solar incidente mensal do ano anterior (2016) cuja média anual é 4,63 kWh/m<sup>2</sup>/d. As coordenadas geográficas de SBEG, segundo Icea (2017), são: 03,02°S60,03°W.

Mês	Temperatura do Ar °C	Humidade relativa %	Precipitação mm	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia para aquecimento 18 °C °C-d	Refrigeração graus dias 10 °C °C-d
Janeiro	26,3	87,7%	286,97	4,37	100,5	1,3	26,5	0	505
Fevereiro	26,3	88,0%	291,93	4,32	100,6	1,2	26,5	0	456
Março	26,3	87,9%	346,80	4,32	100,5	1,2	26,5	0	505
Abril	26,3	88,3%	335,51	4,33	100,6	1,1	26,3	0	489
Mai	26,6	87,4%	295,14	4,18	100,6	1,0	26,4	0	515
Junho	26,7	85,4%	167,98	4,40	100,7	1,2	26,2	0	501
Julho	26,9	83,3%	110,16	4,88	100,7	1,2	27,1	0	524
Agosto	27,4	81,1%	96,69	5,22	100,7	1,2	29,0	0	539
Setembro	27,6	81,2%	124,82	5,33	100,5	1,2	30,4	0	528
Outubro	27,6	82,0%	140,04	5,10	100,5	1,2	30,5	0	546
Novembro	27,2	84,0%	170,13	4,79	100,4	1,2	28,9	0	516
Dezembro	26,7	86,7%	252,05	4,35	100,5	1,1	27,4	0	518
<b>Anual</b>	<b>26,8</b>	<b>85,2%</b>	<b>2.618,21</b>	<b>4,63</b>	<b>100,6</b>	<b>1,2</b>	<b>27,6</b>	<b>0</b>	<b>6.142</b>
Fonte	Solo	Solo	NASA	NASA	NASA	Solo	NASA	Solo	Solo
Medido a						m	10	0	

Figura 4 – Valores climáticos de SBEG. Fonte: RETScreen (2017).

Para mensurar a demanda energética total do aeroporto e, conseqüentemente, a potência dessa carga foram analisadas as faturas de energia elétrica do ano de 2016 e comprovou-se que a demanda contratada é 4,6MW, conforme Fig. 5. Neste trabalho, foi considerada a demanda medida fora da ponta. Em termos de consumo médio mensal total de SBEG Fora da Ponta em 2016 foi de 2.464.700kWh. Este consumo gerou uma fatura média mensal de R\$ 1.194.572,69 e, portanto, uma fatura média anual de R\$ 14.334.872,28. De acordo com a Resolução Normativa (RN) N° 414 de 2010 da Aneel, o Posto tarifário Fora de Ponta é de 21horas.

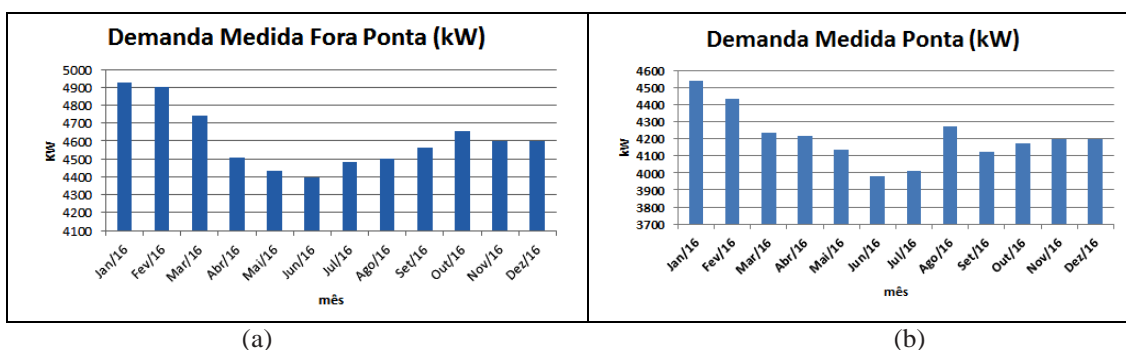


Figura 5 – Demanda Energética Anual (a) Fora da Ponta (b) Na Ponta, SBEG. Fonte: Infraero (2017).

Posteriormente, foi selecionado o módulo fotovoltaico e o inversor solar a partir das potências nominais do sistema, após pesquisa de mercado onde se comparou preços e especificações técnicas de diferentes fabricantes.

O módulo fotovoltaico selecionado no SAM para o dimensionamento foi o Canadian Solar CS6X-310P, tanto para a carga total como para a carga do estacionamento. As características elétricas deste módulo estão descritas na Fig. 6.

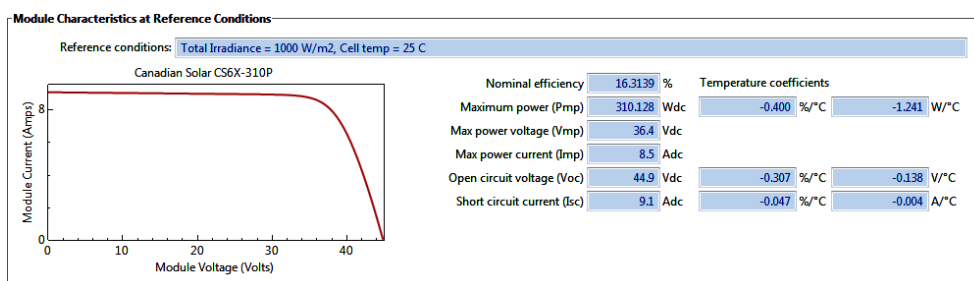


Figura 6 - Características elétricas do módulo fotovoltaico usado. Fonte: NREL (2017).

Como SBEG está na latitude 4° sul, a inclinação que melhor se adequa aos módulos fotovoltaicos é de 10° na direção norte. Este aumento de ângulo é para que não haja sobre os painéis o acúmulo de corpo estranho que venha comprometer a potência do gerador fotovoltaico.

Os inversores solares selecionados para carga total e carga do estacionamento são ABB:ULTRA-1500-TL-OUTD-2-US-690-x-y-z690V(CE2013) e INGECON:SUN-400TL U X330 indoor 330V(CEC 2015), conforme Fig. 7 e 8,



respectivamente. O SAM analisa cada modelo selecionado em seu banco de dados e indica se existe compatibilidade elétrica com o sistema fotovoltaico dimensionado.

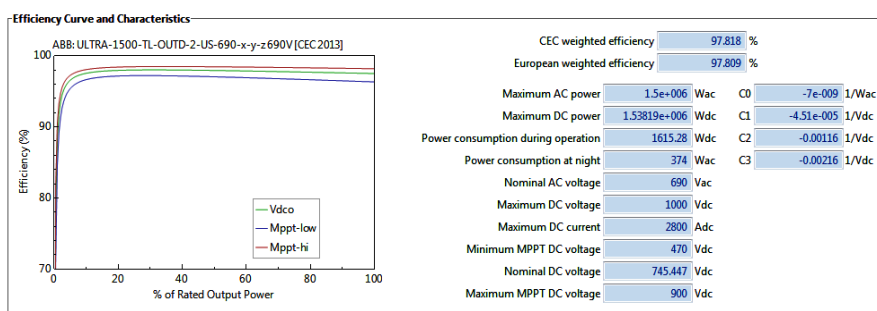


Figura 7 - Características elétricas do inversor solar usado para carga total. Fonte: NREL (2017).

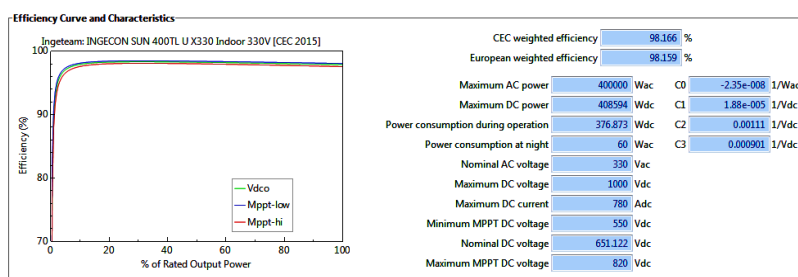


Figura 8- Características elétricas do inversor solar usado para carga do estacionamento. Fonte: NREL (2017).

#### 4.1 Parâmetros Técnicos (Calculados e Simulados) - Carga Total e Carga do Estacionamento de SBEG

As Tab. 1 e 2 e a Fig. 9 resumem, respectivamente, os valores calculados e simulados dos parâmetros técnicos dos projetos fotovoltaicos para carga total e carga do estacionamento de funcionários de SBEG. Nas Tab. 1 e 2, os custos referentes a “Serviços” correspondem à infraestrutura, manutenção e homologação junto à Concessionária.

A Fig. 10 apresenta o diagrama unifilar do projeto para ambos casos. As equações empregadas no dimensionamento dos projetos podem ser encontradas em Pereira e Oliveira (2011) e Villalva e Gazoli (2012).

Tabela 1 – Resumo dos Parâmetros Técnicos do Projeto SFCR de SBEG: Carga Total.

HSP	GFV	Módulo	Módulo	Inversor	Inversor	Energia exportada para Rede (Anual)
kWh/m <sup>2</sup> .dia	MW	Wp	Qtd	MW	Qtd	MWh
4,63	4,6	310	14.832	1,5	3	6,037
Módulo (Qtd)	Módulo (Preço Unit.)		Inversor (Qtd)	Inversor (Preço Unit.)	Serviços	Preço total
14.832	R\$ 1.000,00		3	R\$ 887.387,00	R\$ 2.000.000,00	R\$ 19.500.000,00

Tabela 2 – Resumo dos Parâmetros Técnicos do Projeto de SFCR de SBEG: Carga do Estacionamento de Funcionários.

HSP	GFV	Módulo	Módulo	Inversor	Inversor	Energia exportada para Rede (Anual)
kWh/m <sup>2</sup> .dia	kW	Wp	Qtd	kW	Qtd	MWh
4,63	402	310	1.296	400	1	529
Módulo (Qtd)	Módulo (Preço Unit.)		Inversor (Qtd)	Inversor (Preço Unit.)	Serviços	Preço total
1.296	R\$ 1.000,00		1	R\$ 236.636,00	R\$ 200.000,00	R\$ 1.732.636,00

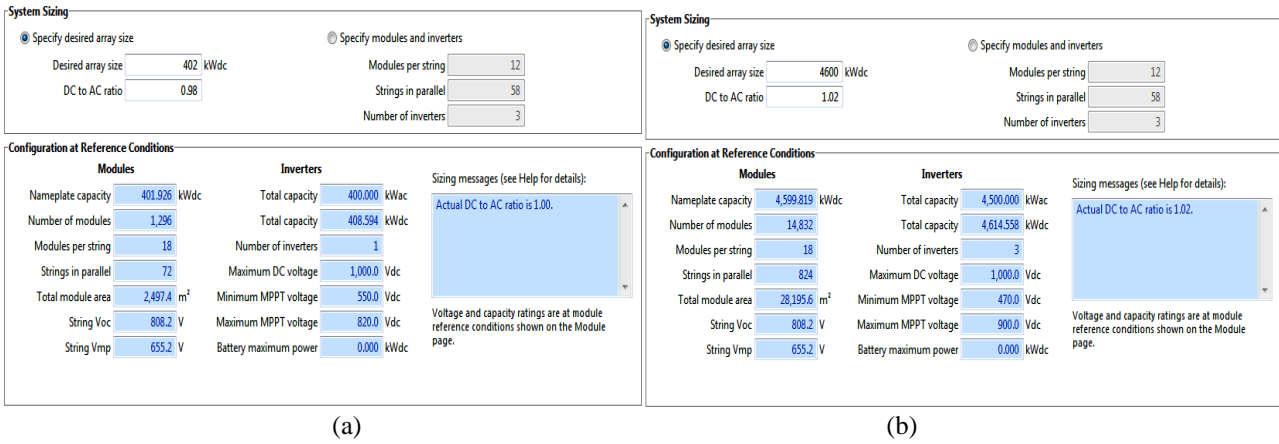


Figura 9 – Simulação dos Parâmetros Técnicos. (a) Carga do Estacionamento (b) Carga Total. Fonte: NREL (2017)

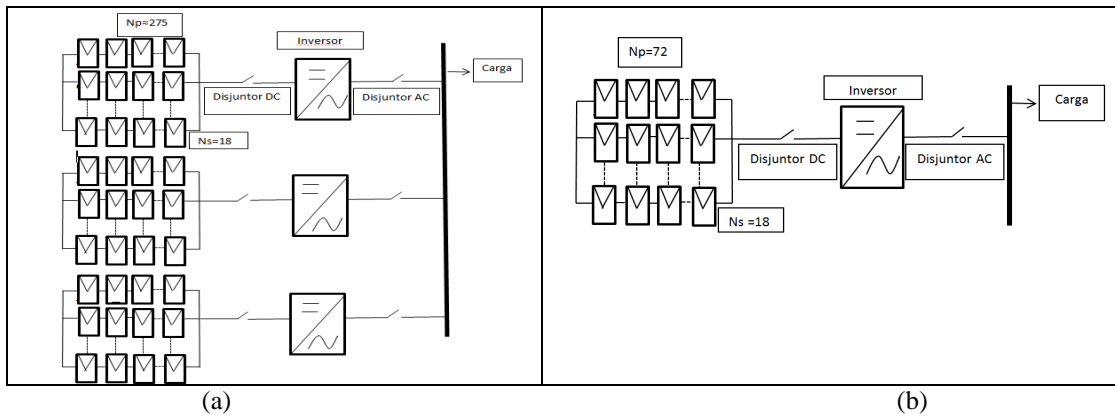


Figura 10 – Diagrama do Projeto do SFCR. (a) Carga Total. (b) Carga do Estacionamento de Funcionários.

#### 4.2 Parâmetros Econômicos (Calculados e Simulados) - Carga Total e Carga do Estacionamento de SBEG

As métricas de desempenho econômico utilizadas foram: VPL, Payback e TIR. Segundo <www.treasury.com.br> (Treasy, 2017), o VPL (Valor Presente Líquido) traz ao valor presente um valor futuro, ou seja, informa quanto vale o dinheiro resultante do projeto depois de um determinado período, mas em valor presente. Deve ser positivo para que o projeto planejado seja viável. O Payback é o tempo de recuperação do investimento realizado. TIR (Taxa Interna de Retorno) é o valor percentual que mede o crescimento para um bom projeto. Esse valor deve ser positivo e maior que a taxa Selic de aproximadamente 10% (maio de 2017) para que o investimento seja seguro.

As Fig. 11 e 12 e Tab. 3 e 4 resumem os valores simulados e calculados, respectivamente, dos parâmetros econômicos dos projetos fotovoltaicos para carga total e carga do estacionamento de funcionários de SBEG. As equações empregadas no dimensionamento dos projetos podem ser encontradas em Gonçalves (2013) e no site <www.treasury.com.br > (Treasy, 2017).

Parâmetros financeiros			Custos   Economia   Receitas		Fluxo de caixa anual			
Geral			Custos Iniciais		Ano	Antes imposto	Após imposto	Cumulativo
Taxa de inflação	%	10%	Custo inicial	100%	0	\$ -19.500.000	\$ -19.500.000	\$ -19.500.000
Taxa de desconto	%		Total de custos de investimento	100%	1	2.574.304	1.930.728	-17.569.272
Vida do projeto	ano	25	Pagamento anual de custos e empréstimos		2	2.677.276	2.007.957	-15.561.315
<b>Financiamento</b>					3	2.784.367	2.088.276	-13.473.039
Incentivos e subsídios	\$		Total de custos anuais	\$	4	2.895.742	2.171.807	-11.301.232
Razão da dívida	%				5	3.011.572	2.258.679	-9.042.553
<b>Análise do imposto de renda</b>			Economia e receita anual		6	3.132.035	2.349.026	-6.693.527
Custo efetivo - imposto de renda	%	25%	Recursos com eletricidade exportada	\$	7	3.257.316	2.442.987	-4.250.540
Postergar prejuízos?		Não	Total de economia e receita anual	\$	8	3.387.609	2.540.707	-1.709.834
Método de depreciação		Balanco em declínio			9	3.523.113	2.642.335	932.501
Regra semi-anual - ano 1	sim/não	Não	Viabil. Financeira		10	3.664.038	2.748.028	3.680.529
Base da taxa de depreciação	%		TIR antes impostos-capital próprio	%	11	3.810.599	2.857.949	6.538.479
Taxa de depreciação	%		TIR antes impostos - ativos	%	12	3.963.023	2.972.267	9.510.746
Isonção fiscal?	sim/não	Não			13	4.121.544	3.091.158	12.601.904
<b>Receita anual</b>			TIR após impostos - capital	%	14	4.286.406	3.214.804	15.816.708
<b>Receita com eletricidade exportada</b>			TIR após impostos - ativos	%	15	4.457.862	3.343.397	19.160.105
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	6.037	Retorno simples	ano	16	4.636.176	3.477.132	22.637.237
Preço eletricidade exportada	\$/kWh	0,41	Retorno do capital próprio	ano	17	4.821.624	3.616.218	26.253.455
Receita com eletricidade exportada	\$	2.475.293	Valor Presente Líquido (VPL)	\$	18	5.014.488	3.760.866	30.014.321
Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada	%	4%	Economia anual no ciclo de vida	\$/ano	19	5.215.068	3.911.301	33.925.622
<b>Receita pela redução de GEE</b>			Razão custo benefício (C-B)		20	5.423.671	4.067.753	37.993.375
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO <sub>2</sub> /an	495			21	5.640.618	4.230.463	42.223.839
					22	5.866.242	4.399.682	46.623.520
					23	6.100.892	4.575.669	51.199.189
					24	6.344.928	4.758.696	55.957.885
					25	6.598.725	4.949.044	60.906.929

Figura 11- Simulação dos Parâmetros Econômicos para Carga Total de SBEG. Fonte: RETScreen (2017).



com a tensão de linha de transporte, distância do local da produção de energia, ponto de uso, consumo máximo de energia e temperatura ambiente, o software calcula essa perda em torno de 7% a 10%. Assim, o nível de redução de CO<sub>2</sub> decresce minimamente para valores de 495,13 tCO<sub>2</sub> para carga total e 43,43 tCO<sub>2</sub> para carga do estacionamento. Mesmo assim, consegue-se reduzir em 93% a emissão de GEE.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise Técnica

Os valores obtidos para carga total, por meio de simulação computacional, conforme Fig. 9b, foram: 14.832 painéis fotovoltaicos organizados em 18 *strings* em série e 824 em paralelo. O inversor solar escolhido possui potência nominal de 1.500kW, onde sua entrada de tensão contínua suporta um tensão nominal de 1.000Vdc. Esse valor deve ser respeitado fielmente, pois caso a tensão de entrada ultrapasse esse valor, o inversor pode danificar. A região de MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – Rastreamento do Ponto de Máxima Potência) do inversor encontra-se na faixa de 470Vdc a 900Vdc, totalmente compatível tanto com a tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) como com a de máxima potência ( $V_{mp}$ ) do arranjo fotovoltaico que ficou compreendida entre 808,2V e 655,2V. Para a carga do estacionamento, Fig. 9a, os valores simulados foram: 1.296 painéis fotovoltaicos distribuídos em 18 *strings* em série e 72 em paralelo. O inversor utilizado possui tensão nominal de 400kW. Sua faixa de MPPT situa-se entre 550 a 820Vdc, totalmente compatível tanto com a tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) como com a de máxima potência ( $V_{mp}$ ) do arranjo fotovoltaico que ficou compreendida entre 808,2V e 655,2V.

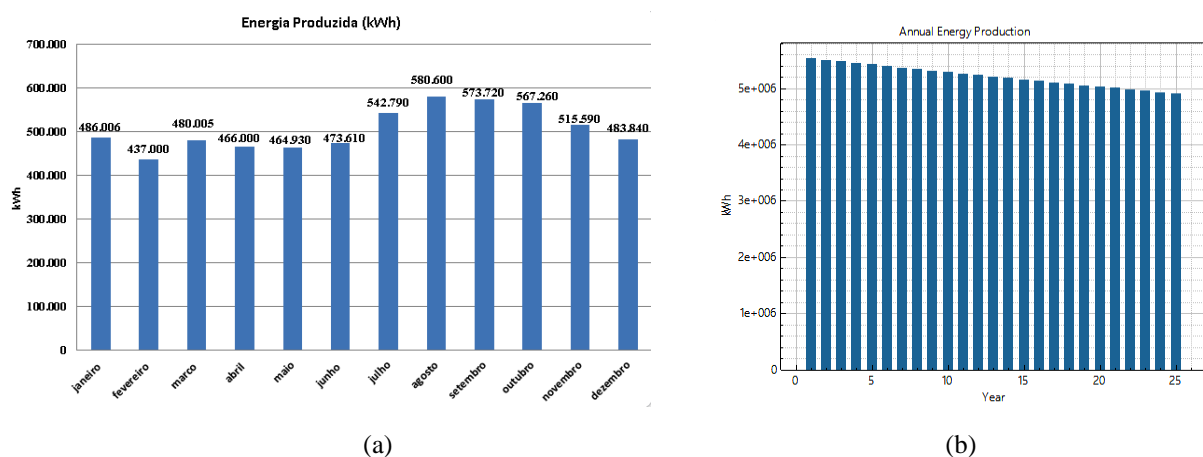


Figura 15 - Produção de energia mensal e durante 25 anos do sistema fotovoltaico. (a) energia produzida mensalmente. (b) energia produzida anualmente durante 25 anos (Carga total). Fonte: NREL (2017).

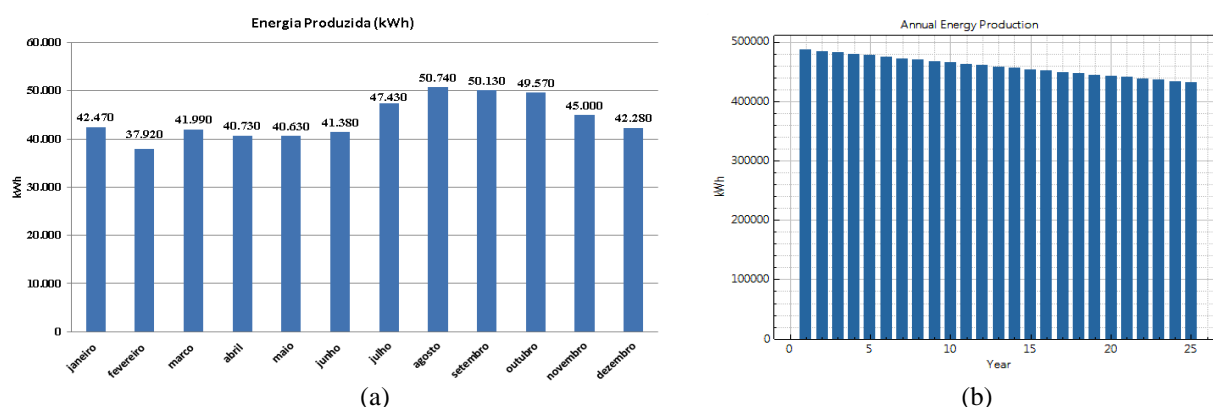


Figura 16 - Produção de energia mensalmente e durante 25 anos do sistema fotovoltaico. (a) energia produzida mensalmente. (b) energia produzida anualmente durante 25 anos (Carga total). Fonte: NREL (2017).

Analisando-se as Fig. 15 e 16 verifica-se que, como os meses de agosto, setembro e outubro possuem os maiores níveis de radiação solar, conseqüentemente produzem os maiores valores de energia tanto em relação à carga total quanto à carga do estacionamento. Observa-se, também, que durante sua vida útil, o sistema fotovoltaico apresenta uma pequena queda no nível anual de energia produzida ao longo dos 25 anos para ambos os casos. Essa queda de rendimento ao longo do tempo se dá por alguns fatores externos, tais como umidade, temperatura e radiação solar, levando a degradação e diminuição da vida útil do sistema.



## 5.2 Análise Econômica

Os resultados obtidos para carga total em relação à análise financeira foram totalmente positivos: O *payback* se manteve numa faixa entre 7,9 anos a 8,6 anos, o VPL foi positivo no valor de R\$ 60.906.929,00. Isso torna viável o investimento no projeto. A TIR encontra-se com o valor 12,5%, acima da taxa SELIC. Isso transmite segurança no investimento do projeto. Em relação à carga do estacionamento, obteve-se a mesma viabilidade que foi conseguida com a carga total: *Payback* entre 8 e 8,8 anos, VPL positivo no valor de R\$ 5.310.732,00 e TIR de 12,3%.

## 5.3 Análise Ambiental

O CO<sub>2</sub> é um dos principais responsáveis pelo aumento do Efeito Estufa, que ocasiona aumento da temperatura e diversas mudanças climáticas observadas no planeta. A Fig. 17 faz o comparativo da redução anual de CO<sub>2</sub> com outras fontes degradadoras do meio ambiente (gasolina, petróleo, lixo e energia elétrica) com consequente aumento da capacidade das florestas de absorver e armazenar carbono, para ambos casos. Para a carga total, Fig. 17a, considerando-se o fator de emissão de GEE de 0,082tCO<sub>2</sub>/MWh (MCTIC, 2017), como exportou-se 6,037MWh à rede elétrica, a redução anual de GEE no meio ambiente foi de aproximadamente 495,1 tCO<sub>2</sub> por ano. Em relação à carga do estacionamento, Fig. 16b, a energia exportada foi de 529MWh, obtendo-se uma redução de 43,4 tCO<sub>2</sub> por ano.

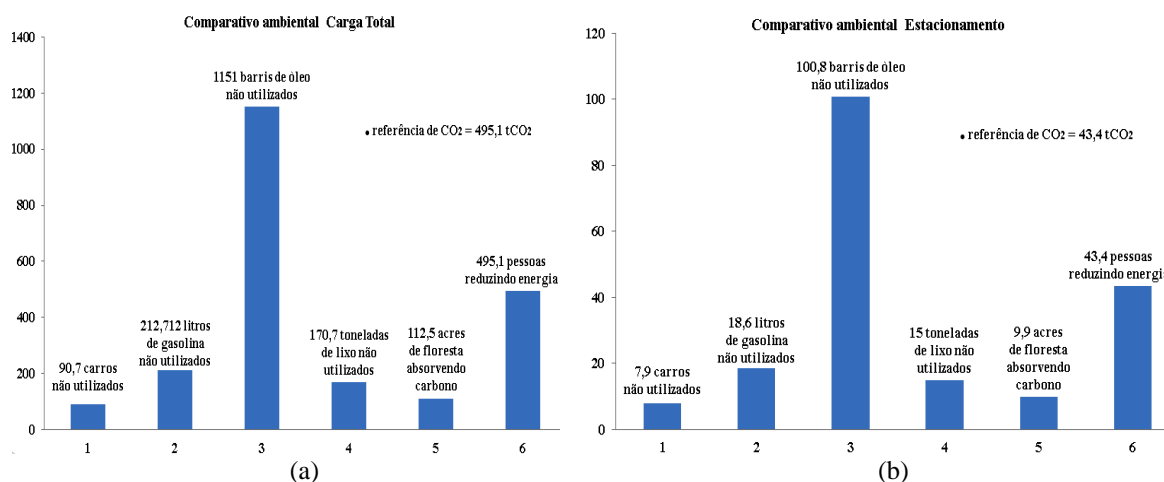


Figura 17 - Comparativo entre a redução anual de CO<sub>2</sub> com outras fontes degradadoras do meio ambiente. (a) Carga Total. (b) Carga do Estacionamento. Fonte: Adaptado de RETScreen (2017).

## CONCLUSÕES

Para comprovar a viabilidade de implantação de um sistema SFCR em SBEG, foi dimensionado dois projetos em conformidade com os procedimentos e condições das normas técnicas vigentes: um foi destinado ao atendimento da carga energética total do aeroporto e o outro contemplou a carga que corresponde a área do Estacionamento de Funcionários de SBEG. A usina fotovoltaica atende toda a demanda energética contratada do aeroporto e a potência gerada pela área do Estacionamento dos Funcionários resulta na redução das cargas de iluminação dos seguintes ambientes do aeroporto: estacionamento dos passageiros, desembarque e terraço.

Neste contexto, a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no referido Aeroporto mostrou-se técnica, econômica e ambientalmente viável, o que reduziria os impactos ambientais e os valores das faturas de energia elétrica desta Unidade Consumidora.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Infraero (Superintendência do Aeroporto Internacional de Manaus) pela permissão na coleta e fornecimento de dados para consecução deste trabalho e o apoio institucional do Ifam, UFPA e Itgam.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, 2008. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10899: Sistemas Fotovoltaicos – Classificação.
- Aneel, 2017. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp)>.
- Aneel, 2010. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 414 de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.

- Aneel, 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
- Aneel, 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
- Braun, P., Jardim, C. S., Rüther, R., 2007. Análise da Contribuição Energética de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações: Aeroporto Internacional de Florianópolis, Um Estudo de Caso. Enac.
- Cerqueira, G. A. *et al.*, 2015. A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado - Boletim Legislativo n° 27 de 2015.
- EPE, 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016, Ano Base 2015. Rio de Janeiro.
- ICEA, 2017. Instituto de Controle do Espaço Aéreo. Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas.
- Gonçalves, F.A.V.S., 2013. Avaliação Técnica e Econômica da Implantação de Sistemas Fotovoltaicos no Aeroporto Internacional de Belém, Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFPA, Belém.
- Infraero, 2017. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto de Manaus. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/>>
- MCTIC, 2017. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Disponível em: <[http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_corporativos.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html)>.
- NREL, 2016. National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model (SAM). Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>>
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rüther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos, INPE.
- Pereira, F.A.S., Oliveira, M.A.S., 2011. Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica, Publindústria, Edições Técnicas, Porto.
- Pinho, J. T. (Org.), Galdino, M. A. (Org.), 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2. ed. rev. e aum., Rio de Janeiro, [s.n.].
- RETScreen Expert, 2016. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>>. Acesso em: 01 jan 2016.
- Sukumaran, S., Sudhakar K., 2017. Fully powered airport: A case study of Cochin International airport. Journal of Transport Management, vol. 62, pp. 176-188.
- SolarPower Europe, 2017. Global Market Outlook for Solar Power 2017-2021.
- Treasy, 2017. Disponível em: <<http://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir>>. Acesso em: 02 fev. 2017.
- Villava, M.G., Gazoli, J.R., 2012. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 1. ed., São Paulo, Érica.

### **PHOTOVOLTAIC SYSTEM AT MANAUS INTERNATIONAL AIRPORT: ANALYSIS OF TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL VIABILITY OF IMPLEMENTATION USING COMPUTATIONAL SIMULATION**

**Abstract.** *Currently, the insertion of renewable energies in the composition of the Brazilian energy matrix has been in sharp expansion, mainly due to the diverse environmental problems resulting from the use of fossil fuels. Solar energy is a renewable source of clean, quiet energy and the photovoltaic panel can be installed in any location that receives sunlight. In this way, this mode of energy gains more space and popularity worldwide, mainly in Brazil, not only due to the favorable climatic conditions, but also by the current high cost of electric energy. Due to the great solar insolation potential of the Brazilian territory, photovoltaic systems become a very attractive alternative, especially at airports that are typically large, horizontal, sunny, have few shading areas and have a high energy consumption profile. The study environment of this work was Eduardo Gomes International Airport located in Manaus, State of Amazonas. The objective of this study was to inspect some suitable areas for the design of photovoltaic systems connected to the electric grid and to analyze the technical, economic and environmental viability for the implantation of these systems. The numerical values of the projects were proven by means of free software for the design of photovoltaic systems. For this work, two project proposals were prepared: 1) First proposal: 4,6MW (contracted demand from the Airport), 1) 14,832 photovoltaic panels, 1.b) Investment of R\$ 19,500,000.00, 1. c) Payback of 8.6 years, 1.d) NPV of R\$ 60,906,929.00, 1.e) IRR of 12.5%, 1.f) Annual reduction of 495.1tCO<sub>2</sub>; ii) Second proposal: 402kW (load of the airport employees' parking lot), 2.a) 1,296 photovoltaic panels, 2.b) Investment of R\$ 1,732,636.00, 2.c) Payback of 8.8 years, 2. d) NPV of R\$ 5,310,732.00, 2.e) IRR of 12.3%, 2.f) Annual reduction of 43.4tCO<sub>2</sub>. In this context, the implementation of a photovoltaic solar energy system at the above mentioned airport was feasible in the technical, economic and environmental aspects.*

**Keywords:** *Renewable Energy, Solar Energy, Airport.*