

## VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO AEROPORTO DE BELÉM-PA

Marco Valério de Albuquerque Vinagre ([valeriovinagre@gmail.com](mailto:valeriovinagre@gmail.com)); Ari Ricardo Sousa de Moraes ([ricardomoraes13@gmail.com](mailto:ricardomoraes13@gmail.com)); Leonardo Augusto Lobato Bello ([lalbello1402@gmail.com](mailto:lalbello1402@gmail.com)); Maria Lúcia Bahia Lopes ([marialucia.bahia@unama.br](mailto:marialucia.bahia@unama.br)); Alberto Carlos de Melo Lima ([acmlima@gmail.com](mailto:acmlima@gmail.com))

Universidade da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (UNAMA-PPDMU) - Brazil

Universidade do Estado do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente (UEPA-PPCA) - Brazil

**Palavras chave:** Energia renovável, energia solar, espaço urbano, aeroporto.

*Cada vez mais a questão energética está ganhando importância, uma vez que, no cenário mundial há uma preocupação crescente com a escassez de combustíveis fósseis e com o aquecimento global. Nesse contexto, surgem diversos trabalhos que visam estudar formas de energias alternativas ou renováveis. O objetivo deste trabalho foi o de estudar um projeto de geração de energia fotovoltaica integrado à rede e analisar os indicadores econômico-financeiros para o Complexo Aeroportuário de Belém. O local foi escolhido por tratar-se de uma importante infraestrutura urbana, local de grande circulação e visibilidade, que poderá servir como vitrine para divulgação da energia solar entre os consumidores brasileiros, com o Estado atuando como um agente transformador do espaço urbano, aumentando sua sustentabilidade. Para analisar a viabilidade do projeto, foram analisados três diferentes cenários. O primeiro atendendo 100% do consumo, o segundo 85% e o terceiro 50%. O estudo revelou que a variação da relação geração/consumo não influencia os indicadores econômico-financeiros, os quais resultaram em período de retorno de sete anos e rentabilidade de 133%.*

### 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a questão energética está em debate, uma vez que, no cenário mundial há grande preocupação com a escassez do petróleo, do gás natural e do carvão mineral assim como com as mudanças climáticas ocasionadas pela queima destes combustíveis fósseis. Surgem assim, pesquisas e estudos técnicos, econômicos e de impactos socioeconômicos e ambientais de empreendimentos de energias alternativas ou renováveis voltados para o desenvolvimento de alternativas na produção de energia a partir de fontes renováveis (PACHECO, 2006).

Diferentemente da energia convencional, a energia renovável produz eletricidade sem utilizar combustíveis fósseis. Esses combustíveis fósseis tais como o carvão, petróleo e gás natural apresentam estoques limitados além de liberar gases poluentes durante a combustão ainda ocasionam degradação ambiental na sua extração. As fontes de energia renováveis produzem energia elétrica a partir de fontes com alta taxa de renovação e com menos emissão de gases poluentes e impacto ambiental.

Dentre as tecnologias que permitem a geração de energia elétrica na edificação, a tecnologia fotovoltaica (FV) é uma das mais incentivadas. Esta tecnologia permite a geração de energia elétrica diretamente da luz solar, através de lâminas de determinados materiais semicondutores instaladas em qualquer local ensolarado da edificação. A geração fotovoltaica não ocasiona ruído ou emissões de gases em seu funcionamento e necessita pouca manutenção. Os geradores fotovoltaicos podem ser instalados nas coberturas das

edificações, local que comumente recebe maior insolação, com a instalação dos módulos ligados por cabos condutores até um equipamento (inversor) que converte a energia gerada na frequência e tensão da rede e conecta o gerador solar fotovoltaico ao sistema público de distribuição de energia elétrica (SANTOS, 2013).

Todo ano a Convenção das Nações Unidas para as Mudanças do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*) realiza a COP – Conferência das Partes, com participação de todos os países signatários da Convenção. A COP 17, realizada em 2011, marcou o início de proposições práticas entre as partes para discussão de um acordo global para o clima. Naquele encontro, ficou definido que todos os membros deveriam chegar a um acordo final até 2015, na COP 21, sediada em Paris.

Já que a oportunidade de o Brasil investir nas energias renováveis é muito importante, o país juntou-se a mais de 190 nações na Conferência do Clima das Nações Unidas, na França, no final do ano de 2015, foi criado o Acordo de Paris (que substituiu o Protocolo de Quioto), onde os países se comprometeram a reduzir as mudanças climáticas e a evitar um aquecimento global superior a 1,5°C, com o intuito de possibilitar um futuro mais promissor para as próximas gerações. (GREENPEACE, 2015).

O Acordo de Paris marcou o fim do uso de combustíveis fósseis causadores do efeito estufa, e deu importância ao uso das energias renováveis, e o Brasil seguiu a tendência mundial, o governo brasileiro precisa desligar as usinas térmicas movidas a carvão e a gás. E deve expandir o mercado das novas energias renováveis, como a solar e a eólica. As hidrelétricas também são uma opção, contanto que não impactem os rios e florestas preservados, como na região amazônica. Diante do potencial de aproveitamento da energia do Sol e dos ventos no Brasil, essas são as fontes que devem receber mais atenção nos próximos anos (GREENPEACE, 2015). Sendo assim, as metas principais são: reduzir de 37% nas emissões até 2025, tendo como ponto de partida as emissões de 2005, e possível redução de 43% das emissões até 2030.

Para alcançar tais metas, uma série de indicações terão de ser seguidas em diversos setores da gestão pública dos recursos naturais até 2030, dentre elas:

- Atingir a participação de 45% de energias renováveis na matriz energética;
- Obter 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico;
- Promover o uso de tecnologias limpas no setor industrial;
- Estimular medidas de eficiência e infraestrutura no transporte público e áreas urbanas.

A INDC (*Intended Nationally Determined Contributions*) é um documento com uma intenção de mudanças, ou seja, uma proposta ainda não oficializada e que no caso brasileiro possui um amplo escopo que inclui caminhos para a mitigação, adaptação e implementação.

Os esforços por parte do Brasil são equivalentes às contribuições das nações mais desenvolvidas e compreende as particularidades da realidade nacional, dessa forma o governo federal vem trabalhando no documento-base que irá subsidiar a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da NDC brasileira.

Nesse sentido, a participação do setor empresarial é fundamental e vem alcançando o protagonismo nas discussões sobre a transição para a economia de baixo carbono, com destaque para os caminhos do financiamento climático, tema abordado exaustivamente na COP22.

As construções aeroportuárias são tipicamente grandes e ensolaradas, livres de sombreamento; as fachadas e os telhados, de maneira geral, podem acomodar os módulos fotovoltaicos. Os aeroportos, por possuírem tais características, aparecem como um grande potencial para a aplicação dos sistemas fotovoltaicos (BRAUN et al., 2010). Edifícios

aeroportuários são exemplos de aplicação ideal de sistemas fotovoltaicos interligados à rede, onde picos de geração solar e consumo são muitas vezes coincidentes com a utilização de sistemas de ar refrigerado (BRAUN, 2007).

Um exemplo de sucesso é o Aeroporto Internacional de Cochin, no sul da Índia, que no ano de 2015, se tornou o primeiro do mundo a funcionar completamente com energia solar. O projeto desta grande usina de energia solar teve um custo próximo de U\$ 10 milhões e segundo Efe, diretor do aeroporto, o projeto se pagará em 5 anos. Nos 3 anos após a implantação do sistema solar fotovoltaico no aeroporto a geração de energia na Índia aumentou 12,87GW, só de geração distribuída de energia possui um total de 863 MW, aumentando sua capacidade a cada ano, devido aos programas de incentivo e fundos de financiamento do governo para adoção da tecnologia pela população (BLUE SOL, 2018).

Outros aeroportos pelo mundo também usam a energia solar como aliada a modernidade, como por exemplo, o Aeroporto Internacional de Düsseldorf na Alemanha que foi construído em apenas oito semanas, o imenso sistema de mais de 8 400 painéis de energia solar que abastece o Aeroporto Internacional de Düsseldorf usa uma área equivalente a seis campos de futebol. A partir do começo de 2012, os painéis entraram em funcionamento, e, apesar de não cobrir todas as necessidades energéticas do aeroporto, já é um excelente começo. Telas dispostas no aeroporto mostram quanta energia os painéis estão criando, e quanta poluição eles estão evitando.

Já o Aeroporto Internacional de Sacramento (EUA), onde o novo Terminal B do Aeroporto internacional de Sacramento, capital da Califórnia, foi projetado para ser eficiente ao máximo, usando um mínimo possível de energia. Controle de temperatura, iluminação ecológica e até uma planta de cogeração de energia, são algumas das inovações do Terminal. Também nos Estados Unidos, o Aeroporto Internacional de San José, no estado do Texas, foi inaugurado no ano de 2010 com o prédio com claraboias de 200 metros, com paredes de vidro para permitir a entrada de luz natural, além de um sistema solar fotovoltaico de geração energia. O terminal também é conhecido por suas áreas de assentos, com cadeiras com um sistema de ar condicionado que funciona apenas quando alguém está sentado nelas.

No Brasil, em estudo realizado por Braun *et al.* (2010), foram utilizadas diferentes tecnologias fotovoltaicas integradas ao entorno construído de seis aeroportos brasileiros, nas cidades de Florianópolis, Brasília, São Paulo, Guarulhos e Rio de Janeiro, com o objetivo de analisar a contribuição energética da integração de sistemas fotovoltaicos à arquitetura de seus complexos aeroportuários. Nas simulações da integração dos sistemas foram utilizados dados de consumo energético mensais para um período de um ano, de cada aeroporto. O cálculo da geração solar fotovoltaica foi realizado com base na radiação solar para cada cidade e de acordo com a eficiência de cada tecnologia. Considerando a aplicação das diferentes tecnologias fotovoltaicas comercialmente disponíveis e sua aplicação nas coberturas dos terminais de passageiros, observa-se que, nos casos mais favoráveis, o total de energia gerada durante o ano poderia contribuir em média com 50% da energia utilizada pela edificação durante o mesmo período de tempo.

Segundo Corrêa (1999), o Estado é um dos agentes sociais que fazem e refazem o espaço urbano e atua também na organização espacial da cidade, refletindo e influenciando na dinâmica da sociedade da qual é parte constituinte. Para isso, o Estado dispõe de um conjunto de instrumentos que pode empregar em relação ao espaço urbano, um destes mecanismos é o investimento público na produção do espaço é a implantação de infraestrutura. Dessa forma, defende-se que a atuação do Estado é de fundamental importância para o incentivo à produção de energia elétrica de forma descentralizada.

## 2. OBJETIVO

Estudar o uso da energia solar fotovoltaica no complexo aeroportuário de Belém e sua viabilidade técnico-econômica.

## 3. METODOLOGIA

Neste trabalho são apresentadas as etapas e análises principais para estudo da viabilidade técnico-econômica do uso da geração fotovoltaico interligado à rede de distribuição da concessionária para o complexo aeroportuário de Belém-PA, situado na Amazônia brasileira, e tem como objetivo principal analisar os impactos da relação geração/consumo nos indicadores econômico-financeiros.

No Brasil, o órgão que regulamenta as concessionárias de distribuição de energia e que normatiza a micro e mini geração de energia fotovoltaica é a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O Aeroporto Internacional de Belém é atendido pela concessionária de energia Centrais Elétricas do Pará (CELPA) e não participa do mercado livre de energia.

Para o presente estudo, foi utilizado o software Radasol 2 para fazer a manipulação de dados de radiação solar local. O Radasol é um software gratuito desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL). As plantas do local foram cedidas pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO).

### 3.1 Área de estudo

A cidade de Belém é muito procurada por suas belezas naturais, fauna, flora, frutas exóticas e sua culinária original e única e possui várias opções de transporte fluvial que interliga a cidade a outros estados e municípios. Mas são os aeroportos da região amazônica que têm papel fundamental na integração nacional, aproximando pessoas de lugares onde o acesso é bastante difícil ou quase inexistente.

A Figura 1 apresenta o potencial solar brasileiro e a localização da cidade de Belém do Pará, Brasil. O complexo do Aeroporto Internacional de Val-de-Cans está localizado na cidade de Belém, estado do Pará, Brasil, nas coordenadas geográficas de 01°22'45"S, 48°28'35"W.

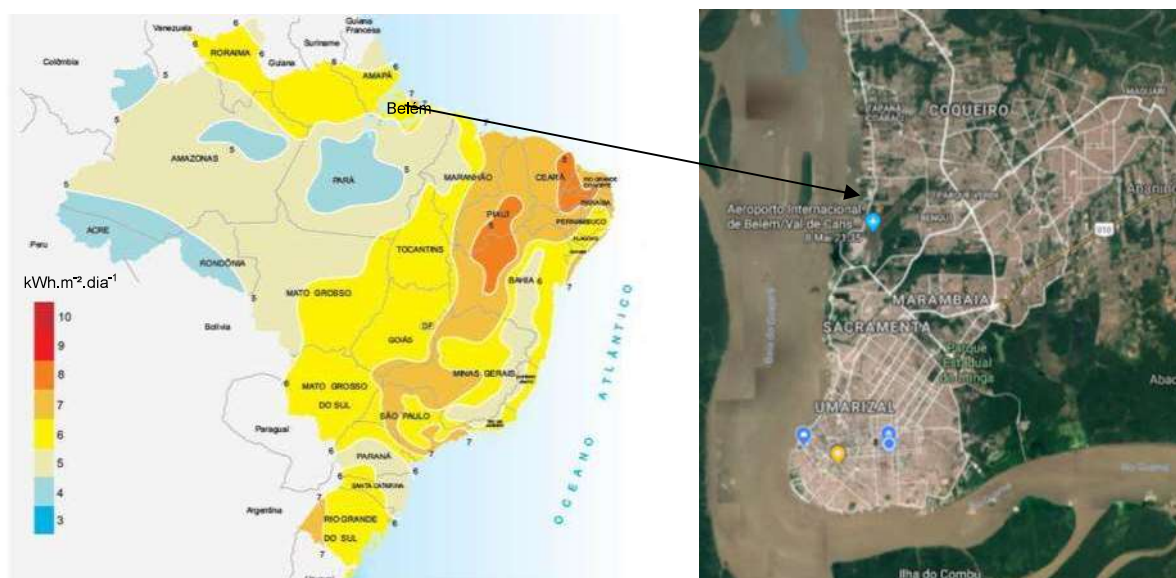


Figura 1. Potencial Solar do Brasil e localização do Aeroporto de Belém

Fonte: CEPEL (2000), e Googlemaps (2019)

O crescente turismo regional eleva ainda mais a procura pelo Aeroporto Internacional de Belém – Val-de-Cans – Júlio Cezar Ribeiro que apresenta uma arquitetura futurista projetada para aproveitar a iluminação natural de Belém do Pará. Possui um espelho d'água com fonte capaz de imitar o barulho das chuvas e é decorado com plantas típicas da Amazônia (INFRAERO, 2017).

Esse Aeroporto possui cerca de 33.000 m<sup>2</sup> de área, sendo aproximadamente 4.740 m<sup>2</sup> a área disponível para a instalação dos módulos, que representa a área de estacionamento do terminal aeroportuário, conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2. Aeroporto Internacional de Belém e a área disponível.

Fonte: Google Earth, 2017.

Neste estudo escolheu-se a área de estacionamento devido a facilidade de instalação e manutenção e com a geração perto do ponto de consumo, reduzindo assim, as perdas de energia. Além disto também permite a instalação sobre estruturas metálicas para posicionamento dos painéis solares.

O Aeroporto Internacional de Belém – Júlio Cezar Ribeiro, está localizado no município de Belém do Pará sendo o principal aeroporto do Estado, ocupando atualmente a 14<sup>a</sup> posição a nível nacional. Segundo dados do Anuário do Transporte Aéreo (ANAC,2016) na região norte, embarcaram cerca de 4,8 milhões de passageiros no ano de 2016 dos quais 1,5 milhão somente no Aeroporto Internacional de Belém, fazendo com que este ocupe a primeira posição em embarque de passageiros de toda a região norte, sendo a principal porta de entrada da Amazônia brasileira. A Figura 3 mostra o Aeroporto de Belém-PA.

### 3.2 Irradiação Solar e Inclinação dos Módulos

Para obter os dados de radiação solar é necessário obter a latitude e a longitude do local de estudo. Após obter a latitude e longitude, obteve-se a irradiação global utilizando-se a base de dados do Atlas Solarimétrico do Brasil que ao inserir os dados da latitude e longitude gera um relatório de onde extraem-se a irradiação em kWh/m<sup>2</sup>/dia. Os números revelam a quantidade de energia solar que chega no local por metro quadrado em um dia daquele determinado mês. A partir da obtenção do histórico das medições de radiação solar para uma determinada localização, da componente difusa e direta é possível realizar um estudo de viabilidade para um projeto de geração fotovoltaica conectada à rede com o objetivo de garantir o máximo aproveitamento do sistema. Após a obtenção da irradiação global horizontal foi necessário obter a irradiação para ângulos diversos pois o Atlas Solarimétrico fornece apenas a irradiação horizontal, ou seja, para uma inclinação igual a 0°, para isso foi utilizado o software RADIASOL. Na Figura 3 apresenta-se uma tela do programa.

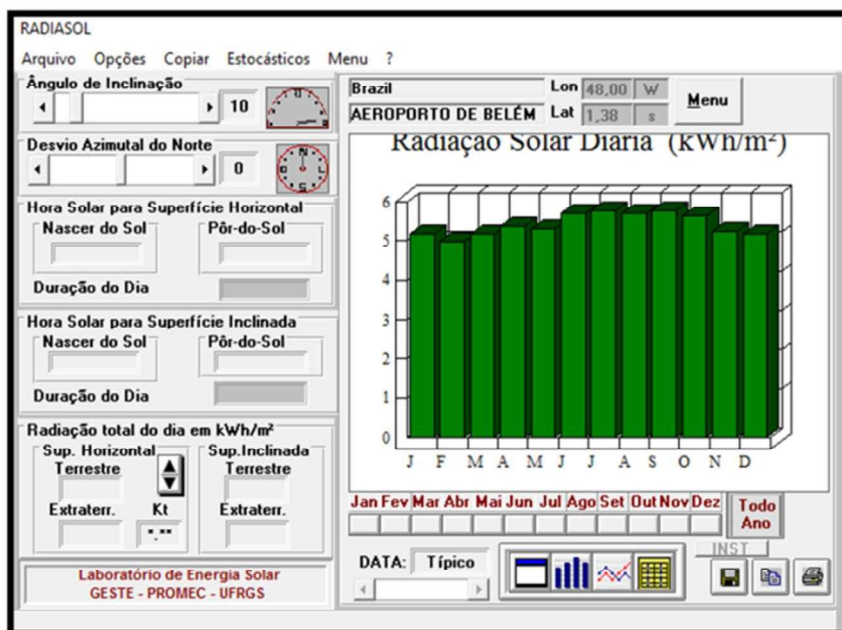


Figura 3. Tela do software RADIASOL

Fonte: RADIASOL, 2017.

### 3.3 Dimensionamento do sistema nos horários de melhor irradiância

A área escolhida para a colocação dos módulos fotovoltaicos foi o estacionamento do complexo aeroportuário de Belém, sempre em locais sem sombreamento, principalmente nos horários considerados de maior irradiância, compreendido entre 9:30 e 15:30, conforme Figura 4.

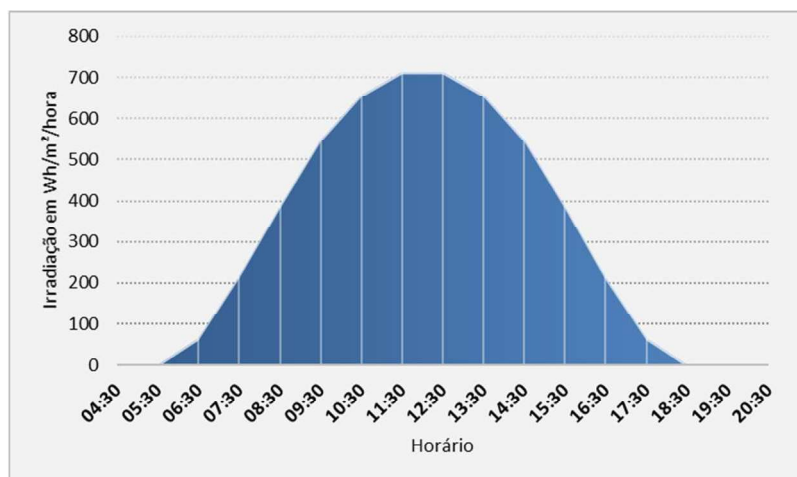


Figura 4. Irradiância em  $Wh.m^{-2}.hora^{-1}$  em um dia médio de janeiro

Fonte: RADIASOL (2017)

### 3.4 Descrição do projeto de cobertura fotovoltaica

A escolha dos aparatos fotovoltaicos utilizados no projeto, tanto de painéis quanto inversores, tem como critério o atendimento a Resolução Normativa 482 da ANEEL. Os painéis são homologados e os inversores possuem a certificação da ABNT. Além disso foram escolhidas marcas líderes de mercado, para facilitar a implantação do projeto.

Dentre as tecnologias disponíveis foi escolhido os painéis rígidos, pois além do seu preço ser menor, quando comparado com outras tecnologias, também são as mais fáceis de instalar pois é a tecnologia mais utilizada no mercado brasileiro. O módulo escolhido foi o de silício policristalino por possuir uma eficiência energética adequada e um menor custo em

relação ao silício monocristalino. Atualmente o INMETRO autoriza apenas as tecnologias de silício policristalino, monocristalino e filmes finos.

As características dos módulos escolhidos para compor o sistema foram extraídas do manual do fabricante. A fabricante é canadense e se chama *Canadian Solar*, modelo CS6K, policristalino, de potência nominal de 265 Wp. Cada placa terá a dimensão de 1650x992x40mm, com 60 células, protegidas por uma tampa frontal de 3,2 mm de vidro temperado, moldura em liga de alumínio anodizado, chegando a pesar 18,2 Kg. O inversor escolhido no estudo foi o SW500 da WEG.

As células fotovoltaicas presentes nos módulos geradores, independentemente do material utilizado, possuem uma degradação natural que afeta a eficiência e o rendimento global do módulo. Segundo Jordan e Kurtz (2013), esta perda é inevitável e contribui para a redução gradual do desempenho ao longo dos anos. Estima-se um decaimento médio anual de 0,8%. Além disso os módulos, mesmo feitos pelo mesmo fabricante, apresentam pequenas diferenças entre si. Neste trabalho adotou-se uma perda de 7,5%.

Com a elevação da temperatura das células fotovoltaicas, ocorre uma significativa redução na tensão e um mínimo aumento na corrente fotogerada, resultando na diminuição da potência fornecida pelo sistema. Esse efeito é acentuado durante o verão e se agrava quando a instalação se situa em edificações onde possa haver redução na ventilação do painel (GEHRING; LOPES; DALMOLIN, 2015). Segundo Almeida (2012), normalmente a potência do gerador FV utilizando tecnologia silício cristalina decai entre 0,3 e 0,4 % a cada 1°C acima da temperatura padrão de testes dos módulos FV de 25°C. Neste As perdas devido a temperatura varia de 3% a 6%, para fins de dimensionamento, devido às elevadas temperaturas no local de estudo neste trabalho a perda por este quesito será considerada 5%.

Inversores com baixa eficiência são responsáveis por grande parte de perdas de um sistema fotovoltaico que podem chegar até 15%. Além disso, mesmo inversores eficientes apresentam baixo rendimento quando operam com frações pequenas da potência nominal. Inversores modernos normalmente possuem perdas menores, pois apresentam eficiência elevada para uma grande faixa de operação. Como no estudo em questão o inversor é de boa qualidade e está bem dimensionado colocou-se uma perda 1,5% (ALMEIDA, 2012).

Ao dimensionar um sistema fotovoltaico o sombreamento deve ser evitado, uma vez que este fator é o que mais pode interferir negativamente no rendimento do módulo, a perda pode ser de 0 a 100%. Como no local de estudo o módulo será instalado em um local sem sombreamento, sem edificações próximas a perda foi considerada 0.

Um outro fator que acarreta na perda de rendimento de um sistema fotovoltaico é o acúmulo de sujeira nos módulos fotovoltaicos, que pode gerar uma perda de 2% a 25%. Uma medida simples e que ajuda a evitar perdas na geração é a limpeza dos módulos fotovoltaicos. Assim como o sombreamento parcial, causado por fatores diversos, o acúmulo de poeira também causa perda na eficiência e pode ser prejudicial ao rendimento do gerador. Os módulos são fabricados para serem auto limpantes, então, como na cidade do local de estudo as chuvas são bem frequentes decidiu-se por colocar uma perda mínima de 2%. (GEHRING; LOPES; DALMOLIN, 2015)

As perdas foram consideradas nesta pesquisa segundo Miranda (2014) e totalizaram 25%, ou seja, a taxa de desempenho adotada foi de 75%.

### 3.5 Modelo Arquitetônico

O projeto proposto prevê a instalação de uma estrutura metálica sobre as vagas de estacionamento do complexo aeroportuário de Belém. A disposição atual das vagas

demarcadas será mantida, cada vaga possui uma metragem de 2,50 m por 5,00 m, separadas por faixas de 5 cm. O modelo arquitetônico pode ser visto na Figura 5.



Figura 5. Modelo arquitetônico proposto

Fonte: Siqueira (2017)

Observa-se na Figura 6 que a aplicação de painéis fotovoltaicos proporcionando cobertura aos veículos estacionados, que contribuirão para uma menor temperatura interna dos veículos estacionados pela proteção da incidência solar durante o período diurno.

### 3.6 Análise Econômica e Financeira

Para fazer o dimensionamento do sistema fotovoltaico integrado à rede foram feitos 3 cenários para encontrar-se a relação produção e consumo ideal a partir de uma análise econômica financeira. No cenário 1 foi proposto atender 100% do consumo, já no cenário 2 a proposta era atender 85% da demanda e no cenário 3, atender 50%.

Para fazer o levantamento do custo de instalação do sistema fotovoltaico foi utilizado como base o Relatório Alvorada, publicado pelo GREENPEACE BRASIL (2015), que informa que o custo de implantação do sistema instalado é de R\$7,85/Wp.

No presente trabalho serão utilizados os seguintes indicadores econômicos: Período de retorno, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

A Taxa interna de retorno (TIR) é chamada também de taxa esperada, pois é a taxa de juros projetada no fluxo de caixa encontrada para o fluxo de caixa do projeto de investimento analisado (BISCHOFF, 2013).

O Método do *Payback* calcula o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado, sendo muito difundido em virtude de sua fácil aplicação e interpretação (BISCHOFF, 2013).

O método do Valor Presente Líquido (VPL) estabelece que se ele for maior que zero, então o projeto deverá ser aceito, pois todo capital investido será recuperado acrescido da remuneração pela taxa mínima de atratividade, se o VPL for menor que zero, o projeto deverá ser rejeitado, pois o capital investido não será recuperado e se o VPL for igual a zero, é indiferente aceitar ou não o projeto.

A Rentabilidade é calculada pelo quociente entre o VPL acumulado e o Investimento inicial, subtraído da unidade e colocado sob a forma de percentual (Duarte, 2009). Quanto maior a rentabilidade, mais atrativo torna-se o empreendimento, segundo Hirschfeld(1989).



## 4. RESULTADOS

### 4.1 Irradiação solar, inclinação e orientação dos módulos

O Aeroporto localiza-se na latitude  $-1,38^\circ$  de e uma longitude de  $-48,48^\circ$ . A partir desta informação encontrou-se os valores da irradiação extraídos do Atlas Solarimétrico do Brasil. Com isso obteve-se uma irradiação média de  $5,25 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ . Com os dados da Irradiação média diária foi possível calcular a irradiação média mensal, multiplicando pelo número de dias de cada mês.

A inclinação ideal das placas deve ser igual a latitude local de  $1,38^\circ$ , entretanto, segundo Villalva e Gazoli (2012), não deve ser utilizada inclinação menor que  $10^\circ$ , com o intuito de evitar o acúmulo de sujeira ou água sobre os módulos, fazendo com que a captação da energia solar seja prejudicada. Uma inclinação igual ou acima de  $10^\circ$  proporciona a autolimpeza da placa a partir da água da chuva. Adotou-se então, uma inclinação de  $10^\circ$ . Como o Aeroporto de Belém está no Hemisfério Sul, a orientação adotada foi de  $0^\circ\text{N}$ .

### 4.2 Consumo

O consumo de energia foi fornecido pela INFRAERO, sendo que o Aeroporto de Belém é alimentado através de 7 (sete) unidades consumidoras pela concessionária de energia elétrica CELPA. Foi escolhida a unidade consumidora de baixa tensão de maior consumo, com um consumo anual de  $99.529,00 \text{ kWh}$ .

### 4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede

De acordo com o fabricante do módulo fotovoltaico, quando exposto a uma irradiância de  $800 \text{ W/m}^2$ , temperatura de  $20^\circ\text{C}$  e vento de  $1\text{m/s}$  chegam a uma temperatura de até  $46^\circ\text{C}$  que é a temperatura nominal de operação da célula. Como o local de estudo atinge até  $34^\circ\text{C}$ , para fins de dimensionamento foi utilizada uma temperatura de operação de  $60^\circ\text{C}$ . Esse dado é muito importante para o cálculo das perdas do sistema, uma vez que o aumento da temperatura além da de STC, que é de  $25^\circ\text{C}$ , provoca uma perda na eficiência do módulo fotovoltaico. O fabricante informa a perda de  $-0,41\%/^\circ\text{C}$ .

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi feito a partir dos dados de consumo do local do estudo, das características do módulo fotovoltaico, do inversor, da irradiação, sendo a área disponível no estacionamento do Complexo Aeroportuário de Belém para implantação dos módulos fotovoltaicos é de  $4.813,12 \text{ m}^2$ , considerando-se três cenários segundo a relação geração/consumo de 100%, 85% e 50% de maneira a se estudar a influência dessa relação sobre os indicadores econômicos.

Na Tabela 1 pode-se ver a análise econômico-financeira do Cenário 1.

**Tabela 1.** Análise econômico-financeira do Cenário 1

Ano	GERAÇÃO		RECEITAS		DESPESAS		FLUXO DE CAIXA	
	Geração Útil (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Reembolso (R\$)	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	FC Anual (R\$)	FC Descontado (R\$)	FC Acumulado (R\$)
0	-	0,81	-	499.260,00	-	499.260,00	-499.260,00	499.260,00
1	93.956,49	0,89	83.597,10	-	- 2.496,30	81.100,80	73.728,00	425.532,00
2	91.607,58	0,98	89.657,89	-	- 2.745,93	86.911,96	71.828,07	353.703,93
3	90.966,33	1,08	97.933,32	-	- 3.020,52	94.912,80	71.309,39	282.394,54
4	90.329,56	1,18	106.972,56	-	- 3.322,58	103.649,99	70.794,34	211.600,20
5	89.697,26	1,30	116.846,13	-	- 3.654,83	113.191,30	70.282,89	141.317,31
6	89.069,38	1,43	127.631,03	-	- 4.020,32	123.610,71	69.775,03	71.542,29
7	88.445,89	1,58	139.411,37	-	- 4.422,35	134.989,03	69.270,71	2.271,57
8	87.826,77	1,73	152.279,04	-	- 4.864,58	147.414,46	68.769,93	66.498,36
9	87.211,98	1,91	166.334,40	-	- 5.351,04	160.983,36	68.272,66	134.771,02
10	86.601,50	2,10	181.687,06	-	- 5.886,14	175.800,92	67.778,86	202.549,89
11	85.995,29	2,31	198.456,78	-	- 6.474,76	191.982,02	67.288,53	269.838,41
12	85.393,32	2,54	216.774,34	-	- 7.122,24	209.652,11	66.801,62	336.640,03
13	84.795,57	2,79	236.782,61	-	- 7.834,46	228.948,15	66.318,12	402.958,16
14	84.202,00	3,07	258.637,65	-	- 8.617,90	250.019,74	65.838,01	468.796,17
15	83.612,58	3,38	282.509,90	-	- 9.479,70	273.030,21	65.361,26	534.157,43
16	83.027,30	3,72	308.585,57	-	- 10.427,66	298.157,90	64.887,85	599.045,28
17	82.446,11	4,09	337.068,01	-	- 11.470,43	325.597,58	64.417,75	663.463,03
18	81.868,98	4,50	368.179,39	-	- 12.617,47	355.561,92	63.950,94	727.413,96
19	81.295,90	4,95	402.162,35	-	- 13.879,22	388.283,13	63.487,39	790.901,36
20	80.726,83	5,44	439.281,93	-	- 15.267,14	424.014,79	63.027,10	853.928,45
21	80.161,74	5,99	479.827,66	-	- 16.793,86	463.033,80	62.570,02	916.498,47
22	79.600,61	6,58	524.115,75	-	- 18.473,24	505.642,51	62.116,15	978.614,62
23	79.043,40	7,24	572.491,63	-	- 20.320,57	552.171,06	61.665,45	1.040.280,07
24	78.490,10	7,97	625.332,61	-	- 22.352,63	602.979,99	61.217,90	1.101.497,97
25	77.940,67	8,76	683.050,81	-	- 24.587,89	658.462,92	60.773,49	1.162.271,46

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O custo de implantação do projeto foi orçado em R\$499.260,00. Na coluna de Geração é possível visualizar-se duas colunas, a coluna geração útil que fornece a geração anual, que vai diminuindo em relação ao tempo, devido à degradação dos módulos fotovoltaicos e a coluna Tarifa, que apresenta o valor da tarifa, que neste trabalho sofre um reajuste de 10% ao ano.

A coluna de Receitas representa o quanto foi economizado em virtude da energia gerada, já as Despesas são formadas pelo *Capital Expenditure* (CAPEX) de R\$499.260,00, que é a despesa de capital, que nada mais é do que o capital investido pela empresa para adquirir um bem físico, que neste caso é o Sistema Fotovoltaico. E pelo *Operational Expenditure* (OPEX) que se refere às despesas operacionais, tais como os custos de manutenção, custos esses que também estão calculados sofrendo um reajuste de 10% ao ano.

Já na categoria Fluxo de caixa, a coluna FC anual representa a soma das receitas e despesas, o FC Descontado nada mais é que o FC Anual descontado da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), já o FC acumulado é a soma do FC Descontado do ano vigente com a posição do FC Acumulado do ano anterior.

## 5. DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta sinteticamente o comparativo entre os três cenários.

Tabela 2. Comparativo Econômico entre os três cenários

Cenário	Geração/consumo (%)	Investimento (R\$)	Payback	TIR	Rentabilidade
1	100	499.260,00	5 anos e 2 meses	24,59%	132,79%
2	85	416.050,00	5 anos e 2 meses	24,69%	134,63%
3	50	249.630,00	5 anos e 2 meses	24,69%	134,63%

Fonte: Autores (2018)

Pode-se notar que a relação geração/consumo não afeta de maneira significativa os indicadores econômicos, pois apesar do Investimento entre os três cenários serem bastante diferentes, os tempos de retorno, a taxa interna de retorno e a rentabilidade são praticamente iguais. Para o caso estudado os Cenários 1, 2 e 3 se mostraram equivalentes quanto à variação dos indicadores econômico-financeiros em função da relação geração/consumo, demonstrando que essa relação não influencia esses indicadores, observando-se apenas o valor da demanda contratualmente fixada, e assim o investidor pode escolher essa relação geração/consumo com base no valor de investimento inicial mais adequado a seu empreendimento.

## 6. CONCLUSÕES

Complexos aeroportuários possuem grande demanda energética devido à utilização de equipamentos de ar refrigerado tornando o complexo um importante ponto potencial de geração distribuída.

Com base nos resultados obtidos em estudo de viabilidade técnico-econômica ao uso de geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos integrados à rede no Complexo Aeroportuário de Belém do Pará, pode-se observar que as principais vantagens com a instalação são:

- Proteção do consumidor contra oscilações nas tarifas da energia consumida da rede;
- Grande potencial de exploração de energia solar, pelo fato de o Brasil estar situado em uma zona tropical e apresentar altos níveis de irradiação solar, o que o coloca em vantagem com relação a outros países que já utilizam a tecnologia em larga escala, mesmo não possuindo os mesmos atributos territoriais.
- Utilização de energia limpa e renovável;
- Menor custo de investimento com transmissão e distribuição de energia elétrica.
- O marketing verde ou ambiental, que vai vincular a empresa à uma imagem ecologicamente consciente;
- É um sistema modular, ou seja, caso haja necessidade de aumentar a demanda, basta ampliar com mais arranjos de módulos e inversores.
- Sua implantação como projetos vitrines, em locais de grande circulação de pessoas, estimula a reflexão das pessoas e potencializa efeito multiplicador.

Ao comparar-se os Cenários 1, 2 e 3 se mostraram equivalentes quanto à variação da relação geração/consumo aos indicadores econômico-financeiros, devendo então o investidor definir qual o melhor cenário com base nos valores de investimento inicial. Ou

seja, a variação do percentual de atendimento do consumo não causou variações significativas dos indicadores financeiros.

Finalmente, este trabalho pretende incentivar a produção de energia renovável e sustentável de forma descentralizada uma vez que os indicadores econômico-financeiros se mostraram bastante favoráveis.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. P. (2012). *Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*. São Paulo: USP. Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/lsf/sites/default/files/Mestrado\\_Marcelo\\_Pinho\\_Almeida.pdf](http://www.iee.usp.br/lsf/sites/default/files/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf)>.
- BRASIL. INFRAERO (2017). *Aeroporto Internacional de Belém - Val-de-Cans - Júlio Cezar Ribeiro*. Disponível em: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-belem-val-de-cans-julio-cezar-ribeiro/sobre-o-aeroporto/historico/>>.
- Braun, P.; Jardim, C. S.; Rütther, R. (2007). *Análise da Contribuição Energética de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações: Aeroporto Internacional de Florianópolis, Um Estudo de Caso*. Enac.
- Braun, P.; Santos, I. P.; Zomer, C. D.; Rütther, R. (2010). *A integração dos sistemas solares fotovoltaicos em seis aeroportos brasileiros utilizando diferentes tecnologias de células solares*. *Revista Brasileira de Energia Solar* Volume 1 Número 1 Setembro de 2010 p. 12-22.
- Corrêa, R. L. (1999). *O Espaço Urbano*. São Paulo: Editora Ática. 4a edição.
- Duarte, A.R.C.L. (2009). *Análise de parâmetros de sustentabilidade para geração de energia elétrica com óleo vegetal em comunidades isoladas na Amazônia*. Tese de D.Sc. em Engenharia Elétrica, UFPA, Belém, PA, Brasil.
- Gehring, A. A.; Lopes, L. F. S.; Dalmolin, R. S. (2015). *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências*. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3885/1/CT\\_COELE\\_2014\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3885/1/CT_COELE_2014_2_10.pdf)>.
- GREENPEACE BRASIL. (2015). *Alvorada: Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil*. 28 p. Disponível em: <[http://m.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2016/Relatorio\\_Alvorada\\_Greenpeace\\_Brasil.pdf](http://m.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2016/Relatorio_Alvorada_Greenpeace_Brasil.pdf)>.
- Jordan, D. C., Kurtz, S. R., 2013. *Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21, pp. 12-29.
- Miranda, A. B. C. M. (2014). *Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede*. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Elétrica). Rio de Janeiro: UFRJ.
- Pacheco, F. (2006). *Energias Renováveis: breves conceitos*. *Conjuntura e Planejamento*, Salvador, v. 149, n. 1, p.4-11, 01 out. 2006. Disponível em: <[file:///C:/Users/26146528/Downloads/Conceitos\\_Energias\\_renovaveis.pdf](file:///C:/Users/26146528/Downloads/Conceitos_Energias_renovaveis.pdf)>.
- Santos, Í. P. (2013). *Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura*. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil.
- Siqueira, M. R. C. (2017). *Viabilidade econômica da instalação de energia fotovoltaica em um aterro sanitário: um estudo de caso em Marituba-Pará*. Trabalho de Conclusão (Engenharia Ambiental). Universidade da Amazônia. Belém, Brasil.
- Villalva, M. G.; Gazoli, J. R. (2012). *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações - sistemas isolados e conectados à rede*. - São Paulo: Editora Érica.
- Tiba, C. et al. (2000). *Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres*. Recife: UFPE.