

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Bruno Eustáquio Lima Pereira

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE  
UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE  
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM SÍTIO AEROPORTUÁRIO**

Novo Hamburgo, RS  
2017

**Bruno Eustáquio Lima Pereira**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS EM SÍTIO AEROPORTUÁRIO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética aplicada aos Processos Produtivos.**

Orientador: Alexandre Aparecido Buenos

Coorientador: Cezar Augusto Beltrame

Novo Hamburgo, RS

2017

**Bruno Eustáquio Lima Pereira**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS EM SÍTIO AEROPORTUÁRIO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética aplicada aos Processos Produtivos**.

**Aprovado em 06 de outubro de 2017:**

---

**Alexandre Aparecido Buenos, Dr. (UFSM)**  
(Presidente / Orientador)

---

**Flávio Dias Mayer, Dr. (UFSM)**

---

**Natanael Rodrigues Gomes, Dr. (UFSM)**

Novo Hamburgo, RS  
2017

## RESUMO

### ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM SÍTIO AEROPORTUÁRIO

AUTOR: Bruno Eustáquio Lima Pereira

ORIENTADOR: Alexandre Aparecido Buenos

COORIENTADOR: Cezar Augusto Beltrame

Com o aumento populacional e a elevação do perfil de consumo dos recursos naturais no mundo, verificou-se a necessidade de debater as questões energéticas e investir em soluções renováveis. Os aeroportos brasileiros são instalações com grande consumo de energia e vastas dimensões territoriais com áreas sem grandes obstáculos. O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos distribuídos em uma determinada área do aeroporto. Para isso foi realizada uma revisão dos conceitos básicos e trabalhos relacionados com o tema proposto. Além disso, foram avaliadas as tecnologias disponíveis, buscando analisar a melhor configuração de um sistema de geração solar de energia com o objetivo de reduzir as despesas com energia elétrica, contribuindo para a sustentabilidade de tais instalações. Para tal análise foi selecionado o aeroporto de Macaé e avaliado 3 unidades consumidoras, que permitem instalar um sistema de geração de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos. Como resultado foi proposto a instalação de 2515, 850 e 279 painéis fotovoltaicos com um valor de 140 Wp de potência cada um, totalizando 510 kWp. Os resultados da análise mostram uma redução de 100% no consumo de energia elétrica proveniente da concessionária de energia, quando comparado com o histórico de consumo médio de energia elétrica das unidades consumidoras. O custo para o investimento de todos os sistemas foi calculado no valor de R\$3.436.604,97. Para duas unidades consumidoras o tempo de retorno calculado foi de 14 anos e a outra unidade consumidora apresentou um tempo de retorno de investimento de 7 anos. Ao final do trabalho concluiu-se que o sistema alternativo visando suprir integralmente a demanda de energia é viável economicamente.

**Palavras-chave:** Energia solar, painel fotovoltaico, geração de energia, aeroporto.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF ECONOMIC VIABILITY OF IMPLEMENTATION OF AN ELECTRICITY GENERATION SYSTEM BY PHOTOVOLTAIC PLATES IN AIRPORT INFRASTRUCTURE**

AUTHOR: Bruno Eustáquio Lima Pereira

ADVISOR: Alexandre Aparecido Buenos

CO-ADVISOR: Cezar Augusto Beltrame

Due to the population growth and the increasing of the natural resources consumption worldwide, there is a necessity to discuss energy issues and to invest in renewable sources solutions. Brazilian airports are energy-intensive facilities that present vast territorial dimensions with areas without major obstacles. The aim of the present work was to analyze the implementation viability of an electric power generation system by photovoltaic panels distributed in a determined area of an airport. Thus, a review on the basic concepts and researches related to the proposed theme has been performed. In addition, the available technologies have been evaluated, aiming to analyze the best configuration of a solar energy generation system in a way that the electric energy expenses could be reduced, hence, contributing to the sustainability at such facilities. Macaé Airport was the selected facility to this analysis and its three consuming unities have been evaluated, as such unities allow the installation of an electricity generation system using photovoltaic panels. As a result, the installation of 2515, 850 and 279 photovoltaic panels has been proposed, with a power value of 140 Wp each, totalizing 510 kWp. The analysis results showed a reduction of 100% in the electricity consumption from the power distribution company when compared to the average consumption of electric energy history at the consumer units. The investment cost of all the systems has been amounted to R\$3.436.604,97. The investment payback time calculated for two of the consumer units has been of about 14 years after the installation, and for the other consumer unit it is about 7 years. At the end of this study, it was concluded that this alternative system which fully meets the energy demands is economically viable.

**Keywords:** Solar energy, photovoltaic plate, power generation, airport.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Movimentação de Passageiros de 2011 a 2016 .....	6
Figura 2 – Exemplo de um sistema de aquecimento solar de água .....	8
Figura 3 – Parede trombe para aquecimentos de interiores .....	9
Figura 4 – Concentrador Parabólico .....	10
Figura 5 – Concentrador Solar e Torre Central .....	11
Figura 6 – Módulos de filme fino, monocristalino e policristalino .....	12
Figura 7 – Influência da temperatura em células fotovoltaicas .....	14
Figura 8 – Comparativo de reflexão da luz em diversas superfícies .....	17
Figura 9 - Custos totais de um sistema fotovoltaico .....	21
Figura 10 – Consumo total (Ponta e Fora Ponta) de energia em kWh no AIRJ .....	22
Figura 11 – Percentual de participação no consumo total do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro .....	22
Figura 12 – Conector do Aeroporto Santos Dumont .....	24
Figura 13 – Sistema fotovoltaico piloto instalado em cobertura no Aeroporto de Jacarepaguá no Rio de Janeiro	25
Figura 14 – Sistema fotovoltaico piloto instalado no solo no Aeroporto do Galeão – RJ .....	26
Figura 15 – Equipamento fotovoltaico de sistema de balizamento luminoso de pista de táxi .....	27
Figura 16 – Local de instalação do balizamento solar no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro .....	27
Figura 17 – Poste autônomo de energia no estacionamento do Aeroporto Santos Dumont .....	28
Figura 18 – Módulos instalados no Aeroporto Internacional de Indianápolis nos Estados Unidos .....	29
Figura 19 – Módulos instalados no Aeroporto Internacional de <i>Dusseldorf</i> , na Alemanha. ....	29
Figura 20 – Módulos instalados no Aeroporto de <i>Thunder Bay</i> , no Canadá .....	30
Figura 21 – Painéis instalados no Aeroporto Internacional de <i>Denver</i> , nos Estados Unidos .....	30
Figura 22 – Painéis instalados no Aeroporto Internacional de <i>Cibao</i> , na República Dominicana .....	31
Figura 23 - Painéis instalados no Aeroporto Internacional de <i>Cochin</i> , na Índia .....	32
Figura 24 - Porcentagem de captação solar em função da orientação ( $\gamma$ ) e inclinação ( $\beta$ ) para a cidade do Rio de Janeiro .....	35
Figura 25 – Imagem de satélite do Aeroporto de Macaé .....	37
Figura 26 – Aproximação da área sugerida para instalação dos sistemas fotovoltaicos .....	38
Figura 27 – Módulo KD140SX-UFBS da Kyocera Solar .....	39
Figura 28 – Centrais inversoras ABB para sistemas fotovoltaicos comerciais .....	40

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões de alguns aeroportos do Brasil.....	5
Quadro 2 – Área ocupa por módulos de diferentes tecnologias .....	19
Quadro 3 - Dados dos módulos fotovoltaicos comerciais .....	19
Quadro 4 - Relação de perdas de captação solar (sobre o valor máximo teórico) em função da orientação ( $\gamma$ ) e inclinação ( $\beta$ ) do gerador fotovoltaico para a cidade do Rio de Janeiro .....	35
Quadro 5 - Resumo das características do módulo fotovoltaico.....	39
Quadro 6 – Movimento Operacional do Aeroporto de Macaé .....	44
Quadro 7 – Resumo do consumo e valor médios do Aeroporto de Macaé.....	45
Quadro 8 – Resultado da avaliação da Unidade Consumidora A.....	47
Quadro 9 – Resultado da avaliação da Unidade Consumidora B .....	48
Quadro 10 – Resultado da avaliação da Unidade Consumidora C .....	50

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo geral .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
1.2. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS .....	2
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. ENERGIA SOLAR .....	7
2.2. TIPOS DE GERAÇÃO SOLAR .....	7
2.2.1. Sistema de Aquecimento Solar de Água .....	8
2.2.2. Parede Trombe.....	9
2.2.3. Sistema de Concentrador Solar.....	10
2.2.4. Sistemas Fotovoltaicos .....	11
2.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	
13	
2.4. PREMISSAS E LEGISLAÇÃO.....	15
2.4.1. Plano Diretor dos Aeroportos .....	15
2.4.2. Disposições das Autoridades de Aviação Civil.....	15
2.4.3. Reflexibilidade dos Módulos.....	16
2.4.4. Interferência nos Sistemas de Comunicação .....	17
2.4.5. Licenciamento Ambiental .....	18
2.5. APLICABILIDADE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM	
AEROPORTOS.....	18
2.5.1. Instalação de Sistemas Fotovoltaicos em Coberturas.....	23
2.5.2. Instalação de Sistemas Fotovoltaicos no Solo.....	25
2.5.3. Outras aplicações de Energia Fotovoltaica em Aeroportos.....	26
2.6. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS NO MUNDO.....	28
<b>3. MATERIAIS E METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
3.1. PLANEJAMENTO SEQUENCIAL .....	33
3.2. AEROPORTO DE MACAÉ .....	34
3.2.1. Premissas .....	34
3.2.2. Caracterização do Empreendimento.....	36
3.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICOS .....	38



3.3.1.	Módulo Fotovoltaico .....	38
3.3.2.	Inversor .....	39
3.3.3.	Estruturas de suporte .....	40
3.4.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICOS.....	40
3.5.	AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	42
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>44</b>
4.1.	LEVANTAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO OPERACIONAL .....	44
4.2.	CONSUMO DE ENERGIA .....	44
4.3.	ANÁLISE FINANCEIRA.....	45
4.3.1.	Unidade Consumidora A .....	46
4.3.2.	Unidade Consumidora B .....	47
4.3.3.	Unidade Consumidora C .....	49
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O uso racional de energia é necessário devido ao atual cenário do país, devido principalmente a níveis, geralmente reduzidos, dos reservatórios das hidroelétricas; utilização das termoelétricas, onde há um custo elevado na produção em função do seu insumo (combustíveis fósseis) e recentes reajustes de tarifas aprovadas pelo governo.

Segundo a ANEEL (2005), as fontes de geração de energia disponíveis atualmente são, majoritariamente, formas indiretas de energia solar (hidráulica, biomassa, eólica, entre outras). Contudo, tal energia pode ter aplicação direta para conversão em eletricidade através de tecnologias específicas, como a termoelétrica e a fotovoltaica. Atualmente, com o desenvolvimento das indústrias de equipamentos, há um crescimento vertiginoso na aplicação da energia fotovoltaica, se apresentando como uma alternativa confiável para reduzir os insumos com energia elétrica.

O administrador público é o profissional que deve estar preparado para zelar pelo bem e pelo patrimônio público. Existem inúmeras instalações governamentais carentes de atualizações e/ou adequações tecnológicas com o propósito de reduzir o consumo de energia elétrica.

No Brasil, existem diversos aeroportos públicos (nas esferas federais, estaduais e municipais), e estes são locais de vastas dimensões, ao ar livre, com alto consumo energético e com reduzida interferência de obstáculos e sombreamento. Segundo dados da Infraero (2013), empresa instituída com a finalidade de implantar, administrar, operar e explorar industrial e comercialmente a infraestrutura aeroportuária, a empresa administra 55 aeroportos, tem sociedade em outros seis, gerencia 31 terminais de cargas e 104 Estações de Prestação de Serviços de Telecomunicações e Tráfego Aéreo (EPTAs).

A construção modular de um sistema fotovoltaico também facilita sua instalação nos aeroportos, em locais não utilizados para a aviação ou como área comercial. A energia fotovoltaica, além de ser renovável, gera energia para ser consumida no próprio local de produção, evitando despesas com a transmissão e distribuição, suprimindo parcela da demanda de energia dos sítios aeroportuários e, dependendo do porte da instalação, até as propriedades do entorno.

Desse modo, a implantação de sistemas fotovoltaicos integrados as propriedades públicas é essencial para contribuir para a redução de despesas e a dependência de outras fontes

de geração, contribuindo ainda para o meio ambiente ao produzir energia limpa, renovável e sem emissão de poluentes.

## 1.1. OBJETIVOS

Essa seção foi dividida em objetivo geral e objetivos específicos conforme pode ser observado a seguir.

### 1.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral do estudo é avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos no aeroporto de Macaé.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho foram elaborados objetivos específicos conforme segue abaixo:

- Analisar as tecnologias disponíveis através dos parâmetros qualitativos necessários para viabilizar a implantação do sistema;
- Avaliar qual o tipo de tecnologia mais compatível aos sítios aeroportuários;
- Estimar o consumo energético das unidades consumidoras do aeroporto;
- Definir a melhor configuração do tipo de tecnologia selecionado;
- Avaliar a implantação do sistema de geração solar de energia e suas interferências com a operação, segurança, telecomunicação e tráfego aéreo;
- Apresentar um estudo de viabilidade para um aeroporto.

## 1.2. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Além do capítulo atual que possui a seção introdutória e objetivos, o referido trabalho organiza-se em mais seis capítulos: o Capítulo 2 aborda o referencial teórico utilizado; o Capítulo 3 apresenta a metodologia que irá nortear o trabalho; o Capítulo 4 descreve os

resultados, discussões e o estudo de caso do Aeroporto de Macaé; o Capítulo 5 detalha as conclusões e considerações finais; o Capítulo 6 apresenta as recomendações para trabalhos futuros e, ao final, é apresentada a lista de referências bibliográficas consultadas para elaboração da presente monografia.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente, há várias discussões sobre o consumismo compulsivo da sociedade, especialmente impulsionada pela propaganda das grandes indústrias que investem em inovações tecnológicas e facilitam o consumo através do comércio eletrônico.

Segundo Cortez (2009), o consumismo é o ato de consumir produtos ou serviços, muitas vezes sem consciência. O impacto ambiental do consumo surgiu como uma questão a ser tratada após a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento (também conhecida como Eco-92). Algumas empresas e diversos cidadãos refletiram sobre o consumismo e adquiriram interesse em reduzir suas responsabilidades no impacto negativo provocado ao meio ambiente.

O consumo sustentável ou responsável é amplamente discutido também na utilização dos recursos naturais pela sociedade, especialmente a energia elétrica. Esta energia é empregada no transporte, na produção industrial, na iluminação, produção de frio e calor, entre outras aplicações. Conforme Sgarbi et al. (2008), os estudos sobre a sustentabilidade têm apresentado um crescente interesse na comunidade acadêmica, despertando não só o interesse dos estudiosos da área socioambiental, mas também dos pesquisadores de temas como estratégia, competição, gestão, dentre outros.

Segundo ressalta Vichi e Mansor (2017), o sol é a fonte de energia primária mais abundante no mundo e com exceção da energia nuclear, todas as outras fontes, renováveis ou não, são formas indiretas de energia solar. Considerado uma energia renovável, os sistemas de geração de energia solar baseiam-se no efeito fotovoltaico, que converte a irradiação solar diretamente em energia elétrica. De acordo com Santana (2014), o cenário nacional atual para sistemas de Microgeração (potência instalada menor ou igual a 75 kW) e Minigeração (potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW exceto hidráulica, cujo limite é 3 MW) fotovoltaica é ainda incipiente diante dos recursos solares disponíveis no país. O setor precisa de incentivos do governo, principalmente na redução de impostos setoriais e na elaboração de leilões específicos de energia fotovoltaica.

Com o desequilíbrio fiscal das contas públicas do Brasil no final de 2014 e início de 2015 e o cenário de racionalização de energia faz-se necessário o investimento do governo em uma fonte alternativa e renovável de energia propondo, além de economia de recursos, a ampliação da utilização desta tecnologia.

Para a operação dos aeroportos há um consumo de grandes quantidades de recursos naturais e a energia elétrica é um dos recursos fundamentais. Os aeroportos são localidades com

grande dimensão territorial que incluem, geralmente, os seguintes tipos de instalações: pistas de pouso e decolagem (PPD), terminais de passageiros (TPS), seção contra incêndio (SCI), torre de controle (TWR), prédios administrativos, hangares, entre outros. Segundo Infraero (2013), a área de alguns dos aeroportos mais movimentados do Brasil pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1- Dimensões de alguns aeroportos do Brasil

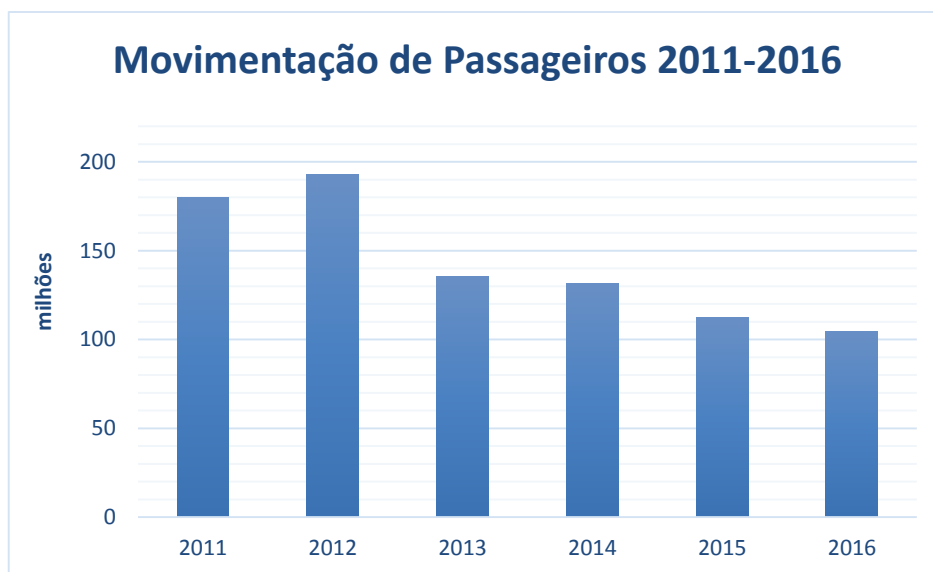
<b>Aeroporto</b>	<b>Dimensões do sítio (m<sup>2</sup>)</b>
São Paulo (Guarulhos)	13.774.086,00
São Paulo (Congonhas)	1.626.516,98
Rio de Janeiro (Galeão)	17.881.696,63
Brasília (Juscelino Kubitschek)	28.995.153,00
Manaus (Eduardo Gomes)	14.050.529,01
Salvador	10.573.286,90
Porto Alegre	3.805.810,04

Fonte: Adaptado de Infraero (2013).

Das áreas totais apresentadas no Quadro 1, existem áreas desocupadas que podem ser utilizadas para abrigar um ou diversos sistemas de geração de energia através do sol. Podem ser integradas nas coberturas das edificações (terminais de passageiros, hangares, entre outros) ou montados no solo com o auxílio de estruturas de suporte.

Considerando o aspecto ambiental, a instalação de um sistema de geração solar de energia, visível aos passageiros, demonstra um comprometimento com a sustentabilidade e a preocupação com o esgotamento dos recursos naturais. Os terminais brasileiros movimentaram nos últimos 5 anos, milhões de pessoas conforme ilustra a Figura 1 e, segundo dados da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (2014), o Brasil é o 3º maior mercado de tráfego aéreo doméstico do mundo.

Figura 1 – Movimentação de Passageiros de 2011 a 2016



Fonte: Adaptado de Infraero (2017).

Mesmo com a queda na movimentação de passageiros nos últimos 4 anos, os registros anuais superam o valor de 100 milhões. Isso revela que os aeroportos estão no campo de visão dos usuários e suas infraestruturas são amplamente utilizadas. Portanto, iniciativas sustentáveis atingiriam uma grande quantidade de pessoas e podem elevar o valor da marca no mercado de negócios, configurando como uma ferramenta estratégica de grande importância. Segundo Lopes e Pacagnan (2014), o marketing verde é determinante para melhoria na imagem e reputação da empresa.

Outro benefício a se destacar é a redução de emissão de poluentes oriundos de outras formas de geração de energia, que é evitada quando se utiliza a geração solar de energia elétrica. Conforme a Segunda Comunicação Nacional sobre Emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE, observa-se que, apesar do setor aéreo ter uma contribuição de apenas 0,5% do total das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, o montante de emissões do referido setor tem um crescimento mais crítico nos últimos anos quando comparado a maioria dos outros setores da economia (ANAC, 2014).

Contudo, ao instalar um sistema de geração solar em um sítio aeroportuário é necessário ter cautela e proceder com estudos criteriosos, devendo avaliar a interferência na comunicação e o reflexo da luz solar na visibilidade do piloto e dos controladores do espaço aéreo, entre outros aspectos que serão descritos nas seções posteriores.

## 2.1. ENERGIA SOLAR

O sol é uma fonte de energia primordial e abundante na Terra. Pinho e Galdino (2014) ressaltam que, a radiação solar, além de inesgotável, detém enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outros tipos de energia. Portanto, a geração solar é a geração de energia elétrica através das diversas formas disponíveis como, por exemplo, energia solar fototérmica, arquitetura bioclimática, energia solar fotovoltaica (CRESESB, 2006).

O Brasil é um país situado na sua maior parte na região inter-tropical e detém grande potencial de energia solar durante todo o período do ano. Possui alto índice médio diário de radiação solar, chegando a mais de 5kWh/m<sup>2</sup> por dia em algumas regiões (ANEEL, 2005). O Rio de Janeiro, segundo Zilles et al. (2012), apresenta uma disponibilidade anual de 1.758 kWh/m<sup>2</sup> ou diária de 4,82 kWh/m<sup>2</sup>, aproximadamente.

A região menos ensolarada do Brasil recebe um índice de radiação solar 40% maior do que a região mais ensolarada da Alemanha, que é um dos países líderes no uso de energia solar no mundo.

Os fatores básicos que afetam a tomada de decisão da instalação de um sistema de geração solar são os fatores climáticos (irradiação solar, ventos, tempestades de granizo, neve, entre outros), a viabilidade financeira considerando o tipo de geração solar, a quantidade de energia utilizada e a área disponível para a instalação.

## 2.2. TIPOS DE GERAÇÃO SOLAR

Ao se avaliar a implantação de geração solar de energia elétrica em aeroportos deve-se primeiramente selecionar a melhor tecnologia que reúna os melhores benefícios e não interfira de modo significativo na operação e segurança da aviação civil.

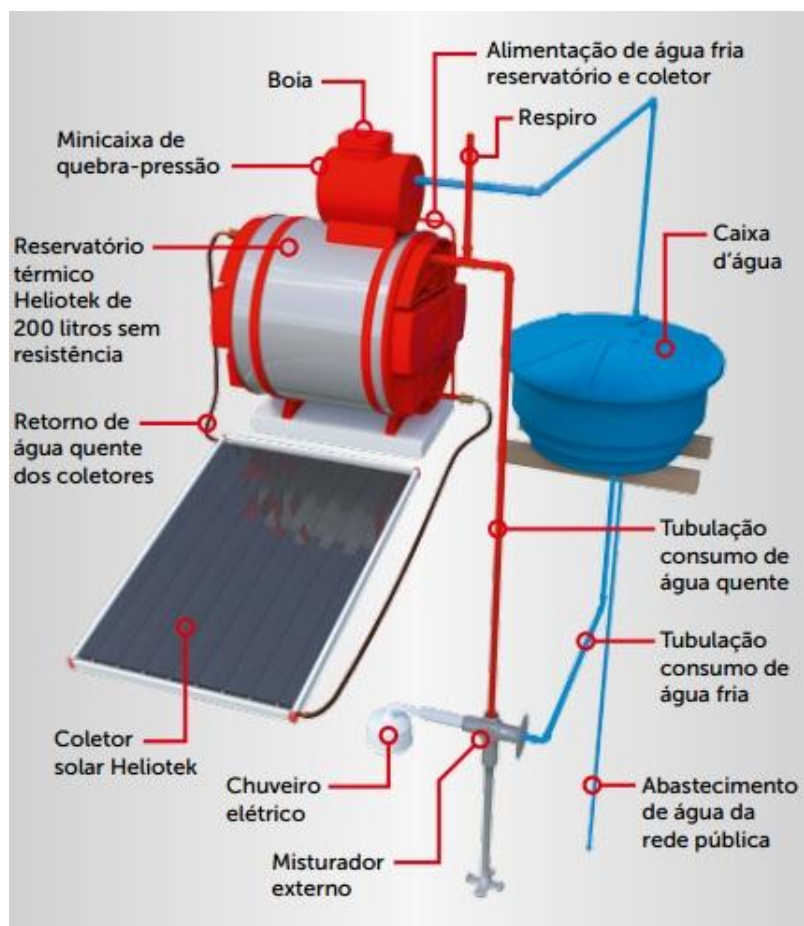
Serão analisados quatro tipos de tecnologias de geração de energia através do sol: sistemas de aquecimento solar de água, sistemas de concentrador solar, paredes solares e sistemas fotovoltaicos.



### 2.2.1. Sistema de Aquecimento Solar de Água

O aquecimento solar é um sistema convencional que produz água quente expondo a água ao calor do sol ou aquecendo-a através de um fluido que percorre um sistema fechado. Conforme destaca Marques (2006), o sistema de aquecimento solar utiliza como fonte térmica a radiação solar e, em casos de ausência de tal radiação durante longos períodos (ou para complementar o aquecimento), utiliza-se um sistema elétrico auxiliar.

Figura 2 – Exemplo de um sistema de aquecimento solar de água



Fonte: Heliotek (2013).

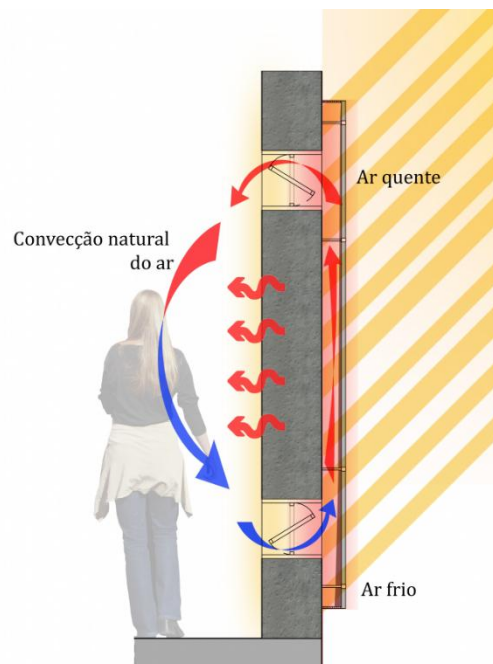
Os sistemas de aquecimento solar são bem difundidos em residências para reduzir a dependência dos chuveiros elétricos e, conseqüentemente, aliviar a malha energética brasileira. Contudo, não há uma demanda considerável por água quente nos aeroportos brasileiros. Um aspecto negativo é que o sistema de aquecimento solar, quando utilizado para atender grandes

demandas, surgem dificuldades na geração em altas potências em razão da enorme dimensão dos painéis necessários para este fim.

### 2.2.2. Parede Trombe

A parede trombe é um dispositivo que pode ser utilizado tanto para aquecimento como no resfriamento de interiores das edificações. Como o estudo é sobre a radiação solar, será enfatizado a sua aplicação no aquecimento. O princípio da parede trombe é o aproveitamento da radiação solar que incide sobre uma estrutura de grande inércia térmica, semelhante a uma pequena estufa no qual o ar no exterior é aquecido e adentra a edificação. Conforme ressalta Cavalcanti (2013), a configuração de uma parede trombe para aquecimento apresenta duas estratégias, pois além de permitir o aquecimento do interior de ambientes, possibilita a renovação do ar. Na Figura 3 é apresentada uma parede trombe.

Figura 3 – Parede trombe para aquecimentos de interiores



Fonte: Figuerola (2016).

A parede trombe é indicada para locais de climas com grande variação de temperatura diária. Possuem tipologia para algumas edificações existentes em aeroportos como, por

exemplo, hangares. Contudo, sua utilização em aeroportos não é muito difundida por existir tecnologias com maiores rendimentos.

### 2.2.3. Sistema de Concentrador Solar

Os sistemas de concentrador solar utilizam grandes quantidades de superfícies parabólicas e reflexivas no intuito de direcionar a energia solar para um único ponto, produzindo assim um intenso calor, que possibilita a conversão em eletricidade.

Quando se discute o sistema de concentrador solar, dois métodos são mais comumente utilizados na conversão da energia térmica em elétrica. Um dos sistemas utilizam concentradores parabólicos no aquecimento de água para produzir vapor. Um outro tipo de sistema são superfícies reflexivas e uma torre central de energia que transfere calor para um fluido para gerar vapor. Em ambos os casos, o vapor é utilizado para movimentar turbinas realizando assim a conversão em energia elétrica. Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os tipos de concentradores solares descritos anteriormente. Um benefício primordial do sistema de concentrador solar é que os fluidos aquecidos podem ser armazenados para gerar energia mesmo com radiação solar baixa (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 4 – Concentrador Parabólico



Fonte: Sebastián (2015).

Figura 5 – Concentrador Solar e Torre Central



Fonte: McKenna (2013).

Contudo, os sistemas de concentradores solares apresentam características que podem não ser compatíveis para utilização em aeroportos: a reflexão causada pela superfície dos concentradores pode ocasionar ofuscação dos pilotos e equipe de controle de tráfego na torre de controle, interferência física do espaço aéreo devido à altura da torre central; interferência eletromagnética no sistema de radar, nos instrumentos de auxílio nos procedimentos de pouso e decolagem (TRANSPORT CANADA, 2013).

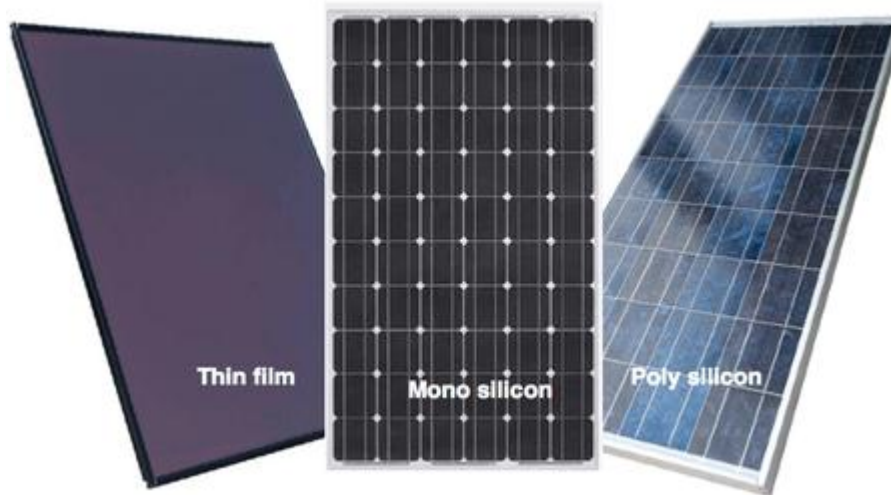
#### **2.2.4. Sistemas Fotovoltaicos**

Um sistema fotovoltaico de geração de energia converte a energia da radiação solar em energia elétrica. Seu principal componente são os módulos fotovoltaicos que são compostas por inúmeras células fotovoltaicas que são responsáveis em fazer a conversão da radiação solar em energia elétrica. Podem ser em grandes quantidades e conectados em série e em paralelo (ZILLES et al. 2012).

Os materiais mais empregados em módulos fotovoltaicos atualmente é o silício e podem ser do tipo monocristalino ou policristalino. São considerados com eficiência significativa na conversão da radiação solar em energia elétrica, bem difundidos e consolidados no mercado (PINHO E GALDINO, 2014). Os autores destacam também que os painéis de silício cristalino representam 85% do mercado de módulos fotovoltaicos. Módulos monocristalinos são feitos com grandes cristais de silício, tem um valor agregado mais elevado, porém são mais eficientes. Os módulos policristalinos são construídos com diversos cristais menores de silício e são mais comumente encontrados nas aplicações de sistemas fotovoltaicos ao redor do mundo.

Um outro tipo de módulos fotovoltaicos é conhecido, comercialmente, como filme fino que, segundo Pinho e Galdino (2014), são “divididos em diversas cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe)”. Tem como vantagem sobre os módulos de silício, menor peso, maior flexibilidade e reduzida perda de eficiência em temperaturas mais elevadas. As desvantagens se apresentam como: menor eficiência, dificuldade na disponibilidade dos materiais, reduzida vida útil e processo construtivo realizado com materiais tóxicos. A Figura 6 apresenta os tipos de módulos descritos anteriormente.

Figura 6 – Módulos de filme fino, monocristalino e policristalino



Fonte: Exsolar (2017).

Além dos módulos fotovoltaicos, existem outros componentes que integram o sistema, permitindo seu pleno funcionamento. O inversor é um equipamento fundamental visto que a energia elétrica produzida pelos módulos é em corrente contínua (CC) e, caso seja necessário, para a conversão em corrente alternada (CA) é utilizado tal dispositivo.

Dispositivos de interrupção de energia também são utilizados nos condutores CC e CA para possibilitar a interrupção em caso de necessidade de manutenção da linha pela concessionária de energia elétrica. Dispositivos de proteção são instalados para resguardar o sistema contra curtos-circuitos e sobretensão.

Os sistemas fotovoltaicos são comumente classificados em duas categorias principais: conectados à rede (*grid-tie*) ou isolados (*off grid*). Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são aqueles no qual a energia produzida é transferida diretamente na rede e devem atender os padrões normativos da concessionária local que, no Brasil, é regulamentado pela Resolução

Normativa ANEEL nº 482/2012. Nos sistemas isolados não há conexão com a rede elétrica da concessionária e, portanto, necessita de algum dispositivo de armazenamento para transferir energia quando não houver irradiação solar. Atualmente, as baterias se apresentam como método de armazenamento de energia comumente utilizado ao redor do mundo (ANDRADE, 2017).

No método de compensação de energia, inerente aos sistemas conectados à rede, são utilizados medidores eletrônicos que contabilizam a quantidade de energia transferida pela instalação à rede de energia. Com a geração de energia, os consumidores próximos aos locais de geração podem ser atendidos com a energia excedente, evitando o investimento em infraestrutura na rede (BENEDITO, 2009).

Contudo, como aeroportos são grandes consumidores, a energia gerada frequentemente é utilizada em sua totalidade no próprio local, não sendo injetada nenhuma parcela na rede da concessionária.

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos estão mais difundidos em aplicações em sítios aeroportuários quando comparada as outras alternativas de geração solar. Em termos de geração de energia elétrica, quando comparado ao sistema de concentrador solar, os sistemas fotovoltaicos possuem uma capacidade superior de atendimento a qualquer tipo de demanda, podendo ser instalados integrado às edificações ou montadas em estruturas no solo. O sistema fotovoltaico tem característica de absorver a luz solar (ao invés de refletir, como o concentrador solar), diminuindo assim o impacto da reflexão da luz (ASSUNÇÃO, 2014).

### 2.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A conversão da radiação luminosa em eletricidade é feita pelos materiais semicondutores presentes nos módulos fotovoltaicos. Tais semicondutores absorvem a energia da incidência do sol contidas nos fótons, transferindo uma parcela para os elétrons, que adquirem energia suficiente para se movimentarem em um circuito externo, gerando assim energia elétrica diretamente através do efeito fotovoltaico. Zilles et al. (2012) destaca que o fenômeno fotovoltaico surgiu a partir do desenvolvimento da teoria da mecânica quântica, que não será objeto de estudo do presente trabalho.

A capacidade de conversão do módulo (ou o valor da máxima potência), bem como seus parâmetros elétricos, são determinados por testes em condições padronizadas realizados em laboratório. As condições padrão de teste (ou condições de referência) são definidas para os

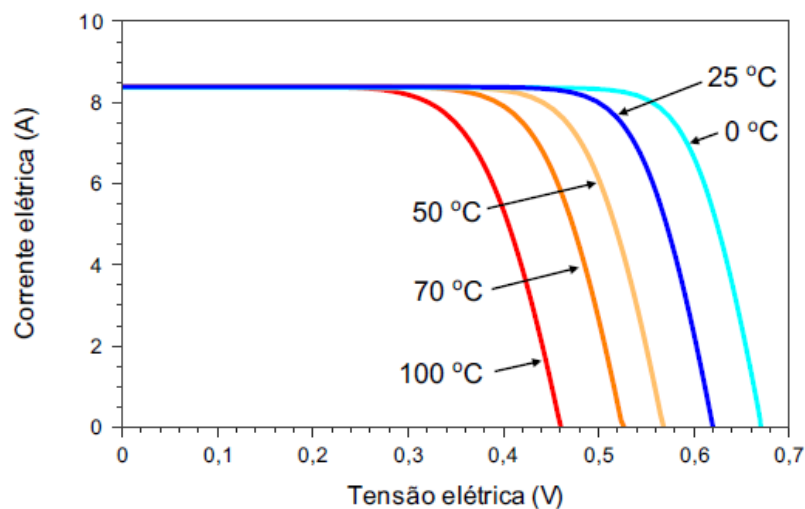
valores de  $1.000 \text{ W/m}^2$  de irradiância,  $25^\circ\text{C}$  de temperatura de célula e coeficiente de massa de ar (AM) de 1,5.

A produção de energia depende da capacidade de conversão do módulo, bem como das características do local da instalação, ou seja, condições geográficas, meteorológicas e, principalmente, da incidência solar e sua orientação dos módulos em relação ao sol. Silva et al. (2012) destacaram que a radiação solar que incide em uma superfície varia de acordo com a latitude local, com as condições atmosféricas e posição no tempo (hora e dia, conforme as estações do ano).

Há uma limitação de conversão que é relacionado com a eficiência do módulo fotovoltaico. Conforme ressalta Vivacqua (2016), as células de silício foram criadas inicialmente com 6% da conversão da radiação luminosa em eletricidade, aproximadamente. Atualmente, as células de silício monocristalino atingem 20% de conversão, podendo alcançar patamares maiores que 25% de eficiência em laboratório.

Em uma avaliação da energia gerada pelos módulos é necessário atentar que, ao aumentar a temperatura além do seu valor nominal de referência ( $25^\circ\text{C}$ ), a produção de energia é reduzida. Conforme ressalta Pinho e Galdino (2014), o aumento da irradiância incidente e/ou temperatura ambiente reduz substancialmente a tensão da célula fotovoltaica conforme pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Influência da temperatura em células fotovoltaicas



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

É importante também destacar que os módulos, no decorrer da sua vida útil, vão reduzindo sua eficiência devido ao funcionamento contínuo ao tempo, sujeito as condições



ambientais e climáticas do local de instalação. A degradação de potência dos módulos de silício cristalino instalados em campo é de 0,5% a 1,0% ao ano (PINHO E GALDINO, 2014).

## 2.4. PR EMISSAS E LEGISLAÇÃO

Para proceder com a implantação de um sistema fotovoltaico em aeroportos devem ser analisados diversos quesitos, sendo esses necessários para assegurar que não haverá nenhum impacto sobre a navegabilidade área e o controle do espaço aéreo no sítio aeroportuário e em seu entorno.

### 2.4.1. Plano Diretor dos Aeroportos

A ANAC (2010) define o Plano Diretor de Aeroportos (PDIR) como “o documento elaborado pelo operador do aeródromo, que estabelece planejamento para a expansão da infraestrutura aeroportuária em consonância com a regulamentação de segurança operacional”. O documento é composto de estudos e planejamento (curto, médio e longo prazo) do desenvolvimento do sítio aeroportuário para atender uma demanda futura do transporte aéreo. Portanto, os operadores de aeródromo devem submeter o PDIR para a análise e aprovação da ANAC, conforme Lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005. A aprovação do PDIR é necessária para todos os aeródromos que pretendem receber voos de companhias aéreas, prestando serviços de transporte aéreo regular de pessoas e/ou cargas (ANAC, 2010).

Na instalação de um sistema fotovoltaico de geração de energia, o operador do aeródromo deve se atentar ao PDIR para que não haja interferência futura na expansão do sítio aeroportuário.

### 2.4.2. Disposições das Autoridades de Aviação Civil

A ANAC estabelece regras para a aviação civil através de normativos denominados Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil – RBAC. Especificamente, a RBAC nº 154 de 26 de junho de 2012 - Projeto de aeródromos, que define as regras a serem adotadas no projeto de aeródromos públicos. Na Subparte C do referido regulamento constam as disposições normativas sobre as características físicas de um aeródromo e as delimitações de cada área na



qual interferências não são permitidas, como o posicionamento de objetos fixos e/ou móveis, sendo assim considerados obstáculos às aeronaves.

Em determinadas áreas especificadas no regulamento, o posicionamento de estruturas e determinadas atividades são restritas ou mesmo proibidas como, por exemplo, na Zona Livre de Obstáculos ou *Obstacle Free Zone* (OFZ), Área de Segurança de Fim de Pista ou *Runway End Safety Area* (RESA), entre outras delimitações próximas a pista de pouso e decolagem (PPD). Há também certas delimitações distantes da PPD que também restringem o posicionamento de estruturas.

A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) é a agência especializada das Nações Unidas responsável pela promoção do desenvolvimento seguro e ordenado da aviação civil mundial, por meio do estabelecimento de normas e regulamentos necessários para a segurança, eficiência e regularidade aéreas, bem como para a proteção ambiental da aviação. Conforme Santos e Müller (2014), a OACI estipulou nos aeródromos uma superfície imaginária denominada Superfície de Segmento Visual ou *Visual Segment Surface* (VSS), restringindo qualquer objeto, natural ou artificial, que se estenda acima dessa superfície, tornando-se um obstáculo a aviação. Tais superfícies imaginárias se estendem a partir da pista de pouso e decolagem e refletem a trajetória de voo da aeronave, incluindo procedimentos atípicos que podem ser realizados em determinadas circunstância.

Desta maneira, uma avaliação minuciosa do local de instalação do sistema fotovoltaico deve ser realizada, considerando os regulamentos e recomendações das autoridades da aviação civil, para que o projeto não se inviabilize por constituir um obstáculo, tanto dentro dos limites do aeroporto quanto em seu entorno.

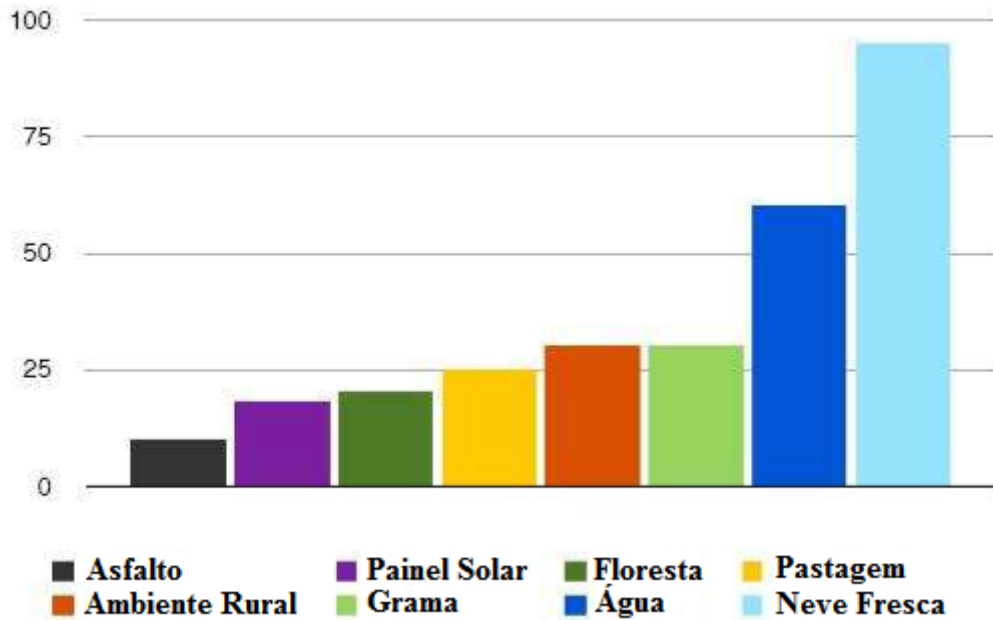
### **2.4.3. Reflexibilidade dos Módulos**

O módulo fotovoltaico tem a característica de absorver a radiação solar, porém uma parcela desta radiação é refletida pelas superfícies dos módulos, inclusive ocasionado perdas no processo de conversão em energia elétrica. Os fabricantes de módulos fotovoltaicos sempre buscam utilizar materiais visando maximizar a absorção e minimizar a reflexão, aumentando o rendimento dos equipamentos (ASSUNÇÃO, 2014).

A reflexão da luz solar pode causar irritação e até mesmo cegueira nos olhos humanos. Devido a tal fato, deve-se avaliar o nível de influência (duração e intensidade) da reflexão dos módulos fotovoltaicos instalados em aeroportos, visando garantir a segurança do voo. A Figura

8 apresenta um comparativo de reflexão da luz incidentes em superfícies geralmente presentes em sítios aeroportuários.

Figura 8 – Comparativo de reflexão da luz em diversas superfícies



Fonte: Solar Choice (2013).

Observa-se que o painel solar possui um índice de reflexão menor que as florestas, grama e água, superfícies bem comuns nos aeroportos brasileiros. O transtorno ocasionado pela reflexão é geralmente reduzido em sistemas fotovoltaicos com módulos fabricados com propriedades anti-reflexivas.

#### 2.4.4. Interferência nos Sistemas de Comunicação

A interferência na comunicação pode ocorrer quando algum outro sistema causa impacto negativo no sistema de radar, nos equipamentos de auxílio ao voo, de controle do espaço aéreo e em outros sistemas de transmissão de dados. Os equipamentos transmissores de sinais devem possuir frequência livre e certificação da Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, quando factível.

Uma avaliação deverá ser realizada ao definir a área de alocação e as especificações do sistema fotovoltaico com o objetivo de identificar se há influência prejudicial nos sinais de telecomunicação e nos sistemas eletrônicos (TRANSPORT CANADA, 2013).

#### **2.4.5. Licenciamento Ambiental**

Assim como qualquer empreendimento, o projeto de implantação de um sistema fotovoltaico de geração de energia deve ser enviado para apreciação da autoridade de meio ambiente federal, estadual e/ou municipal. A instituição irá avaliar qual o impacto gerado pelo empreendimento (solo, fauna, emissão de poluentes, entorno, entre outros aspectos). Após avaliar o projeto, a autoridade de meio ambiente decide pela necessidade de licença (prévia, instalação e operação) ou dispensa do processo de licenciamento. Este trâmite visa minimizar os impactos ambientais da implantação do sistema fotovoltaico.

O sistema fotovoltaico tem características favoráveis em relação às questões ambientais como, por exemplo, a ausência de emissão de gases nocivos e a economicidade de recursos naturais por gerar energia elétrica através da irradiação solar. Além disso, aeroportos são locais de ampla área, grande proporção em campo aberto, com licenciamento vigente junto às autoridades ambientais. Por outro lado, a localização do sistema fotovoltaico pode ocasionar uma possível demanda da autoridade ambiental caso seja necessário a remoção de vegetação, manejo da fauna local ou qualquer outra intervenção similar. No caso específico dos sistemas fotovoltaicos instalados em coberturas, o processo de licenciamento pode ser mais simples visto que há alocação dos equipamentos em edificações já existentes e que, provavelmente, foi submetido a um licenciamento. O processo de licenciamento é sempre necessário quando uma atividade pode ser potencialmente poluidora e danosa ao meio ambiente (IBAMA, 2002).

## **2.5. APLICABILIDADE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS**

Os aeroportos têm como função primordial servir a sociedade e proporcionar transporte aéreo, confiável e seguro, para a população. Qualquer outra atividade exercida no aeroporto deve adequar-se a este objetivo primário. Um sistema fotovoltaico de geração de energia pode ser implementado em qualquer área disponível, livre de interferência na incidência direta da radiação solar sobre os módulos.

Os aeroportos são grandes consumidores de energia e dotados de vastas dimensões, geralmente com áreas sem previsão de utilização para outros fins, propícios para a instalação de sistemas fotovoltaicos. A construção e/ou ampliação de um sistema fotovoltaico é relativamente simples considerando sua característica e associação modular. Contudo, a área disponível é um fator primordial no planejamento da instalação e limita o número de módulos instalados. O Quadro 2 apresenta as potências médias por unidade de área de várias tecnologias de construção dos módulos.

Quadro 2 – Área ocupa por módulos de diferentes tecnologias

Tecnologia	Potência/área (Wp/m <sup>2</sup> )
Si monocristalino - m-Si	150
Si policristalino - p-Si	135
Si amorfo - a-Si	85
Disseleneto de Cobre-Índio (e Gálio) - CI(G)S	100
Telureto de Cádmio - CdTe-	110

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

O Quadro 3 também apresenta a área necessária para cada kWp em módulos, segundo a *European Photovoltaic Industry Association* (2011).

Quadro 3 - Dados dos módulos fotovoltaicos comerciais

Tecnologia	Filme Fino				Silício Cristalino		CPV
	(a-Si)	(CdTe)	CI(G)S	a-Si/ $\mu$ c-Si	Mono	Multi	III-V Multijunção
Eficiência da Célula	4-8%	10-11%	7-12%	7-9%	16-22%	14-18%	30-38%
Eficiência do módulo					13-19%	11-15%	aprox. 25%
Área por kW (por módulo)	aprox. 15m <sup>2</sup>	aprox. 10m <sup>2</sup>	aprox. 10m <sup>2</sup>	aprox. 12m <sup>2</sup>	aprox. 7m <sup>2</sup>	aprox. 8m <sup>2</sup>	-

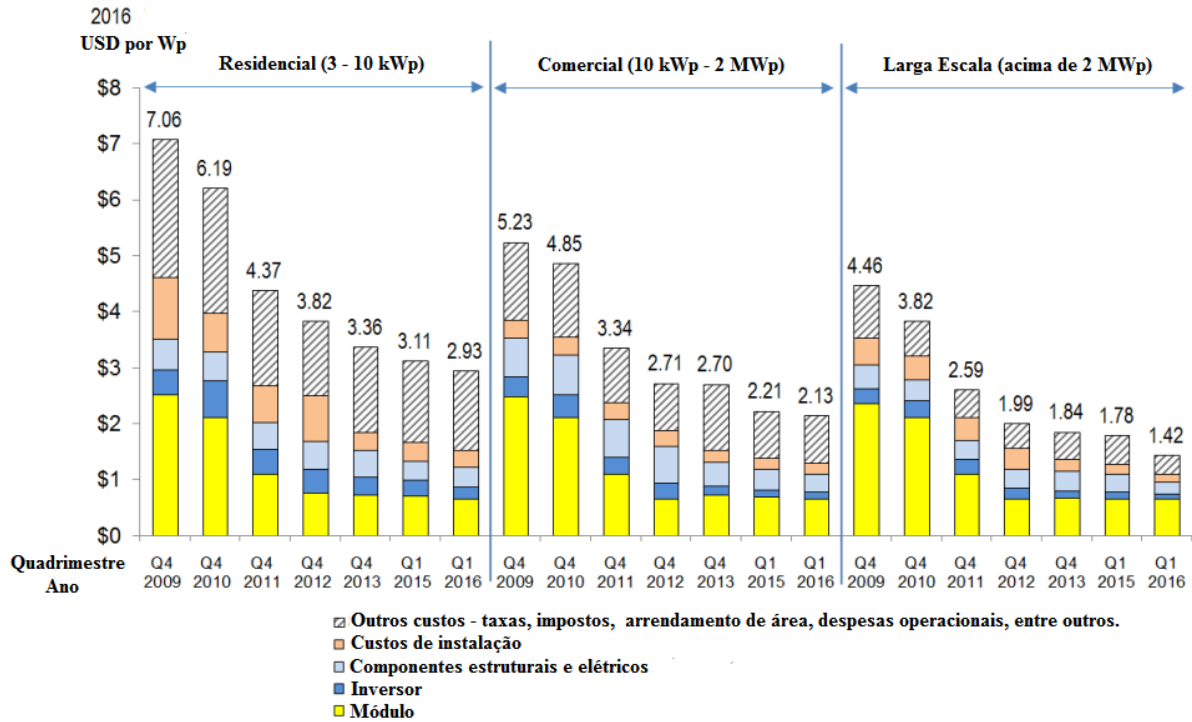
Fonte: Adaptado de EPIA (2011).

Com o objetivo de reduzir os custos do projeto é importante observar a proximidade do sistema fotovoltaico com o ponto de medição de energia, evitando uma excessiva interferência na infraestrutura como perfuração, escavação, cabeamento, entre outras despesas. Quando integrado a um dispositivo de armazenamento de energia, os módulos fotovoltaicos possibilitam o fornecimento de energia em locais remotos, sem necessidade de grandes obras civis e sem interferência na operacionalidade do aeroporto.

Em relação ao custo da energia, ao se comparar o custo da concessionária e do sistema fotovoltaico, deve-se considerar a variação do seu preço ao longo do tempo e demais valores que incidem sobre o custo base. Exemplos de valores incidentes são, entre outros, as bandeiras tarifárias (regulamentado pela Resolução Normativa nº 547, de 16 de abril de 2013), Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), do Imposto sobre a Renda das Pessoas Jurídicas (IRPJ), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS).

A capacidade do sistema para qualquer projeto a ser implementado é determinada pela quantidade desejada de geração de energia elétrica, o recurso disponível para aquisição e a área disponível para a instalação dos equipamentos. O custo total do sistema fotovoltaico depende do porte do empreendimento. A *National Renewable Energy Laboratory* – NREL (2016) segrega os sistemas em três setores: residencial (geralmente em coberturas, de 3 a 10 kW), comercial (também em coberturas integrado as edificações ou no solo, de 10 kW a 2 MW) e o sistema fotovoltaico de larga escala (geralmente no solo, sistemas maiores que 2 MW). Na Figura 9 são apresentados os custos totais dos sistemas entre o ano de 2009 e 2016. Ao utilizar o custo referente ao setor comercial, observa-se o preço de 2,13 USD/Wp ou R\$ 6,75/Wp (considerando a relação de 1 USD = R\$ 3,17). Tal valor inclui módulos, inversores, acessórios, instalação, entre outros custos envolvidos e está próximo ao valor estipulado pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE (2012) de R\$ 6,27/Wp para instalações acima de 30kW.

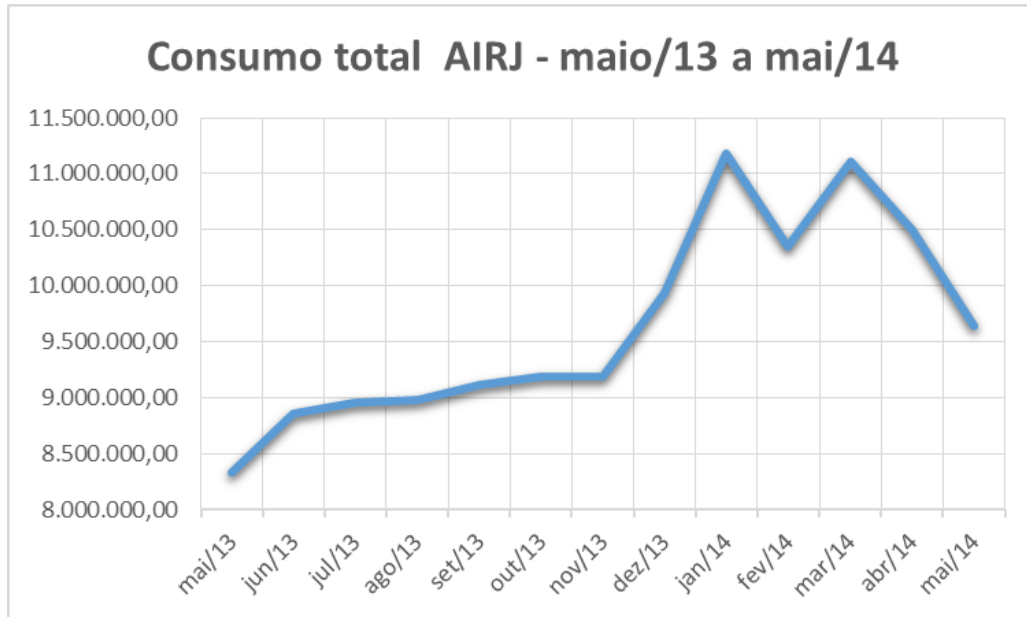
Figura 9 - Custos totais de um sistema fotovoltaico



Fonte: Adaptado de NREL (2016).

O consumo de energia do aeroporto é um fator primordial para a avaliação da capacidade de um sistema fotovoltaico. Aeroportos são grandes consumidores de energia e alguns possuem uma característica sazonal de consumo. O Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão - Antônio Carlos Jobim, por exemplo, possuía um consumo maior de energia no verão devido à alta temporada (aumento de passageiros e cargas) e elevada temperatura, quando comparado as outras estações. O perfil de consumo mensal do referido aeroporto pode ser observado na Figura 10.

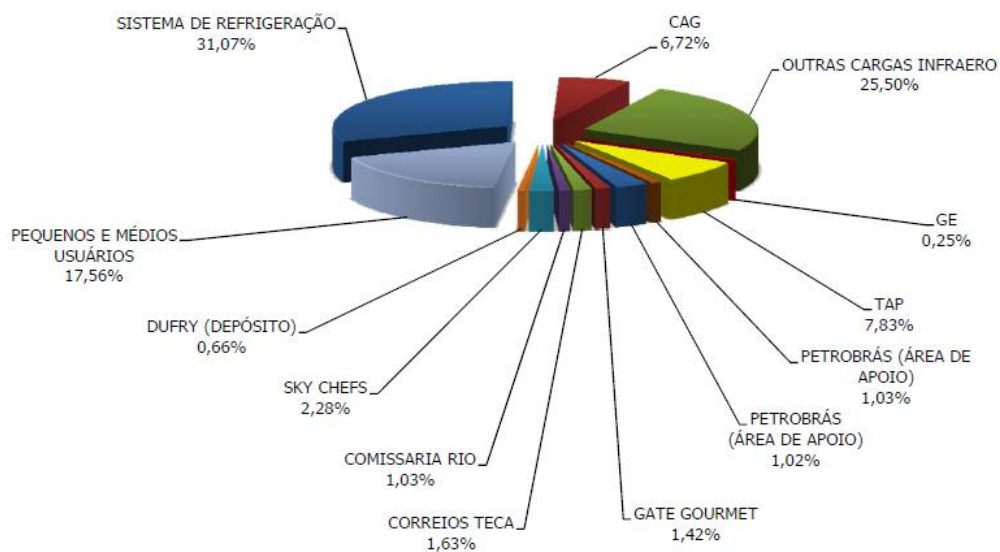
Figura 10 – Consumo total (Ponta e Fora Ponta) de energia em kWh no AIRJ



Fonte: Adaptado de Consórcio MPE/Consbem (2014).

Em 2014, o sistema de refrigeração no referido aeroporto representava, aproximadamente, 31% do consumo total do aeroporto (a maior representatividade) segundo o Consórcio MPE/Consbem (2014). A Figura 11 apresenta o percentual de consumo.

Figura 11 – Percentual de participação no consumo total do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro



Fonte: Consórcio MPE/Consbem (2014).

Como pode ser visto na Figura 11, a central de água gelada (CAG), também responsável pelo condicionamento do ar do aeroporto, tem uma participação de 6,72%. Tais fatores contribuem significativamente para aumento do consumo no verão.

O consumo energético durante os períodos do ano irá auxiliar na seleção da configuração mais adequada do sistema fotovoltaico, pois a energia gerada poderá ser utilizada integralmente no próprio sítio e/ou a energia excedente pode ser comercializada com a concessionária, em um sistema de compensação de energia, conforme Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Inclusive, no art. 2º da referida lei, os créditos gerados pela energia excedente poderão ser utilizados em outro local, contudo a unidade consumidora beneficiada deverá ser associada ao mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) ou Cadastro de Pessoa Física (CPF) responsável pelo sistema fotovoltaico que gerou os créditos excedentes.

Portanto, o perfil energético do sítio aeroportuário deve ser analisado para adequar o sistema fotovoltaico no atendimento exclusivo de cada aeroporto. O operador aeroportuário tem como responsabilidade garantir a compatibilidade do uso do solo com atividades que não prejudiquem a aviação. O local de instalação deve ser minuciosamente escolhido, pois as estruturas de apoio e suporte dos módulos podem impactar diretamente no custo do projeto, inviabilizando a instalação do sistema fotovoltaico.

Os módulos fotovoltaicos podem ser dispostos no solo ou em coberturas nos sítios aeroportuários. Nos aeroportos, os locais mais comuns e possíveis de alocar um sistema fotovoltaico são: terminais de passageiro, terminais de carga, hangares, edifícios administrativos, estacionamentos, eixo viário, áreas gramadas, entre outros. Aeroportos distantes dos centros urbanos geralmente são mais vastos em áreas livres para abrigar um sistema fotovoltaico.

### **2.5.1. Instalação de Sistemas Fotovoltaicos em Coberturas**

As coberturas de edificações são locais propícios para a instalação de módulos fotovoltaicos por apresentar área, geralmente, livre de obstáculos para a incidência solar direta e com estruturas que auxiliam a fixação dos equipamentos, reduzindo os custos de instalação. As instalações em cobertura recebem sistemas de pequeno e médio porte, pois são locais de área limitada e, também, são locais selecionados quando o aeroporto não possui área livre disponível ou quando o porte do projeto não é significativamente grande. Para este tipo de instalação, é necessário certificar que a estrutura seja capaz de sustentar a carga adicional dos



módulos, avaliar se a fixação suporta a incidência dos ventos e do *jet blast* (fenômeno da forte movimentação do ar produzida pelos motores de aeronaves a jato, particularmente, nos procedimentos de pouso e decolagem). O *Jet Blast*, segundo Silva (2012), pode causar danos as estruturas e impactar a erosão do solo devido à pressão e vibração oriunda da movimentação do ar. As edificações, por possuírem infraestrutura elétrica, tem custos reduzidos para uma eventual conexão com a rede de energia local.

Cada tipo de cobertura deve ser tratado de forma exclusiva. O conector do Aeroporto Santos Dumont, por exemplo, estrutura que fornece acesso as pontes de embarque (Figura 12), é construído em vidro. Tal estrutura pode não suportar uma carga considerável de uma grande quantidade de módulos fotovoltaicos. Módulos de filme fino, apesar da reduzida eficiência, apresentam como uma alternativa para tais estruturas, considerando que são equipamentos leves em relação aos módulos de silício cristalino.

Figura 12 – Conector do Aeroporto Santos Dumont



Fonte: Figueiredo Ferraz (2008).

Além do tipo de estrutura, a forma geométrica também deve ser avaliada, pois determina a necessidade de suporte para a instalação dos módulos.

A Figura 13 apresenta um exemplo de uma instalação fotovoltaica em uma cobertura. O projeto piloto de 540 Wp (4 módulos de 135 Wp) foi instalado no telhado de uma edificação no Aeroporto de Jacarepaguá na cidade do Rio de Janeiro.

Figura 13 – Sistema fotovoltaico piloto instalado em cobertura no Aeroporto de Jacarepaguá no Rio de Janeiro



Fonte: Elaborado pelo autor.

A cobertura é de telha de fibrocimento e nela foram fixadas estruturas metálicas para apoio aos módulos fotovoltaicos.

### **2.5.2. Instalação de Sistemas Fotovoltaicos no Solo**

Os módulos fotovoltaicos instalados no solo, geralmente uniforme e em grandes dimensões nos aeroportos, tem algumas características distintas das instalações em coberturas. As instalações em solo são mais adequadas quando o sistema fotovoltaico é de grande porte. Previamente, deve ser realizado um estudo técnico do solo através de procedimentos específicos como, por exemplo, sondagens. Tais avaliações são necessárias para verificar o tipo de estrutura e de fundação que será utilizada para sustentar os módulos.

Algumas instalações fotovoltaicas são dotadas de sistema de seguimento solar que, segundo Cortez (2013), é um sistema que tem como objetivo garantir que os módulos fotovoltaicos estejam alinhados na posição mais favorável para captar o máximo de radiação possível. Quando o arranjo fotovoltaico instalado no solo, possui o sistema de seguimento solar, deve-se atentar a estabilidade do solo para não interferir no alinhamento dos módulos. A tecnologia de seguimento solar eleva o custo de aquisição e a necessidade de manutenção do sistema, portanto sua utilização deve ser avaliada no momento da aquisição do sistema fotovoltaico.

Em áreas específicas no aeroporto, geralmente próximas as pistas de pouso e decolagem e no trajeto da aeronave, deve-se atentar ao posicionamento de estruturas para que o sistema fotovoltaico não se torne um obstáculo, apresentando riscos para a aviação (ver detalhes na

seção 2.4.2 – Disposições das Autoridades da Aviação Civil). A Figura 14 apresenta um exemplo de sistema fotovoltaico instalado no solo.

Figura 14 – Sistema fotovoltaico piloto instalado no solo no Aeroporto do Galeão – RJ



Fonte: Elaborado pelo autor.

A capacidade deste sistema fotovoltaico é de 2,88 kWp (12 módulos de 240 Wp) e foi instalado no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão - Antônio Carlos Jobim. Os módulos foram posicionados na entrada do estacionamento do Terminal de Passageiro (TPS).

### **2.5.3. Outras aplicações de Energia Fotovoltaica em Aeroportos**

A utilização do efeito fotovoltaico não é limitada aos sistemas convencionais de geração solar de energia elétrica. Podem ser utilizados equipamentos desenvolvidos para utilização exclusiva em aeroportos como, por exemplos, nos sistemas de balizamento luminoso, atendendo normas e legislações pertinentes à aviação civil.

O Sistema de Balizamento Luminoso é o conjunto de luzes de borda e de eixo de pista, luzes de final de pista, luzes de cabeceira de pista, luzes de zona de contato e demais luzes destinadas a prestar auxílio visual aos pilotos de aeronaves. Tais conjuntos de iluminação constituem um sistema integrado de controle capaz de operar os auxílios à navegação aérea do aeródromo, conforme as regras definidas pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI).

A Figura 15 apresenta um equipamento específico utilizado na iluminação da borda de pista de táxi, também conhecido em inglês como “*taxiway*”, no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão - Antônio Carlos Jobim.



Figura 15 – Equipamento fotovoltaico de sistema de balizamento luminoso de pista de táxi



Fonte: Elaborado pelo autor.

O referido equipamento é composto de células fotovoltaicas compactas, de alta eficiência, possui reduzida necessidade de manutenção, acionamento remoto, bateria de longa duração, controle automático de luminosidade, sistema de seguimento solar, entre outras funcionalidades. Aplicações incluem: balizamento de *taxiways*, iluminação de emergência para aeródromos, balizamento de helipontos, iluminação de barricada para reforma, construção de pistas e iluminação de obstrução.

Uma imagem de satélite da pista de táxi na qual foi instalado tais equipamentos é mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Local de instalação do balizamento solar no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro



Fonte: Google Earth

Para um empreendimento novo, o equipamento se apresenta como uma ótima alternativa devido a sua facilidade de instalação, independente de cabeamento, infraestrutura elétrica, fornecimento de energia da concessionária local e obra civil.

Outra aplicação de energia fotovoltaica são os postes autônomos de iluminação constituídos de um ou mais módulos fotovoltaicos, de forma a fornecer energia apenas para as lâmpadas instaladas no próprio poste, como pode ser observado na Figura 17. Esses são utilizados também em rodovias, supermercados, *shopping centers*, entre outros.

Figura 17 – Poste autônomo de energia no estacionamento do Aeroporto Santos Dumont



Fonte: Elaborado pelo autor.

São isolados da rede elétrica e as cargas são alimentadas no período noturno por uma bateria acoplada, carregada durante o dia, no período de irradiação solar.

## 2.6. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS NO MUNDO

A utilização de espaços ociosos para implantação de sistemas fotovoltaicos em aeroportos já é uma realidade mundo afora. A seguir, são apresentados alguns casos de sucesso da instalação destes sistemas em aeroportos.

### *Aeroporto Internacional de Indianápolis (EUA)*

O sistema fotovoltaico do Aeroporto Internacional de Indianápolis, localizado nos Estados Unidos, possui a quantia de 41 mil módulos que, segundo Mack (2014), possuem capacidade de atender aproximadamente 1.400 residências americanas por ano. A fazenda solar ocupa uma área de 3.267.000 m<sup>2</sup> conforme pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Módulos instalados no Aeroporto Internacional de Indianapólis nos Estados Unidos.



Fonte: Energy, Technology & Policy (2013).

### *Aeroporto Internacional de Düsseldorf (Alemanha)*

O Aeroporto Internacional de *Düsseldorf*, na Alemanha, implantou uma usina fotovoltaica de 8.400 módulos com capacidade de gerar 2 MW de energia por ano, capaz de abastecer 600 residências com 4 pessoas na cidade de *Düsseldorf* (PERRY, 2011).

Figura 19 – Módulos instalados no Aeroporto Internacional de *Dusseldorf*, na Alemanha.



Fonte: Perry (2017).



### Aeroporto de *Thunder Bay* (Canadá)

O Aeroporto de *Thunder Bay*, no Canadá, implementou a instalação de 36.660 módulos que, segundo Naoumov (2012), é capaz de gerar energia renovável para atender 15.000 residências em 20 anos e evitar a emissão de 7.500 toneladas de carbono por ano.

Figura 20 – Módulos instalados no Aeroporto de *Thunder Bay*, no Canadá



Fonte: Parkinson (2013).

### Aeroporto Internacional de *Denver* (EUA)

Conforme ressalta Proctor (2014), o Aeroporto Internacional de *Denver*, ou *Denver International Airport*, possui quatro sistemas fotovoltaicos que totalizam 42.358 módulos espalhados por 222.577 m<sup>2</sup> de área. Tais sistemas podem gerar energia para atender a demanda de, aproximadamente, 2.600 casas típicas de *Denver* por ano e, também, evitam a emissão de 11.465 toneladas de gases de efeito estufa no mesmo período.

Figura 21 – Painéis instalados no Aeroporto Internacional de *Denver*, nos Estados Unidos



Fonte: U.S. Department of Energy (2015).

### *Aeroporto Internacional de Cibao (República Dominicana)*

O Aeroporto Internacional de *Cibao*, na República Dominicana, é equipado com um sistema fotovoltaico constituído de 5.880 módulos que, segundo Hall (2013), geram 193.000 kWh por mês, correspondendo a metade da demanda energética do Aeroporto.

Figura 22 – Painéis instalados no Aeroporto Internacional de *Cibao*, na República Dominicana



Fonte: Business Wire (2013).

### *Aeroporto Internacional de Cochin (Índia)*

Conforme destaca Menon (2015), após instalar um projeto piloto de 400 módulos fotovoltaicos em uma cobertura, o Aeroporto Internacional de *Cochin*, na Índia, implantou uma usina de 46.150 módulos em uma área de 182.109 m<sup>2</sup> próximo ao terminal de carga, tornando-se em 2015, o primeiro aeroporto no mundo funcionando completamente através de energia solar, sendo, portanto, autossuficiente em energia.



Figura 23 - Painéis instalados no Aeroporto Internacional de *Cochin*, na Índia



Fonte: Menon (2015).

### 3. MATERIAIS E METODOLOGIA

No presente trabalho é adotado a metodologia quantitativa e qualitativa que segundo Zanella (2009) são pesquisas complementares, podendo ser utilizadas em conjunto. Será apresentado também um estudo de viabilidade econômica para um sistema solar de geração de energia no Aeroporto de Macaé.

Deverá ser avaliada também a área disponível, no solo ou em cobertura de edificações, para a instalação dos equipamentos de geração de energia elétrica.

#### 3.1. PLANEJAMENTO SEQUENCIAL

Este trabalho será desenvolvido seguindo um planejamento sequencial de atividades conforme descrito abaixo:

**1. Definição do local:** nessa etapa foi definido o local do estudo como sendo o Aeroporto de Macaé. Após definido o local, caracterizou-se o Aeroporto de Macaé no intuito de apresentar as particularidades do empreendimento. Foram selecionadas 3 (três) unidades consumidoras situadas na área patrimonial do sítio aeroportuário, bem como as características técnicas da infraestrutura.

**2. Levantamento do consumo:** após definição do local e das unidades consumidoras a serem estudadas, foi realizado um levantamento do consumo de cada instalação, através das faturas de energia elétrica da concessionária, durante o período de 12 meses, o valor da tarifa (R\$/kWh) e o custo total mensal (R\$) das unidades consumidoras em estudo.

**3. Definição dos parâmetros dos sistemas:** nessa etapa foi estabelecido a potência individual dos painéis a serem utilizados, o tipo de material empregado nos painéis, a energia gerada, a potência total do sistema, a quantidade de painéis fotovoltaicos, a área necessária para a instalação do sistema e o custo total de implantação (módulo, inversor, componentes estruturais, componentes elétricos, instalação, entre outros).

**4. Análise de viabilidade econômica:** por fim, com todos os dados anteriores, foi realizado um estudo de viabilidade econômica com base no Valor Presente Líquido (VPL) e Tempo de Retorno do Investido (TRI).

## 3.2. AEROPORTO DE MACAÉ

Para a análise de viabilidade econômica proposta neste trabalho foi utilizado o Aeroporto de Macaé. Maiores detalhes serão apresentados nas seções a seguir.

### 3.2.1. Premissas

Para proceder com um estudo de caso, algumas premissas deverão ser consideradas, como: intensidade de irradiação solar do local, energia total produzida, quantidade de painéis fotovoltaicos necessários, a porcentagem do consumo que este sistema atenderia, o custo de implantação do sistema e o critério de avaliação econômica.

O estudo de caso será realizado para o Aeroporto de Macaé. A unidade consumidora principal do Aeroporto de Macaé registra uma variação da tarifa de consumo de energia de 154% (comparação entre outubro de 2010 e julho de 2017), sem considerar a incidência da bandeira tarifária.

Devido ao perfil energético das unidades, será avaliado a alternativa de fornecimento integral do consumo médio das faturas de junho/2016 a maio/2017, com a configuração do sistema fotovoltaico conectado à rede “*grid-tie*” com possibilidade de compensação de energia, conforme Resolução Normativa nº 482/2012. Portanto, a energia excedente injetada na rede pode ser utilizada, em consumo posteriores, como crédito em até 60 meses, em concordância com a Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. É importante destacar que haverá necessidade de adequação do sistema convencional de medição para o sistema de compensação de energia elétrica.

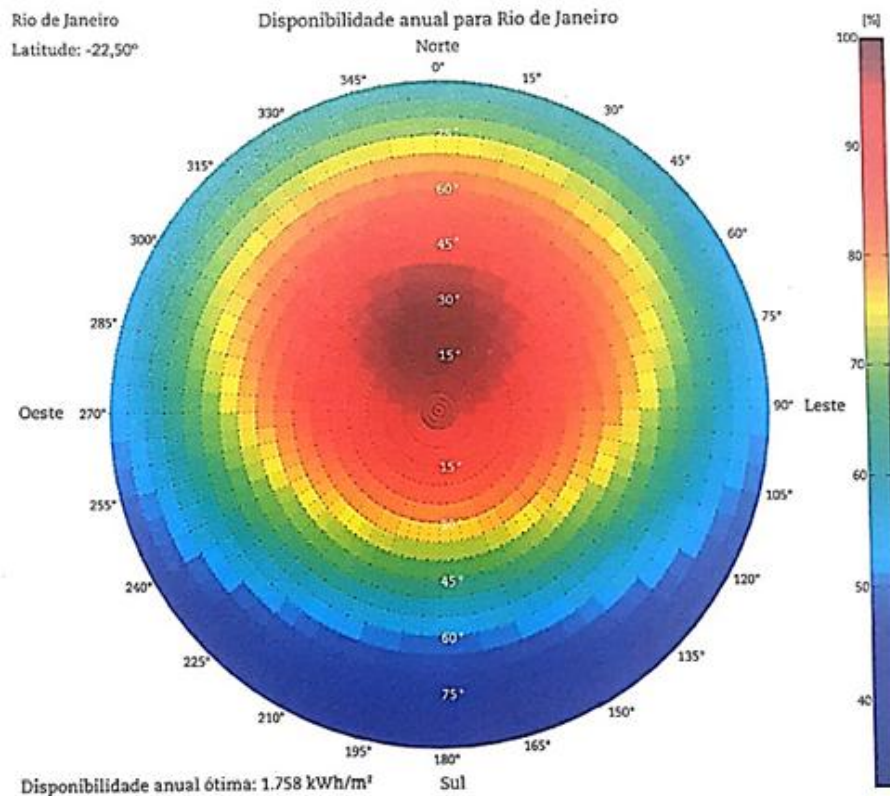
O Rio de Janeiro possui, conforme destacado por Zilles et al. (2012), uma disponibilidade anual ótima de 1.758 kWh/m<sup>2</sup> em uma inclinação de 20° com o plano horizontal e orientação para o norte, como pode ser observado no Quadro 4 e na Figura 24.

Quadro 4 - Relação de perdas de captação solar (sobre o valor máximo teórico) em função da orientação ( $\gamma$ ) e inclinação ( $\beta$ ) do gerador fotovoltaico para a cidade do Rio de Janeiro

FATORES DE CORREÇÃO SEGUNDO UMA INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DADAS (Disponibilidade anual ótima = 1.758 kWh/m <sup>2</sup> )										
$\gamma \backslash \beta$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	0,962	0,991	1,000	0,988	0,956	0,903	0,834	0,749	0,652	0,549
±25°	0,962	0,988	0,993	0,978	0,944	0,891	0,823	0,740	0,649	0,553
±50°	0,962	0,980	0,978	0,958	0,920	0,866	0,798	0,720	0,635	0,549
±90°	0,962	0,952	0,925	0,884	0,832	0,770	0,703	0,633	0,562	0,493

Fonte: adaptado de Zilles et al. (2012).

Figura 24 - Porcentagem de captação solar em função da orientação ( $\gamma$ ) e inclinação ( $\beta$ ) para a cidade do Rio de Janeiro



Fonte: Zilles et al. (2012).

Em relação a ocupação de área considerando a quantidade de painéis, pode-se adotar que para cada m<sup>2</sup> é possível instalar um módulo de 135Wp, conforme Quadro 2 (PINHO e GALDINO, 2014). Em um cenário mais conservador pode ser utilizado uma área maior em função das sombras e da necessidade de espaçamento entre os módulos (ZILLES et al. 2012). O autor também projeta que para cada kWp são gerados mensalmente 137 kWh de energia.

Será adotado o custo referente a uma instalação comercial, com o preço de 2,13 USD/Wp ou R\$ 6,75/Wp (considerando a relação de 1 USD = R\$ 3,17), conforme Figura 9.

Os critérios que norteiam a escolha de implantação do sistema fotovoltaico considerando a atratividade econômica são:

- a) critérios econômicos, vinculados à rentabilidade do investimento ou redução de despesas;
- b) critérios financeiros, ligados à disponibilidade de recursos, e
- c) critérios imponderáveis, associados a fatores não conversíveis em valores monetários como, por exemplo, o marketing verde.

Os critérios adotados foram o Valor Presente Líquido (VPL) e o “*payback*” ou Tempo de Retorno do Investimento - TRI (considerando a como Taxa Mínima de Atratividade, a taxa SELIC de abril de 2017, no valor mensal de 0,79%).

É preciso ressaltar que a instalação de uma usina fotovoltaica com grande capacidade enquadraria a Infraero como autoprodutor de energia e, neste cenário, há uma gama de alterações e adequações que devem ser feitas para viabilizar o sistema. Os custos para estas alterações não estão previstas neste estudo.

A proposição e a implementação de projetos de implantação de energias alternativas vão ao encontro da missão da Infraero: “oferecer soluções aeroportuárias inovadoras e sustentáveis aproximando pessoas e negócios”.

### **3.2.2. Caracterização do Empreendimento**

Para um melhor entendimento do trabalho foi caracterizado o empreendimento que será tema deste trabalho conforme segue dados:

Nome oficial: Aeroporto de Macaé

Código da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI): SBME

Tipo de Uso: Público - Doméstico

Localidade principal servida pelo aeródromo: Macaé/RJ

Distância e direção a partir do centro da localidade (km): 10

Horário de funcionamento: 24 horas

Coordenadas geográficas: S 22° 20' 34" / W 041° 45' 50"

Altitude (m): 2

Temperatura de referência (°C): 30

A Figura 25 apresenta uma imagem de satélite do sítio do Aeroporto de Macaé, localizada na Região Metropolitana do Norte Fluminense e Região dos Lagos, no estado do Rio de Janeiro. A referida figura também apresenta o local sugerido para a instalação dos 3 (três) sistemas fotovoltaicos bem como a área que recebe o ramal de entradas das três unidades consumidoras.

Figura 25 – Imagem de satélite do Aeroporto de Macaé



Fonte: Google Earth.

O Aeroporto de Macaé, segundo a Infraero (2017) possui área de 480 mil m<sup>2</sup>, sendo 78.900 m<sup>2</sup> destinados à Pátio de Aeronaves. O Terminal de Passageiros - TPS tem atualmente área de 539,57 m<sup>2</sup>, com capacidade para movimentar 200 mil passageiros por ano. A Figura 26 apresenta uma aproximação do local sugerido de instalação e apresenta o formato da alocação dos sistemas fotovoltaicos.



Figura 26 – Aproximação da área sugerida para instalação dos sistemas fotovoltaicos



Fonte: Google Earth.

### 3.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico possui diversas configurações. Nesta seção será proposto um arranjo de um sistema fotovoltaico (módulos, inversor, estruturas de suporte) para ser alocado ao solo, em área sugerida na Figura 26.

#### 3.3.1. Módulo Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos sugeridos para a instalação são os módulos de 140Wp da Kyocera Solar (semelhante aos módulos utilizados no sistema fotovoltaico piloto do Aeroporto de Jacarepaguá – Figura 14). As dimensões do módulo são 1500mm de comprimento e 668mm de largura, com peso de 12,9kg (KYOCERA SOLAR, 2017).

Figura 27 – Módulo KD140SX-UFBS da Kyocera Solar



Fonte: Kyocera Solar, 2017

Quadro 5 - Resumo das características do módulo fotovoltaico

Marca	Modelo	Potência (Wp)	Peso (kg)	Dimensões (mm)	Temperatura de Operação (°C)
Kyocera Solar	KD140SX-UFBS	140	12,9	1500x668x46	-40 a +90

Fonte: Adaptado de Kyocera Solar, 2017

### 3.3.2. Inversor

O inversor é um componente primordial do sistema fotovoltaico. Por se tratar de sistemas de porte comercial (entre 10kW e 2MW, conforme Figura 9), o inversor deve ser cuidadosamente selecionado após o dimensionamento do sistema fotovoltaico. A Figura 28 apresenta Centrais Inversoras da ABB que atende aos sistemas fotovoltaicos com potências de 100 a 500 kW.



Figura 28 – Centrais inversoras ABB para sistemas fotovoltaicos comerciais



Fonte: ABB, 2017

### 3.3.3. Estruturas de suporte

É a infraestrutura que fornece sustentação e agrupamento dos painéis fotovoltaicos, auxiliando nas conexões entre si e fixando os painéis no solo ou integrando as edificações. As estruturas de suporte sugeridas para o sistema fotovoltaico do Aeroporto de Macaé são as metálicas (alumínio), por serem resistentes a intempéries, como chuva e ventos fortes, e adequados para sustentar os painéis fotovoltaicos. Um exemplo de estrutura de fixação pode ser observado na Figura 14 e foi utilizada no sistema fotovoltaico instalado no solo no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão - Antônio Carlos Jobim, no Rio de Janeiro.

## 3.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICOS

Em um estudo para a instalação de um sistema fotovoltaico, é imprescindível dimensionar determinados parâmetros no intuito de otimizar os componentes e atender a peculiaridade de cada empreendimento.

Um parâmetro fundamental é a potência total do sistema fotovoltaico. Para isso é necessário definir o montante de energia a ser gerada. Ziller et al. (2012) projeta uma geração de energia mensal de 137 kWh para cada kWp instalado.

$$P_t = \frac{C_{mensal}}{r}$$

Onde:

$P_t$  = Potência total do sistema (Wp)

$C_{mensal}$  = Energia gerada ao mês (Wh)

$r$  = Relação entre geração e capacidade do sistema (Wh/Wp)

Para definir a energia gerada ao mês foi utilizado a média aritmética das faturas de energia do período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017.

Com a definição da potência total do sistema e com potência nominal individual dos painéis, calcula-se a quantidade de painéis necessários.

$$n_p = \frac{P_t}{P_{mod}}$$

Onde:

$n_p$  = Número de painéis

$P_t$  = Potência total do sistema (Wp)

$P_{mod}$  = Potência individual do módulo (Wp)

A área necessária para alocação do conjunto de painéis é um parâmetro primordial que auxilia na escolha do local que será situado o sistema dentro do empreendimento.

$$A_T = n_p \cdot A_p$$

Onde:

$A_T$  = Área mínima total da instalação (m<sup>2</sup>)

$n_p$  = Número de painéis

$A_p$  = Área (comprimento x largura) do painel fotovoltaico utilizado (m<sup>2</sup>)

### 3.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Ao proceder com uma avaliação de viabilidade econômica em um sistema fotovoltaico é necessário definir previamente o valor total do investimento e o benefício anual que o projeto irá proporcionar durante seu funcionamento.

O valor do investimento, conforme a seção 3.2.1, adota o custo de R\$ 6,75/Wp para uma instalação comercial, portanto através dessa referência é possível calcular o custo total do sistema fotovoltaico.

$$I = P_t \cdot C$$

Onde:

I = Investimento (R\$)

$P_t$  = Potência total do sistema (Wp)

C = Custo do sistema (R\$/Wp)

O benefício anual do projeto é calculado utilizando o montante de energia gerada pelo sistema fotovoltaico e a tarifa praticada nas faturas da concessionária (valor médio do período avaliado).

$$A = C_{mensal} \cdot trf \cdot 12$$

Onde:

A = Benefício auferido anualmente

$C_{mensal}$  = Energia gerada ao mês (kWh)

Para a tomada de decisão em relação a implantação do sistema fotovoltaico, dentre um conjunto de critérios disponíveis, foram selecionados dois métodos de avaliação: o Valor Presente Líquido (VPL) e Tempo de Retorno do Investimento (TRI). Em ambos os métodos foi utilizado como Taxa Mínima de Atratividade, a taxa SELIC de abril de 2017, no valor mensal de 0,79%. Para a vida útil do sistema fotovoltaico foi considerado 25 anos (tempo de vida útil dos módulos).

- Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = -I + A \cdot FVP_{(i,n)}$$

$$FVP_{(i,n)} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

Onde:

A = Benefício auferido anualmente

I = Investimento

i = Taxa Mínima de Atratividade (anual)

n = Vida Útil do Equipamento (em anos)

Um resultado de VPL positivo significa que a alternativa de investimento é economicamente interessante à taxa mínima de atratividade considerada, tornando-se tanto mais atrativa quanto maior for o seu resultado.

Um VPL negativo mostra que a alternativa de investimento é economicamente inviável à taxa mínima de atratividade considerada, não permitindo sequer a recuperação do capital empregado, uma vez que o somatório dos valores presentes dos recebimentos é menor que o somatório dos valores presentes dos desembolsos.

Um VPL nulo significa que o retorno proporcionado pela alternativa de investimento à taxa mínima de atratividade considerada é igual ao capital investido, sendo, portanto, indiferente, do ponto de vista econômico, realizar-se ou não o investimento.

- Tempo de Retorno do Investimento (TRI)

$$n = - \frac{\ln(1 - \frac{I}{A} * i)}{\ln(1 + i)}$$

Onde:

n = Taxa do Retorno do Investimento

O resultado do TRI expressa o número de períodos que zera o valor presente líquido (VPL) do empreendimento, considerando a adoção de uma taxa de juro, que é o próprio custo de capital no tempo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, os resultados do estudo de viabilidade de implantação de um sistema alternativo de geração de energia elétrica por painéis solares no Aeroporto de Macaé.

### 4.1. LEVANTAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO OPERACIONAL

O movimento operacional de aeronaves, cargas aéreas e passageiros, de 2011 a abril de 2017, estão apresentados a seguir, no Quadro 6.

Quadro 6 – Movimento Operacional do Aeroporto de Macaé

Ano	QUANTIDADE		
	Movimento de Aeronaves	Carga Aérea (kg)	Passageiros (unidade)
2017 (até abril)	9.302	72.988	58.794
2016	42.640	339.013	318.877
2015	54.818	409.800	443.615
2014	59.689	428.003	453.932
2013	66.476	312.107	442.983
2012	68.239	373.881	431.924
2011	70.716	247.797	454.959

Fonte: adaptado de Infraero (2017).

As conveniências do Aeroporto incluem uma loja de alimentação e caixas eletrônicos 24horas, localizada no TPS. No complexo aeroportuário encontram-se, além do setor administrativo, 03 postos de combustíveis, sendo Air BP, Petrobras e Raizen, os quais se destinam ao abastecimento de aeronaves.

### 4.2. CONSUMO DE ENERGIA

O Aeroporto de Macaé, atualmente, possui 6 (seis) unidades consumidoras. Contudo, 2 (duas) unidades consumidoras são de baixa tensão (com consumo mínimo mensal de 100kWh) e 1 (uma) distante da área operacional do Aeroporto de Macaé, portanto não serão objeto de

estudo nesta monografia. As unidades consumidoras foram identificadas com letras de A a F. Para projetar o sistema fotovoltaico foi considerado que o projeto irá atender a 100% do consumo mensal médio do período de maio de 2016 a abril de 2017.

Com base nas faturas mensais de energia elétrica do período avaliado foram extraídos o consumo mensal, valor da tarifa e o custo (valores médios) das três unidades consumidoras que serão avaliadas. Tais valores são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Resumo do consumo e valor médios do Aeroporto de Macaé

Unidade Consumidora	Média Mensal	Valores
A	Consumo (kWh)	48.207,25
	Fatura (R\$)	R\$ 32.605,31
	Tarifa (R\$/kWh)	R\$ 0,55
B	Consumo (kWh)	16.245,00
	Fatura (R\$)	R\$ 11.395,89
	Tarifa (R\$/kWh)	R\$ 0,54
C	Consumo (kWh)	5.279,20
	Fatura (R\$)	R\$ 4.219,98
	Tarifa (R\$/kWh)	R\$ 0,85
D	Unidade consumidora distante do Aeroporto de Macaé. Não será objeto de estudo.	
E	Baixa Tensão. Fatura-se o consumo mínimo de 100 kWh. Não será objeto de avaliação.	
F	Baixa Tensão. Fatura-se o consumo mínimo de 100 kWh. Não será objeto de avaliação.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3. ANÁLISE FINANCEIRA

Com base nos critérios selecionados e nos históricos, em média, de 12 (doze) faturamentos foram alcançados os seguintes resultados, para cada unidade consumidora avaliada.

### 4.3.1. Unidade Consumidora A

- Potência total do sistema fotovoltaico

$$P_t = \frac{C_{mensal}}{137} = \frac{48.207,25}{137}$$

$$P_t \cong 352 \text{ kWp}$$

- Número de placas fotovoltaicas

$$n_p = \frac{P_t}{P_{mod}} = \frac{352.000}{140}$$

$$n_p = 2.515 \text{ painéis}$$

- Área necessária para o empreendimento

$$A_T = n_p \cdot A_p = 2515 \cdot 1,5 \cdot 0,668$$

$$A_T = n_p \cdot A_p = 2520 \text{ m}^2$$

- Valor do investimento

$$I = P_t \cdot 6,75 = 352.000 \cdot 6,75$$

$$I = R\$ 2.376.000,00$$

- Benefício anual

$$A = C_{mensal} \cdot trf \cdot 12 = 48.207,25 \cdot 0,55 \cdot 12$$

$$A = R\$ 318.167,85$$

- Valor Presente Líquido

$$VPL = -I + A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

$$VPL = R\$ 534.372,5$$

- Tempo de Retorno do Investimento

$$n = -\frac{\ln(1 - \frac{I}{A} * i)}{\ln(1 + i)}$$

$$n = 14 \text{ anos e } 3 \text{ meses}$$

Quadro 8 – Resultado da avaliação da Unidade Consumidora A

Unidade Consumidora	A
Consumo médio mensal (kWh)	48.207,25
Valor médio mensal (R\$)	R\$ 32.605,31
Potência total do sistema fotovoltaico (kWp)	352
Número de placas fotovoltaicas (100% do consumo)	2.515
Área necessária para o empreendimento (m <sup>2</sup> )	2.520
Valor do investimento (R\$)	R\$ 2.376.000,00
Benefício anual (R\$)	R\$ 318.167,85
Valor Presente Líquido - VPL (R\$)	R\$ 534.372,50
Tempo de Retorno do Investimento (TRI)	14 anos e 3 meses

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3.2. Unidade Consumidora B

- Potência total do sistema fotovoltaico

$$P_t = \frac{C_{mensal}}{137} = \frac{16.245,00}{137}$$

$$P_t \cong 119 \text{ kWp}$$

- Número de placas fotovoltaicas

$$n_p = \frac{P_t}{P_{mod}} = \frac{119.000}{140}$$

$$n_p = 850 \text{ painéis}$$

- Área necessária para o empreendimento

$$A_T = n_p \cdot A_p = 850 \cdot 1,5 \cdot 0,668$$

$$A_T = n_p \cdot A_p = 851,7 \text{ m}^2$$



- Valor do investimento

$$I = P_t \cdot 6,75 = 119.000 \cdot 6,75$$

$$I = R\$ 803.250,00$$

- Benefício anual

$$A = C_{mensal} \cdot trf \cdot 12 = 16.245,00 \cdot 0,54 \cdot 12$$

$$A = R\$ 105.267,60$$

- Valor Presente Líquido

$$VPL = -I + A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

$$VPL = 159.662,90$$

- Tempo de Retorno do Investimento

$$n = -\frac{\ln(1 - \frac{I}{A} * i)}{\ln(1 + i)}$$

$$n = 14 \text{ anos e } 11 \text{ meses}$$

Quadro 9 – Resultado da avaliação da Unidade Consumidora B

Unidade Consumidora	B
Consumo médio mensal (kWh)	16.245,00
Valor médio mensal (R\$)	R\$ 11.395,89
Potência total do sistema fotovoltaico (kWp)	119
Número de placas fotovoltaicas (100% do consumo)	850
Área necessária para o empreendimento (m <sup>2</sup> )	851,70
Valor do investimento (R\$)	R\$ 803.250,00
Benefício anual (R\$)	R\$ 105.267,60
Valor Presente Líquido - VPL (R\$)	R\$ 159.662,90
Tempo de Retorno do Investimento (TRI)	14 anos e 11 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.3.3. Unidade Consumidora C

- Potência total do sistema fotovoltaico

$$P_t = \frac{C_{mensal}}{137} = \frac{5.279,20}{137}$$

$$P_t \cong 39 \text{ kWp}$$

- Número de placas fotovoltaicas

$$n_p = \frac{P_t}{P_{mod}} = \frac{39.000}{140}$$

$$n_p = 279 \text{ painéis}$$

- Área necessária para o empreendimento

$$A_T = n_p \cdot A_p = 279 \cdot 1,5 \cdot 0,668$$

$$A_T = n_p \cdot A_p = 279,56 \text{ m}^2$$

- Valor do investimento

$$I = P_t \cdot 6,75 = 39.000 \cdot 6,75$$

$$I = R\$ 263.250,00$$

- Benefício anual

$$A = C_{mensal} \cdot trf \cdot 12 = 5.279,20 \cdot 0,85 \cdot 12$$

$$A = R\$ 53.847,84$$

- Valor Presente Líquido

$$VPL = -I + A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

$$VPL = R\$ 229.311,62$$

- Tempo de Retorno do Investimento

$$n = -\frac{\ln(1 - \frac{I}{A} * i)}{\ln(1 + i)}$$

$$n = 7 \text{ anos e } 1 \text{ mês}$$

Quadro 10 – Resultado da avaliação da Unidade Consumidora C

Unidade Consumidora	C
Consumo médio mensal (kWh)	5.279,20
Valor médio mensal (R\$)	R\$ 4.219,98
Potência total do sistema fotovoltaico (kWp)	39
Número de placas fotovoltaicas (100% do consumo)	279
Área necessária para o empreendimento (m <sup>2</sup> )	279,56
Valor do investimento (R\$)	R\$ 263.250,00
Benefício anual (R\$)	R\$ 53.847,84
Valor Presente Líquido - VPL (R\$)	R\$ 229.311,62
Tempo de Retorno do Investimento (TRI)	7 anos e 1 mês

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se um Valor Presente Líquido (VPL) positivo para todas as unidades consumidoras, indicando que a alternativa de investimento é economicamente interessante à taxa mínima de atratividade considerada. O tempo de retorno para as unidades consumidoras A e B foram de 14 anos e para a unidade consumidora C foi de 7 anos. Não foi considerada a degradação da potência dos módulos durante sua vida útil, os custos de manutenção e a eventual necessidade de substituição de inversor. Por outro lado, não utilizou a inflação energética.

## 5. CONCLUSÕES

Na avaliação do Aeroporto de Macaé foi identificado a viabilidade econômica para as 3 (três) unidades consumidoras estudadas, considerando o valor total de implantação do sistema fotovoltaico de R\$ 6,75/Wp. As unidades consumidoras A e B (alta tensão), com tarifa de consumo de energia menor, alcançaram um tempo de retorno do investimento maior (entre 13 e 14 anos) quando comparada com a unidade consumidora C (7 anos). Portanto, a viabilidade econômica é mais tangível para consumidores com tarifas de energia mais elevadas, como os consumidores do Grupo B (baixa tensão).

Em uma análise considerando o retorno do investimento aplicado a curto prazo, o sistema fotovoltaico de geração de energia pode ser um investimento menos atrativo que outras aplicações financeiras, porém o custo total do sistema vem decrescendo gradativamente nos últimos anos como pode ser observado na Figura 10 (o custo de um sistema residencial reduziu de 7,06 USD/Wp em 2009 para 2,93 USD/Wp em 2016). A referida redução de preço aliado a necessidade de fortalecimento dos incentivos governamentais (taxas de créditos, programas específicos, empréstimos, redução de tarifas e impostos, entre outros), o Brasil terá capacidade de viabilizar uma quantidade maior de sistemas tanto em aeroportos como em outros empreendimentos.

A sociedade contemporânea tem o desafio de alcançar o desenvolvimento através técnicas eficientes. É necessário buscar tecnologias de geração de energia baseadas em fontes inesgotáveis como a solar, reduzindo os impactos oriundos das atividades humanas como, por exemplo, o transporte aéreo. A aplicação destas tecnologias não deve ser avaliada apenas pelo aspecto técnico e econômico, pois há benefícios intrínsecos e não mensuráveis financeiramente ao se proceder com a implementação de um sistema fotovoltaico.

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

Na presente seção serão elencadas algumas recomendações para futuras pesquisas com o objetivo de aprimorar ou complementar o presente trabalho. Em algumas recomendações são apresentadas as limitações e dificuldades encontradas na elaboração deste documento.

### **Modelo de contratação**

Um futuro trabalho pode ser elaborado formatando modelos de negócios para a implantação de um sistema fotovoltaico e sua interface com os respectivos agentes envolvidos: o operador do aeródromo, ANAC, um possível investidor (público ou privado), a concessionária de energia elétrica, empresas privadas (equipamentos, instalação, operação e manutenção), financiadores e outras entidades públicas federais, estaduais ou municipais.

Um tipo de acordo pode ser celebrado entre a entidade pública e privada, em um modelo que a entidade privada seja responsável pelo investimento, construção e operação. A organização pública (ou o aeroporto) concede o local e adquire energia num preço estável através de um contrato de longo prazo, garantindo um fluxo constante para a instituição privada.

### **Etapas de implementação de um Sistema Fotovoltaico**

Um tópico a ser abordado também são as etapas do processo de implementação do sistema fotovoltaico em aeroportos, compreendendo todo o ciclo de vida do projeto. Tais etapas geralmente compreende a definição de área, estudo de viabilidade, detalhamento (projeto), orçamento, aprovação/licenciamento (autoridade aeroportuária, concessionária de energia elétrica, órgão ambiental), aporte de recursos, licitação (com concessão comercial de área, dependendo do escopo do projeto), instalação, operação, manutenção e atualização ou encerramento do ciclo de vida.

### **Avaliação técnica e econômica de um sistema fotovoltaico com seguimento solar em aeroportos**

Uma proposta de trabalho futuro é a avaliação de um sistema fotovoltaico com seguimento solar de um e/ou dois eixos nos aeroportos brasileiros. Além dos estudos econômicos, a pesquisa deveria apontar as dificuldades, as interferências na comunicação,

como a alteração do(s) eixo(s) afetaria a reflexão na luz solar e sua influência na segurança da aviação civil. Coelho et al. (2016) realizou medições em somente uma placa com seguidor solar de um eixo e constatou que houve aumento de 63,41% no custo e 21,5% na produção de energia elétrica quando comparada a mesma placa com eixo fixo.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ABB. *Central inverters PVS800 – 500 to 1000 kW*. Disponível em <<http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar>>. Acesso em 27 set 2017.

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em 09 abr 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. Plano de ação para a redução das emissões de gases de efeito estufa da aviação civil brasileira. Ano base 2013. Brasília, DF, 2014. Disponível em <[http://www.aviacao.gov.br/noticias/2016/03/acoes-sustentaveis-em-aeroportos-brasileiros-reduzem-uso-de-energia-e-danos-ao-meio-ambiente/plano\\_de\\_acao-1.pdf](http://www.aviacao.gov.br/noticias/2016/03/acoes-sustentaveis-em-aeroportos-brasileiros-reduzem-uso-de-energia-e-danos-ao-meio-ambiente/plano_de_acao-1.pdf)>. Acesso em 13 ago 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. Resolução nº 153, de 18 de junho de 2010. Disponível em <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/resolucoes-2010/resolucao-no-153-de-18-06-2010/@@display-file/arquivo\\_norma/A2010-0153.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/resolucoes-2010/resolucao-no-153-de-18-06-2010/@@display-file/arquivo_norma/A2010-0153.pdf)>. Acesso em 13 ago 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC nº 154, de 28 de agosto de 2017. Disponível em <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-154-emd-01/@@display-file/arquivo\\_norma/RBAC154EMD02.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-154-emd-01/@@display-file/arquivo_norma/RBAC154EMD02.pdf)>. Acesso em 19 set 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. 2ª Edição. Brasília, DF, 2005. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/atlas2005.zip>>. Acesso em 13 ago 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 17 ago 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2017. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 18 ago 2017.

ANDRADE, Caio Vinícius Aguiar. Análise da inserção de armazenadores de energia na rede elétrica de distribuição. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília. Brasília, 2016. Disponível em <[https://fga.unb.br/articles/0001/6659/Caio\\_Andrade\\_TCC\\_1.pdf](https://fga.unb.br/articles/0001/6659/Caio_Andrade_TCC_1.pdf)>. Acesso em 19 set 2017.

ASSUNÇÃO, Hélio Delgado. Degradação De Módulos Fotovoltaicos de Silício Cristalino Instalados no DEE – UFC. 2014. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014. Disponível em <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2014.1/H%C3%89LIO%20DELGADO%20ASSUN%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em 19 set 2017.

BENEDITO, R. S. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/pt-br.php>>. Acesso em 19 set 2017.

BUSINESS WIRE. SolarWorld fornece a maior instalação solar da República Dominicana. 2013. Disponível em <<http://www.businesswire.com/news/home/20130827005466/pt>>. Acesso em 29 jun 2017.

CAVALCANTI, Fernando A de Melo Sá. Paredes Trombe no Brasil: Análise do potencial de utilização para aquecimento e refrigeração. Tese (Doutorado em Ciências da Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-30042014-095503/pt-br.php>>. Acesso em 09 jun 2017.

COELHO, M. T.; QUINTINO, L. F.; SANTANA, P. H. M.; ANDRADE, A. A.; COELHO JUNIOR, E. M. Análise da “produtividade x custo” de um sistema solar com instalação fixa e com uso de seguidor em micro geração distribuída. In: 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 2016, Curitiba - PR. Anais do 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications. Curitiba - PR: INDUSCON, 2016. v. 12. p. 1.

CONSÓRCIO MPE/CONSBEM. Análise da conta de energia elétrica do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. Junho, 2014.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro. Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica. 2013. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em <<http://paginas.fe.up.pt/~ee06279/docs/Dissertacao.pdf>>. Acesso em 27 jul 2017.

CRESESB. Energia Solar: princípios e aplicações. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em 19 set 2017.

EXSOLAR. *Monocrystalline vs Polycrystalline vs Thin film Solar Panels*. Disponível em <<http://www.exsolar.co.za/mono-vs-poly-vs-thin-film-panels.html>>. Acesso em 29 jun 2017.

ENERGY, TECHNOLOGY & POLICY. *Solar Panels and Airports, like Peanut Butter and Jelly*, 2013. Disponível em <<https://webberenergyblog.wordpress.com/2013/04/10/solar-panels-and-airports-like-peanut-butter-and-jelly>>. Acesso em 29 jun 2017.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION - EPIA. Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World. Bruxelas (Bélgica): EPIA, 2011b. Disponível em <<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2011/Final%20SolarGeneration%20VI%20full%20report%20lr.pdf>>. Acesso em 21 ago 2017.

FIGUEIREDO FERRAZ. Aeroporto Santos Dumont, 2008. Disponível em <[http://www.ffcep.com.br/br/portfolio/transportes/aeroportos/item/download/40\\_d83f1003a6bc05dfa76d50576ab4f072](http://www.ffcep.com.br/br/portfolio/transportes/aeroportos/item/download/40_d83f1003a6bc05dfa76d50576ab4f072)>. Acesso em 10 jul 2017.



FIGUEROLA, V. Modulabi privilegia conceitos da arquitetura bioclimática. Disponível em <<http://content.construliga.com.br/conceitos-da-arquitetura-bioclimatica>>. Acesso em 29 jun 2017.

HALL, Max. *SolarWorld supplies largest solar project in Dominican Republic*. 2013. Disponível em <[https://www.pv-magazine.com/2013/09/02/solarworld-supplies-largest-solar-project-in-dominican-republic\\_100012602](https://www.pv-magazine.com/2013/09/02/solarworld-supplies-largest-solar-project-in-dominican-republic_100012602)>. Acesso em 29 jun 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Guia de procedimentos do licenciamento ambiental federal: documento de referência. Brasília, 2002. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/Procedimentos.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/Procedimentos.pdf)>. Acesso em 19 set 2017.

INFRAERO. 40 anos servindo pessoas, empresas e o Brasil. 2013.

KYOCERA SOLAR. *High Efficiency Multicrystal Photovoltaic Module*. Disponível em <<http://www.kyocerasolar.com.br/modulos-solares/kd140sx-ufbs.html>>. Acesso em 27 set 2017.

LOPES, Valéria Neder; PACAGNAN, Mário Nei. Marketing verde e práticas socioambientais nas indústrias do Paraná. *Rev. Adm. (São Paulo)*, São Paulo, v.49, n.1, p.116-128, Mar. 2014. Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 06 mai 2017.

MACK, J. L. *World's largest solar farm complete at Indianapolis airport*. Disponível em <<http://www.indystar.com/story/money/2014/12/22/indianapolis-airport-solar-farm-expansion-complete/20754083>>. Acesso em 29 jun 2017.

MCKENNA, Phil. *Melting to Keep Cool*. Disponível em <<http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/tech/melting-to-keep-cool/>>. Acesso em 29 jun 2017.

MENON, Supriya. *How is the world's first solar powered airport faring?* 2015. Disponível em <<http://www.bbc.com/news/world-asia-india-34421419>>. Acesso em 29 jun 2017.

MINAYO, M. C. de S. (org.); DESLANDES, Suely Ferreira; GOMES, Romeu. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 28.ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

NAOUMOV, Anatoli. *Thunder Bay Airport Solar Park by Canadian Solar/SkyPower Finalist at Intersolar 2012*. 2012. Disponível em <<http://www.greenq.ca/thunder-bay-airport-solar-park-by-canadian-solarskypower-finalist-at-intersolar-2012>>. Acesso em 29 jun 2017.

NEOSOLAR. Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL140P-17b (140Wp). Disponível em <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl140p-17b-140wp.html>>. Acesso em 21 ago 2017.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2016. Disponível em <<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/67142.pdf>>. Acesso em 21 ago 2017.

PARKINSON, Giles. *Canberra Airport raises safety concern about 4MW solar farm*. 2013. Disponível em <<http://reneweconomy.com.au/airport-25705>>. Acesso em 29 jun 2017.

PERRY, Rainer. *Düsseldorf International Airport Goes Solar*. Disponível em <<http://www.prweb.com/releases/2011/12/prweb9066799.htm>>. Acesso em 29 jun 2017.

PINHO, J. T., GALDINO, M.A., *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES), 2014.

PORTAL SOLAR. *O Inversor Solar*. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em 21 ago 2017.

PROCTOR, Cathy. *Denver International Airport's fourth solar power system now producing power*. 2014. Disponível em <[bizjournals.com/denver/blog/earth\\_to\\_power/2014/06/denver-international-airport-s-fourth-solar-power.html](http://bizjournals.com/denver/blog/earth_to_power/2014/06/denver-international-airport-s-fourth-solar-power.html)>. Acesso em 29 jun 2017.

REN21. *Renewables 2016 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat, 2016.

SANTOS, Fábio Anderson Batista dos; MULLER, Carlos. Sistema de informações geográficas no apoio ao gerenciamento de obstáculos à superfície de segmento visual. *Bol. Ciênc. Geod.*, Curitiba, v.20, n.3, p.504-525, Set. 2014. Disponível em <<http://ref.scielo.org/5mmqpd>>. Acesso em 04 ago 2017.

SEBASTIÁN, Eliseo. *Concentrador solar para más energia*. Disponível em <<http://eliseosebastian.com/sistemas-de-colector-cilindrico-parabolico>>. Acesso em 29 jun 2017.

SGARBI, V.S et al. *Os Jargões da Sustentabilidade: uma Discussão a partir da Produção Científica Nacional*, Engema, 2008

SILVA, Cláudio R. da; SILVA, Valdiney J. da; ALVES JUNIOR, José; CAR VALHO, Hudson de P. Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v.16, n.3, p.281-288, 2012. Disponível em <<http://ref.scielo.org/y5rgxy>>. Acesso em 16 ago 2017.

SOLAR CHOICE. *Solar farm projects near airports: Is glare an issue?* 2013. Disponível em <<https://www.solarchoice.net.au/blog/solar-panels-near-airports-glare-issue>>. Acesso em 17 ago 2017.

TRANSPORT CANADA. *Aviation – Land Use in the Vicinity of Aerodromes*. Ottawa, 2013. Disponível em <<https://www.tc.gc.ca/media/documents/ca-publications/tp1247e.pdf>>. Acesso em 19 set 2017.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Denver International Airport Photovoltaic System*. 2015. Disponível em <<https://energy.gov/eere/sunshot/articles/denver-international-airport-photovoltaic-system>>. Acesso em 29 jun 2017.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009. Disponível em <<http://ref.scielo.org/4mfm4t>>. Acesso em 13 ago 2017.

ZANELLA, L.C.H. Metodologia de Estudo e de Pesquisa em Administração. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2009.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.