

Energia Solar e Eólica 2

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica 2 [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-067-4

DOI 10.22533/at.ed.674192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO₂, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO₂.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO₂ requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS CAMPI IFG ITUMBIARA E URUAÇU	
Sergio Batista da Silva Olívio Carlos Nascimento Souto Fernando Nunes Belchior Ghunter Paulo Viajante Elias Barbosa Macedo Vera Ferreira Souza	
DOI 10.22533/at.ed.6741922011	
CAPÍTULO 2	24
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE	
Sofia da Costa Barreto Paulo Cesar Marques de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.6741922012	
CAPÍTULO 3	41
ESTUDO DO COMPORTAMENTO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ABACAXI SECADO EM SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Raphaela Soares da Silva Camelo Juliana Lobo Paes Milena Araujo Silva Madelon Rodrigues Sá Braz Dhiego Santos Cordeiro da Silva Camila Lucas Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6741922013	
CAPÍTULO 4	54
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUIINSE ₂ E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.6741922014	
CAPÍTULO 5	66
EXPERIÊNCIA DE CURSO GRATUITO DE INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE OFERECIDO PELO IFTO CAMPUS PALMAS	
Claudio Silva dos Santos Abimael Ribeiro Martins Adail Pereira Carvalho Brunno Henrique Brito	
DOI 10.22533/at.ed.6741922015	
CAPÍTULO 6	78
IMPACTO DA LEI PALMAS SOLAR NA ANÁLISE FINANCEIRA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO	
Isamara Quirino de Castro Carlos Brunno Henrique Brito	

Felipe Tozzi Bittencourt
DOI 10.22533/at.ed.6741922016

CAPÍTULO 7 91

IMPACTOS DOS INCENTIVOS DOS GOVERNOS DO ESTADO E DO MUNICÍPIO NA MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO

Allan Carlos do Nascimento Silva
Brunno Henrique Brito

DOI 10.22533/at.ed.6741922017

CAPÍTULO 8 104

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Corrêa
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa
Marcos André Barros Galhardo
João Paulo Alves Veríssimo
Israel Hidai Lobato Lemos
Edinaldo José da Silva Pereira
João Tavares Pinho

DOI 10.22533/at.ed.6741922018

CAPÍTULO 9 121

INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa
Merlim dos Santos Ferreira de Faria
Fabio de Brito Gontijo

DOI 10.22533/at.ed.6741922019

CAPÍTULO 10 132

INFLUÊNCIA DO ESPECTRO SOLAR EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOB CÉU LIMPO, CÉU PARCIALMENTE NUBLADO E CÉU NUBLADO

Guilherme Marques Neves
Waldeir Amaral Vilela
Enio Bueno Pereira
Luiz Angelo Berni

DOI 10.22533/at.ed.67419220110

CAPÍTULO 11 146

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva
Leandro Oliveira Salviano

DOI 10.22533/at.ed.67419220111

CAPÍTULO 12 161

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Marcus Vinícius Contes Calça
Matheus Rodrigues Raniero
Alexandre Dal Pai
Carlos Roberto Pereira Padovani
Domingos Mario Zeca Fernando

CAPÍTULO 13 174

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro
Edinaldo José da Silva Pereira
Everton Leandro Santos Amaral
Ítalo de Sousa
Magda Tayane Abraão de Brito

DOI 10.22533/at.ed.67419220113

CAPÍTULO 14 191

PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

Franciele Carlesso
Jenny Marcela Rodriguez Gomez
Luiz Angelo Berni
Graziela da Silva Savonov
Luis Eduardo Antunes Vieira
Waldeir Amaral Vilela
Edson Luiz de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.67419220114

CAPÍTULO 15 200

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

Diego Lopes Coriolano
Erico Diogo Lima da Silva
Iraí Tadeu Ferreira de Resende
Vanina Cardoso Viana Andrade
Denilson Pereira Gonçalves
Renan Tavares Figueiredo
Odélsia Leonor Sanchez de Alsina

DOI 10.22533/at.ed.67419220115

CAPÍTULO 16 213

PROPOSTA DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E ESTUDO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR EM CURITIBA

Larissa Barbosa Krasnhak
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.67419220116

CAPÍTULO 17 229

PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OTIMIZAÇÃO DO GASTO PÚBLICO COM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA UNIDADE DE ENSINO FEDERAL IMPLANTADA NA REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Adriano Moraes da Silva
Rebeca Lorena Santos Maia e Silva
Danielle Bandeira de Mello Delgado

DOI 10.22533/at.ed.67419220117

CAPÍTULO 18 246

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA

DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva
Augusto César da Silva Bezerra
Claudinei Rezende Calado
Ana Luiza F. Maia
Amanda Ribeiro Amorim

DOI 10.22533/at.ed.67419220118

CAPÍTULO 19 255

SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho
Wilk Coelho Maia

DOI 10.22533/at.ed.67419220119

CAPÍTULO 20 263

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Enes Gonçalves Marra
Sérgio Pires Pimentel

DOI 10.22533/at.ed.67419220120

CAPÍTULO 21 275

TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMC/UFG

Jéssica Alice Alves da Silva
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Sérgio Pires Pimentel
Enes Gonçalves Marra

DOI 10.22533/at.ed.67419220121

CAPÍTULO 22 290

TESTES DE SENSIBILIDADE PARA DIFERENTES PARAMETRIZAÇÕES CUMULUS DO MODELO WRF PARA MELHORAR AS ESTIMATIVAS DE VENTO

Lucia Iracema Chipponelli Pinto
Francisco Jose Lopes de Lima
Fernando Ramos Martins
Enio Bueno Pereira

DOI 10.22533/at.ed.67419220122

CAPÍTULO 23 303

O ENSINO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

André Barra Neto
Ana Paula Pinheiro Zago
Márcia Helena da Silva
Mirian Sousa Moreira
José Eduardo Ferreira Lopes

DOI 10.22533/at.ed.67419220123

CAPÍTULO 24	317
POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA CODIGESTÃO ENTRE DEJETO BOVINO E SUÍNO	
<ul style="list-style-type: none"> Juliana Lobo Paes Camila Ferreira Matos Gabriel Araújo e Silva Ferraz Giancarlo Bruggianesi Camila Kelly de Queiroz Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220124	
CAPÍTULO 25	333
SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL	
<ul style="list-style-type: none"> Marcus Godolphim de Castro Neves Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias Cassio Roberto Macedo Maia Ricardo Alan Verdú Ramos 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220125	
CAPÍTULO 26	344
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS	
<ul style="list-style-type: none"> Brunno Henrique Brito Thálisson Câmara Belém Márcio Serafim de Almeida Felipe Tozzi Bittencourt 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220126	
CAPÍTULO 27	359
ESTUDO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS	
<ul style="list-style-type: none"> Robson de Souza Santiago Bruno Lindbergh Sousa Yordanka Reyes Cruz Estevão Freire Suely Pereira Freitas Gisel Chenard Díaz 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220127	
CAPÍTULO 28	376
INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> Francisco Wilson Falcão Júnior Paulo Cesar Marques de Carvalho Wilson Cabral de Sousa Júnior 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220128	
SOBRE O ORGANIZADOR	390

INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS

Francisco Wilson Falcão Júnior

Instituto Tecnológico de Aeronáutica,
Departamento de Engenharia Aeronáutica e
Mecânica
São José dos Campos - SP

Paulo Cesar Marques de Carvalho

Universidade Federal do Ceará, Departamento de
Engenharia Elétrica
Fortaleza – CE

Wilson Cabral de Sousa Júnior

Instituto Tecnológico de Aeronáutica,
Departamento de Engenharia Aeronáutica e
Mecânica
São José dos Campos - SP

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Aeroporto, Segurança.

ABSTRACT: This study introduces an analysis about the safety in the installation of photovoltaic (PV) systems in airports, initially presenting the main airports that already have systems installed in the world and the studies already made for implementation in Brazil. This is followed by an analysis of safety for airport operations as well as measures to mitigate risks. The study aims to help those interested in implementing PV systems in airports, guiding as to the location, direction of the panels and safety of the system components.

KEYWORDS: Solar Energy, Airport, Safety.

RESUMO: O presente estudo apresenta uma análise sobre a segurança na instalação de sistemas fotovoltaicos (FV) em aeroportos, inicialmente apresentando os principais aeroportos que já possuem sistemas instalados no mundo e os estudos já feitos para implementação no Brasil. Em seguida se faz uma análise em relação à segurança para as operações aeroportuárias, bem como as medidas de se mitigar os riscos. O estudo tem como objetivo auxiliar aos interessados em implementar sistemas FV em aeroportos, orientando quanto à localização, direcionamento dos painéis e segurança dos componentes do sistema.

1 | INTRODUÇÃO

Os edifícios residenciais, comerciais e de serviços têm apresentado uma crescente integração de tecnologias de dados, sistema informatizados e equipamentos para conforto ambiental e isso é acompanhado de um aumento na demanda por energia elétrica. Para a redução dos custos com energia elétrica as empresas têm buscado implementar sistemas de geração distribuída, abatendo de suas despesas parte da energia consumida. Para isso é primordial que o local tenha áreas abertas disponíveis

para a captação de energia solar.

Apesar da aviação ser uma das atividades mais seguras, os acidentes aeronáuticos podem assumir dimensões catastróficas, com a perda de muitas vidas e destruição de patrimônio de grande valor. Por este motivo, existem procedimentos de avaliação de riscos para todas as atividades operacionais.

O presente trabalho apresenta casos no mundo e estudos no Brasil de captação de energia solar em aeroportos, analisa os riscos potenciais ao se instalar sistemas fotovoltaicos (FV) nestes locais e a forma de se reduzir estes riscos utilizando a metodologia adotada pelos órgãos de controle e fiscalização.

2 | ESTUDOS SOBRE GERAÇÃO FV EM AEROPORTOS

As construções aeroportuárias têm a característica de serem primordialmente horizontais, com grandes áreas abertas, de pequenas inclinações, descobertas e livre de sombras (BRAUN *et al.*, 2007), assim podem ser consideradas construções ideais para a implementação de sistemas FV.

2.1 ESTUDOS NO BRASIL

O potencial solar brasileiro é um fator contribuinte para a implementação de sistemas FV (PEREIRA *et al.*, 2006). Foram feitos estudos nos aeroportos de Florianópolis (BRAUN *et al.*, 2007), Belém (SANTOS *et al.*, 2008), Confins (VIEIRA *et al.*, 2010), Porto Alegre (SOARES, 2014), Joinville (CRESPI *et al.*, 2015) e um estudo que apresenta seis aeroportos: Galeão e Santos Dumont (ambos no Rio de Janeiro), Guarulhos, São Paulo, Brasília e Florianópolis (BRAUN *et al.*, 2010), aonde se apresenta a viabilidade técnica e financeira do sistema FV.

No estudo de (BRAUN *et al.*, 2007), simulou-se quatro portes de sistemas FV e os três maiores podem suprir o consumo do Aeroporto Internacional de Florianópolis de 40% a 100%, bem como se concluiu que a implementação desse tipo de geração pode ocasionar o adiamento do investimento necessário para reforçar o sistema de distribuição e assim aumentar a confiabilidade do sistema elétrico.

Já no aeroporto de Belém, verificou-se uma alta demanda durante o dia e a madrugada, associada ao pico de demanda do aeroporto, bem como por conta do condicionamento de ar. Conclui-se que este último aspecto torna a aplicação dos sistemas FV mais interessante, pois possibilita uma redução significativa na demanda, no período diurno (SANTOS *et al.*, 2008). E o estudo cita que:

“Apesar da contribuição do sistema considerado ficar um pouco abaixo de 25% do consumo médio diário, outras áreas disponíveis no complexo aeroportuário permitem que a capacidade do sistema seja aumentada para elevar essa contribuição, ficando essa capacidade limitada apenas por fatores econômicos”.

O estudo do aeroporto de Confins (VIEIRA *et al.*, 2010), foi além e estimou o retorno do investimento para dois tipos de sistemas de compensação de tarifa e três modelos de geradores FV, concluindo que na melhor hipótese o retorno do investimento se daria em 9 anos, para uma vida útil do sistema de 25 anos. Vale observar que na época da publicação do trabalho ainda não existia a Resolução Normativa no 482 da ANEEL (ANEEL, 2012), que determina o sistema brasileiro de compensação de tarifa entre o fornecedor de energia elétrica e o microgerador, que diverge dos adotados no estudo.

Ao estudar seis distintos aeroportos em quatro estados brasileiros (BRAUN *et al.*, 2010), calculou o potencial de captação de energia solar utilizando apenas as áreas de cobertura dos edifícios estudados, chegando à conclusão que esta área iria suprir no mínimo 35% da demanda ao se utilizar a tecnologia menos eficiente, ou seja o silício amorfo (a-Si). Ao se utilizar a tecnologia mais eficiente, HIT (*Heterojunction with Intrinsic Thin Layer*), a contribuição foi em média 50% para a mesma área.

As simulações feitas para o aeroporto de Porto Alegre por (SOARES, 2014), apresentaram um tempo de retorno do investimento no sistema em torno de 5 anos, tomando como base o disposto na Resolução Normativa no 482 da ANEEL (ANEEL, 2012), que, para uma vida útil de 25 anos, torna a aplicação desta tecnologia muito viável.

Fazendo um estudo mais aprofundado de valores de projeto e de tarifas, (CRESPI *et al.*, 2015) apresentou duas opções de estudo de projeto para o aeroporto de Joinville. Uma com a utilização de uma tecnologia menos eficiente de silício amorfo e outra com a adoção de silício policristalino, chegando à conclusão que o retorno do investimento ocorre em 12 anos e 6 meses para o silício amorfo (Tab.1) e em 9 anos e 7 meses para o silício policristalino (tab. 2), os quais, para uma vida útil de 25 anos são investimentos que o estudo considera viáveis.

Investimento	R\$ 2.443.000,00
Total das economias em 25 anos	R\$ 13.500.075,10
Taxa de desconto mensal (TMA)	0,57%
Valor presente das economias	R\$ 5.062.630,98
TIR (Taxa interna de retorno)	1,12%
Payback estimado	150 meses
Custo de 2.405.074 kWh COM o sistema	R\$ 2.443.000,00
Custo de 2.405.074 kWh SEM o sistema (VP)	R\$ 5.062.630,98
Total economia (VP)	R\$ 2.619.630,98
% de economia (VP)	51,74%
Energia gerada em 25 anos	9.830.627
Estimativa R\$/kWh Sistema FV	R\$ 0,25
Estimativa R\$/kWh para 2016	R\$ 0,48

Tabela 1 - Análise de investimento de sistema FV com a utilização de silício amorfo no Aeroporto de Joinville, SC (CRESPI *et al.*, 2015).

Investimento	R\$ 1.886.000,00
Total das economias em 25 anos	R\$ 13.500.075,10
Taxa de desconto mensal (TMA)	0,57%
Valor presente das economias	R\$ 5.062.630,98
TIR (Taxa interna de retorno)	1,12%
Payback estimado	115 meses
Custo de 2.405.074 kWh COM o sistema	R\$ 1.886.000,00
Custo de 2.405.074 kWh SEM o sistema (VP)	R\$ 5.062.630,98
Total economia (VP)	R\$ 3.176.630,98
% de economia (VP)	62,75%
Energia gerada em 25 anos	9.830.627
Estimativa R\$/kWh Sistema FV	R\$ 0,25
Estimativa R\$/kWh para 2016	R\$ 0,48

Tabela 2 - Análise de investimento de sistema FV com a utilização de silício policristalino no Aeroporto de Joinville, SC (CRESPI *et al.*, 2015).

2.2 EXPERIÊNCIA MUNDIAL

No relatório *Aviation Climate Solutions* (ATAG, 2015), a *Air Transport Action Group*, identificou cerca de 100 aeroportos ao redor do mundo que possuem sistemas FV instalados ou em projeto (Fig. 1). No relatório, (ATAG, 2015) cita que o *Cochin International Airport* na Índia é o primeiro aeroporto no mundo a ser totalmente alimentado por energia solar com sistemas de painéis FV, além de informar que: “*The Airports Authority of India plans to generate 50 megawatts from solar plants at 30 airports by the end of 2015*” (ATAG, 2015). Desde sistemas pequenos como o do *Singapore’s Changi Airport* de 250 kW, até sistemas de 12,5 MW como o do *Indianapolis International Airport*, os aeroportos no mundo estão buscando reduzir os seus custos com energia elétrica através da geração local.

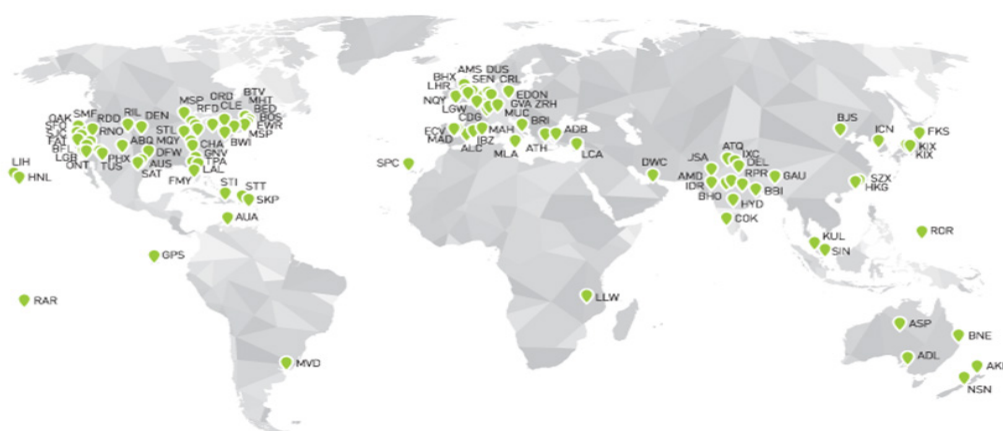


Figura 1- Aeroportos no mundo com instalações ou projetos FV (ATAG, 2015).

Podemos destacar as maiores instalações por potência nos seguintes aeroportos:

- *Indianapolis International Airport, USA* (12,5 MW) (ATAG, 2015) (Fig. 2).
- *Cochin International Airport, India* (12 MW) (COOPER, 2016) (Fig. 3).
- *Denver International Airport, USA* (8 MW) (KANDT; ROMERO, 2014) (Fig. 4).
- *Athens International Airport, Grécia* (8 MW) (KANDT; ROMERO, 2014) (Fig. 5).

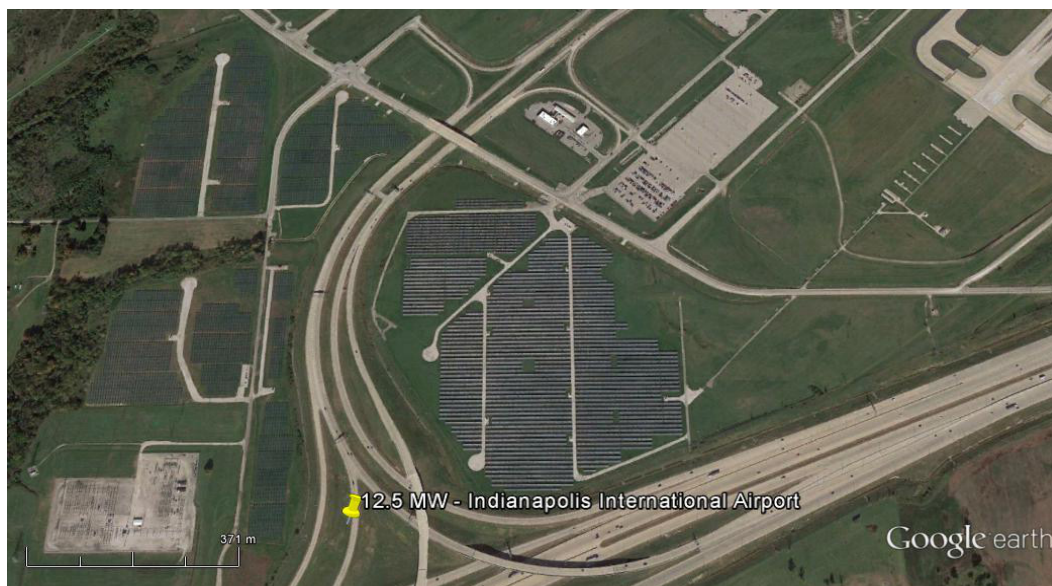


Figura 2 - Imagem de satélite das instalações FV do *Indianapolis International Airport, USA* (GOOGLE, 2017).



Figura 3 - Imagem de satélite das instalações FV do *Cochin International Airport, Índia*. (GOOGLE, 2017).



Figura 4 - Imagem de satélite das instalações FV do *Denver International Airport*, USA. (GOOGLE, 2017).

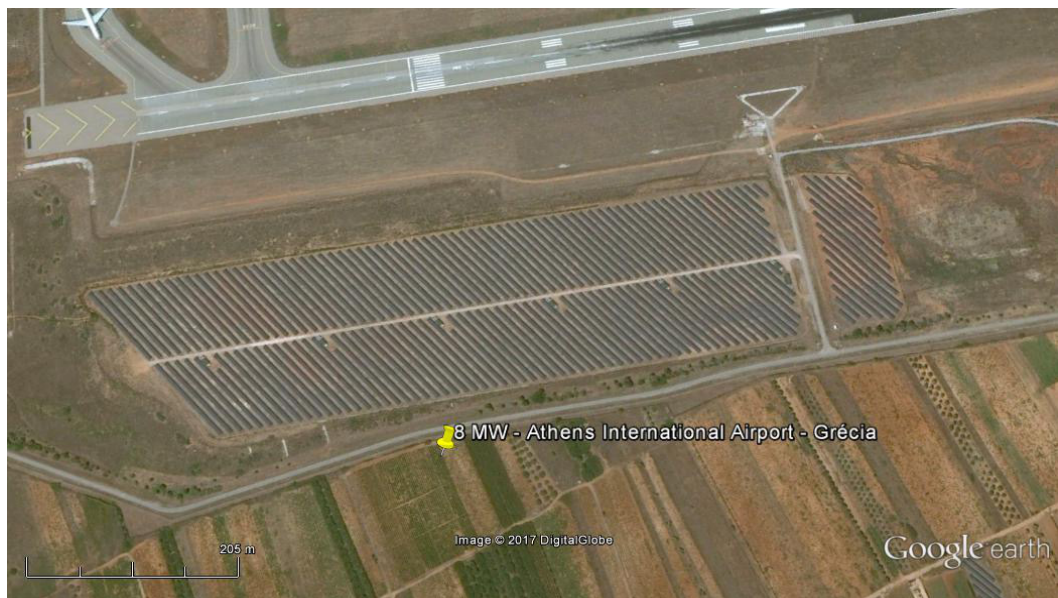


Figura 5 - Imagem de satélite das instalações FV do *Athens International Airport*, Grécia. (GOOGLE, 2017).

Comprovado pelos estudos, os aeroportos em geral possuem bastante área disponível para a implantação destes sistemas. A viabilidade financeira, também é comprovada com os estudos de retorno do investimento mostrando não só um prazo interessante em relação à vida útil do equipamento, como uma vantagem competitiva em um futuro que aponta para a escassez e conseqüente aumento de tarifas de energia elétrica. Mesmo assim, o Brasil não possui nenhum aeroporto com geração FV. Existe um projeto proposto pela INFRAERO à ANAC, como uma das iniciativas para redução das emissões de gases do efeito estufa, de implementação de um sistema de 1 MW para o Aeroporto de Palmas/TO, mas não foi além da proposta (ANAC, 2015).

2.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FV PARA A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS

Para a análise da segurança em operações aeronáuticas, o apêndice 3 de (ANAC, 2016), traz um modelo em matriz para avaliação de probabilidade, severidade e tolerabilidade ao risco que é adotado também pela FAA (*Federal Aviation Administration* - entidade governamental responsável pelos regulamentos e todos os aspectos da aviação civil americana) e pela EASA (*European Aviation Safety Agency*, agência europeia com atividade similar a da FAA) com o objetivo de identificar e mitigar os riscos à segurança aeronáutica em aeroportos. É verificada a probabilidade de um evento ocorrer (Tab. 3), a severidade caso o evento ocorra (Tab. 4) e a matriz probabilidade x severidade (Fig. 6), onde se determina a tolerabilidade do risco.

Probabilidade do evento		
Definição qualitativa	Significado	Valor
Frequente	Provável que ocorra muitas vezes (tem ocorrido frequentemente)	5
Ocasional	Provável que ocorra algumas vezes (tem ocorrido com pouca frequência)	4
Remoto	Improvável que ocorra, mas possível (ocorre raramente)	3
Improvável	Bastante improvável que ocorra (não se tem notícia de que tenha ocorrido)	2
Muito improvável	Quase improvável que o evento ocorra.	1

Tabela 3 - Referência para a avaliação da probabilidade do risco.

Adaptado de (ANAC, 2016).

Severidade do evento		
Definição na aviação	Significado	Valor
Catastrófico	Destruição de equipamento Múltiplas mortes	A
Crítico	Uma redução importante das margens de segurança operacional, dano físico ou uma carga de trabalho tal que os operadores não podem desempenhar suas tarefas de forma precisa e completa. Lesões sérias Grave dano ao equipamento	B

Significativo	Uma redução significativa das margens de segurança operacional, uma redução na habilidade do operador em responder a condições operacionais adversas como resultado do aumento da carga de trabalho ou como resultado de condições que impedem sua eficiência. Incidente sério Lesões às pessoas	C
Pequeno	Interferência Limitações operacionais Utilização de procedimentos de emergência Incidentes menores	D
Insignificante	Consequências leves	E

Tabela 4 - Referência para a avaliação da severidade do risco.

Adaptado de (ANAC, 2016).

Probabilidade do risco	Severidade do risco				
	Catastrófico A	Crítico B	Significativo C	Pequeno D	Insignificante E
Frequente 5	5A	5B	5C	5D	5E
Ocasional 4	4A	4B	4C	4D	4E
Remoto 3	3A	3B	3C	3D	3E
Improvável 2	2A	2B	2C	2D	2E
Muito improvável 1	1A	1B	1C	1D	1E

Gerenciamento do risco	Índice de avaliação do risco	Critério sugerido
Região intolerável	5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	Inaceitável sob as circunstâncias existentes
Região tolerável	5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A	Aceitável com mitigação do risco Pode requerer uma decisão da Direção
Região aceitável	3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Aceitável

Figura 6 - Matriz de probabilidade x severidade na análise de risco.

Adaptado de (ANAC, 2016).

Esta matriz foi utilizada por (MOSTAFA *et al.*, 2016) para classificar os riscos potenciais na implantação de sistemas FV em aeroportos. O primeiro risco a ser analisado é a refletividade, que é quando a luz do sol se reflete ao atingir as superfícies envidraçadas em certo ângulo de incidência.

Em 2010, mais de 15 aeroportos nos EUA estavam operando com instalações solares e o interesse dos aeroportos naquele país em energia solar crescia rapidamente.

Por estes motivos, a FAA resolveu publicar uma orientação técnica para os aeroportos que se interessavam em implementar esta tecnologia em seus projetos (PLANTE *et al.*, 2010). Neste documento a FAA identifica a refletividade como o maior problema que a implementação de sistemas FV em aeroportos pode causar. Os riscos identificados foram:

- Uma breve perda de visão (cegueira instantânea), que pode afetar pilotos, controladores de voo e aves (ao serem atingidas, estas podem se desorientar e causar outros riscos).
- Possível interferência com os sistemas de auxílio à navegação via raios infravermelhos.
- Possível interferência com os sistemas de comunicação.

Não existem documentos similares ao da FAA produzidos pela agência europeia EASA (*European Aviation Safety Agency*), nem pela brasileira (ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil).

Os painéis FV são caracteristicamente fabricados para absorver a maior quantidade de luz possível incidente. Assim, os painéis atuais refletem apenas 2% da luz solar incidente, dependendo do ângulo do sol e assumindo que estes usam revestimentos anti-reflexivos (PLANTE *et al.*, 2010).

Mesmo assim, a *RPS Planning & Development*, no interesse da implementação destes sistemas em aeroportos, encomendou à *Spaven Consulting*, um trabalho no sentido de identificar os possíveis problemas de refletividade para os pilotos. Para análise, eles conferiram todos os relatos de refletividade entre os anos de 2010 e 2011 nos bancos de dados da *UK Aircraft Accident Investigation Board* (AAIB) do Reino Unido e do *US National Transportation Safety Board* (NTSB) Americano, ambas as organizações são responsáveis pelas investigações de acidentes e incidentes aeronáuticos em seus países. Em ambos os casos não foram encontrados nenhum relato de refletividade associado às instalações FV (SPAVEN, 2011). O relatório da *Spaven Consulting* ainda observa que, devido à sua pouca reflexão, é improvável que os sistemas solares “a caminho” de um aeroporto causem problemas de refletividade. Além disso, porque o nariz de uma aeronave comercial está inclinado ligeiramente para cima antes da aterrissagem, é mais provável que qualquer refletividade incida na parte inferior do avião do que na sua cabine.

Por outro lado, em 2012 o *Manchester-Boston Regional Airport* em Manchester, New Hampshire, EUA, implantou um sistema de 530 kW no último andar de um edifício garagem de seis andares, que serviam também como cobertura contra o sol para os automóveis no local. O sistema não causou nenhum incômodo aos pilotos, mas os controladores de voo reclamaram que o sistema causava cegueira instantânea nos primeiros 45 minutos da manhã (Fig. 7), de tal forma que foram obrigados a cobrir 25%

do sistema com lonas.

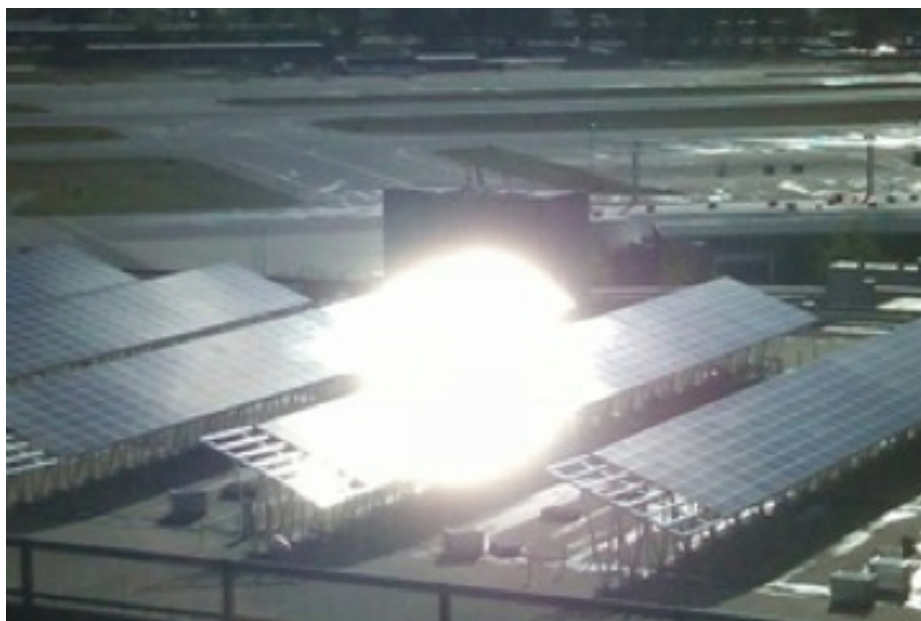


Figura 7 - Imagem do sistema FV do *Manchester-Boston Regional Airport* visto da torre de controle (KANDT; ROMERO, 2014).

Para resolver este problema, foram pensadas as soluções de mover os painéis para outro local, alterar a inclinação e adicionar persianas à torre de controle. O problema foi inserido no programa de computador *Solar Glare Hazard Analysis Tool* (SGHAT) do *Sandia National Laboratories* e a solução encontrada foi a de rotacionar os painéis em 90°, o que resultou em uma perda de 10% de eficiência do sistema (KANDT; ROMERO, 2014).

Na análise de risco de (MOSTAFA *et al.*, 2016), a refletividade ficou com a probabilidade 5, pois pode acontecer várias vezes por ano. A severidade ficou indicada com a classe C, pois se um piloto ou controlador de voo for ofuscado durante as ações críticas de decolagem ou pouso, pode acontecer um acidente grave. Assim, a refletividade ficou com a matriz de risco 5C e, portanto, um risco “inaceitável sob as circunstâncias existentes”.

Para reduzir o nível de risco e evitar que estes problemas ocorram (MOSTAFA *et al.*, 2016) sugeriu adotar alguns dos seguintes cuidados até que, em uma nova avaliação, a matriz de risco resulte em um nível aceitável:

- É necessário que se proceda a um estudo durante a confecção do projeto, sugere-se o programa de computador *Solar Glare Hazard Analysis Tool* (SGHAT) do *Sandia National Laboratories*.
- Os painéis devem ser instalados longe das cabeceiras de aproximação, pouso e decolagem.
- Os painéis devem ser escuros e fabricados com materiais que absorvam a luz.

- Os painéis devem ser cobertos com um revestimento anti-reflexo.
- As superfícies do painel devem ser rugosas, tanto quanto possível. Isso faz com que a luz seja refletida de forma difusa.
- Se necessário, persianas devem ser adicionadas à torre de controle.
- As unidades devem ser giradas para ficarem de costas às rotas e operações no horário do por do sol.
- Finalmente, se necessário, as operações de voo devem ser restritas durante os períodos em que o brilho possa afetar a aeronave.

Ao se adotar as medidas necessárias, a matriz de risco para a refletividade de (MOSTAFA *et al.*, 2016), resultou no nível 1D (aceitável).

O Segundo risco encontrado por (MOSTAFA *et al.*, 2016) foi a interferência eletromagnética que os equipamentos eletrônicos do sistema FV podem causar aos sistemas aeronáuticos. Isto pode ocasionar reflexão dos sinais do radar e/ou a produção de sinais falsos. Além disso, os demais sistemas de auxílio à navegação e pouso são bem sensíveis e críticos para a operação, qualquer interferência com estes equipamentos pode causar problemas significativos. Assim, na análise de risco a interferência eletromagnética ficou com a classificação 4B na matriz de risco sendo, portanto, um risco “inaceitável sob as circunstâncias existentes”.

As sugestões para correção do problema são as seguintes:

- É preciso garantir a não interferência eletromagnética do sistema FV usando quadros blindados.
- Os cabos também precisam ser blindados ou torcidos.
- Os inversores devem possuir filtros ou serem protegidos em locais blindados.
- Instalar o sistema a uma distância de 250-500 pés (76,2 a 152,4 metros) dos sistemas de navegação existentes para minimizar o bloqueio ou reflexão física dos sinais de radar.

Após a adoção das soluções sugeridas, a classificação de risco reduziu para 2C (aceitável com a mitigação do risco).

Como terceira análise, citou-se o risco causado por animais. Dificilmente os aeroportos conseguem eliminar completamente a entrada de animais em sua área. Os painéis FV atraem principalmente pequenos animais (coelhos, cães, gatos e pássaros) por conta de serem ideais para descanso, com locais sombreados e estruturas para empoleiramento. Os pássaros podem se sentir atraídos pelas estruturas do sistema e, eventualmente, voar em direção às aeronaves, causando impacto com estas. Embora recentemente algumas pesquisas em três estados americanos sobre o uso das instalações FV pelos pássaros tenha demonstrado que instalações FV não aumentam

os riscos com pássaros já existentes (MOSTAFA *et al.*, 2016), a classificação deste risco na matriz foi 4B e as medidas de mitigação propostas para levar a classificação ao nível 2B foram:

- O sistema FV deve incluir proteções para evitar a permanência de animais no local.
- Lasers podem ser usados para dissuadir os pássaros de entrar nas áreas dos aeroportos.
- Em última análise e embora indesejável, caça e envenenamento podem ser praticados.

A última análise abordada foi o eventual desprendimento de partes do sistema FV, por qualquer motivo, e possível impacto destas partes em aeronaves, equipamentos ou pessoas. Nestes casos até mesmo pequenas peças, como parafusos, podem causar acidentes sérios se forem sugadas pelas turbinas das aeronaves. A análise deste risco foi classificada como 3B e as medidas de mitigação sugeridas são:

- Fixar bem todas as peças dos módulos FV.
- Examinar regularmente a fixação das peças dos módulos FV.
- Executar a manutenção dos módulos FV.
- Usar barreiras ou cercas para manter as peças que se soltem longe das pistas do aeroporto.
- Afastar o sistema FV das pistas e locais aonde as turbinas das aeronaves possam causar desprendimento.

Após a adoção das soluções sugeridas, a classificação de risco de (MOSTAFA *et al.*, 2016) reduziu para 1A (aceitável com a mitigação do risco).

3 | CONCLUSÕES

Após análise dos riscos relativos à instalação de sistemas FV em aeroportos, verifica-se que as medidas necessárias são relativamente fáceis de implementação. Assim, se conclui que existe uma oportunidade significativa para utilização deste tipo de geração nos aeroportos. Torna-se necessário um quadro detalhado para o projeto, instalação e manutenção do sistema FV para orientar os administradores, pesquisadores e engenheiros.

Durante a fase de projeto, deve-se verificar a localização do sistema FV através de programas computacionais tais como *Solar Glare Hazard Analysis Tool* (SGHAT) do *Sandia National Laboratories*, para avaliação de possíveis problemas com a

refletividade. Para manter a segurança aeronáutica, admite-se uma perda de eficiência na geração FV nestes casos, mas essa perda deve ser avaliada no estudo de retorno do investimento. Também nesta fase, deve-se estudar a melhor localização levando em conta os riscos de interferência eletromagnética, posicionando os painéis FV longe dos equipamentos de navegação e comunicação, bem como afastar de áreas que possam causar o desprendimento de peças.

Na fase de instalação é necessário garantir que todas as partes e componentes estão muito bem fixados, com travas e proteções anti-corrosão. Adicionalmente, deve-se elaborar o plano de manutenção para manter o sistema FV em bom estado para evitar o desprendimento de peças, treinando os envolvidos na manutenção.

Para a fase de manutenção do sistema FV, se deve atender ao plano elaborado na fase anterior, bem como utilizar os meios necessários para evitar a permanência de aves e outros pequenos animais. Limpeza periódica da superfície dos painéis FV evitando acúmulo de poeira e sujeira também deve fazer parte da rotina de manutenção.

Ao tomar estes cuidados e medidas de prevenção, pode-se instalar sistemas FV em áreas de aeroportos de maneira segura, aproveitando a ampla área livre e descoberta destes locais.

REFERÊNCIAS

ANAC. **Plano de ação para redução das emissões de gases do efeito estufa da aviação civil brasileira**. 2015.

ANAC. **Guia para elaboração de manual de gerenciamento da segurança operacional (mgso) - aeródromos classe i e ii**. 2016.

ATAG. **Aviation climate solutions**. Air Transport Action Group, p. 52-53, 2015.

Braun, P.; Jardim, C. d. S.; Rüther, R. **Análise da contribuição energética de sistemas fotovoltaicos integrados em edificações: Aeroporto Internacional de Florianópolis, um estudo de caso**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, MG, p. 260-269, 2007.

Braun, P.; Santos, Í. P. dos; Zomer, C. D.; Rüther, R. **A integração dos sistemas solares fotovoltaicos em seis aeroportos brasileiros utilizando diferentes tecnologias de células solares**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 1, n. 1, p. 12-22, 2010.

Cooper, D. A. I. **Solar Energy Lifts Off at Airports Around the Globe-Solar Power Augments Copper Usage**. 2016. Disponível em: <https://www.copper.org/environment/sustainable-energy/renewables/solar/case-studies/A6176_Solar_Energy_Airports.pdf>. Acesso em: 17/10/2017.

Crespi, M. H. *et al.* **Análise energética e de custo do potencial fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica do complexo aeroportuário de Joinville**. Joinville, 2015.

GOOGLE. **Google Earth** - Versão 7.1.2.2041. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 19/10/2017.

Kandt, A.; Romero, R. **Siting solar photovoltaics at airports**. In: Solar 2014 Conference

Proceedings, San Francisco, CA July. [S.l.: s.n.], 2014.

Mostafa, M. F.; Aleem, S. H. A.; Zobaa, A. F. **Risk assessment and possible mitigation solutions for using solar photovoltaic at airports.** In: IEEE. Power Systems Conference (MEPCON), 2016 Eighteenth International Middle East. [S.l.], 2016. p. 81-88.

Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. d.; Rütther, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** [S.l.]: INPE, 2006.

Plante, J.; Barrett, S.; Vita, P. D.; Miller, R. **Technical guidance for evaluating selected solar technologies on airports.** Federal Aviation Administration, 2010.

Santos, F.; Pinho, J.; Macedo, W. **Estudo da inserção de um sistema fotovoltaico conectado à rede no complexo aeroportuário de Belém-PA.** In: Congresso Ibérico. [S.l.: s.n.], 2008. v. 14.

Soares, R. P. **Eficiência energética em aeroportos contribuições da geração solar fotovoltaica.** Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

Spaven, C. **Solar photovoltaic energy facilities: assessment of potential for impact on aviation.** Spaven Consulting, 2011.

Vieira, C. S. *et al.* **Simulação de gerador solar fotovoltaico integrado à edificação e conectado à rede elétrica para suprir a demanda energética do Aeroporto Internacional Tancredo Neves: um estudo de caso.** 2010.

SOBRE O ORGANIZADOR:

Paulo Jayme Pereira Abdala possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-067-4



9 788572 470674