

# AEROPORTO DE VITÓRIA: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Ana Luiza Guimarães Valory - analuizavalory@gmail.com

Sidney Schaeffer - sidneyy39@gmail.com

Warley Teixeira Guimarães – wtguimaraes@gmail.com

Centro Universitário FAESA – Unidade das Engenharias

**Resumo.** Devido à conscientização mundial da possível escassez dos recursos fósseis (como o petróleo) e à necessidade de redução das emissões de gases nocivos para a atmosfera, como os causadores do efeito estufa, surgiu a preocupação com a utilização de energias renováveis. Uma alternativa que tem se tornado cada vez mais viável é a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. O presente trabalho apresenta a análise da viabilidade e do potencial de geração fotovoltaica das novas instalações do aeroporto de Vitória-ES. O sistema fotovoltaico proposto foi dimensionado para ocupação das coberturas de duas edificações: o terminal de passageiros e a central de utilidades. Com base em uma pesquisa no mercado brasileiro, analisando-se parâmetros como custo e eficiência dos equipamentos, foram definidos os modelos dos módulos fotovoltaicos e inversores de corrente a serem utilizados. Para o sistema proposto, obteve-se um potencial de geração de aproximadamente 2,0 MWp, com a utilização de 7494 módulos fotovoltaicos e 97 inversores de corrente. Os valores estimados para os índices de mérito do SFCR foram satisfatórios, apresentando valores médios para Produtividade de 121,95 kWh/kWp, Taxa de Desempenho de aproximadamente 83,38% e Fator de Capacidade igual a 16,73%. A economia estimada para a utilização do sistema proposto, quando comparado a utilização de energia elétrica integralmente fornecida pela concessionária de energia, é em torno de R\$ 1.135.326,84 ao ano, com tempo de retorno do investimento de aproximadamente 6 (seis) anos. O tempo de retorno é relativamente curto quando comparado ao tempo previsto para atendimento da demanda do aeroporto de Vitória pelas novas instalações. Diante do exposto, considerando-se o bom desempenho do sistema fotovoltaico proposto, torna-se atrativa a possibilidade de utilização dessa fonte de energia renovável.

**Palavras-chave:** Aeroporto de Vitória, Energia Solar, Módulo Fotovoltaico.

## 1. INTRODUÇÃO

A eletricidade vem sendo estudada no mundo desde o século XVII, e com o passar dos anos e o aumento da necessidade da utilização da energia elétrica, foram surgindo novos métodos de produção. Atualmente, a maior parcela da energia elétrica produzida mundialmente é obtida a partir de fontes de energia não renováveis, como o carvão mineral e os derivados do petróleo.

Tais métodos de geração de energia elétrica causam grande impacto ao meio ambiente, sobretudo as termoelétricas a carvão, responsáveis por elevada emissão de gases do efeito estufa. Além disso, a escassez dos recursos naturais é também motivo para preocupação com a utilização de recursos não renováveis na produção de energia elétrica. No Brasil, a geração de energia elétrica teve início no século XIX, por meio de hidroelétricas, sendo esse o mais consolidado entre os métodos de produção utilizados no País. Essa consolidação ocorreu devido às condições favoráveis aqui existentes, como o elevado volume de água dos diversos rios, tornando-se, assim, a produção por hidroelétricas um método economicamente viável e que corresponde, atualmente, de acordo com o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – nov/2017 (Ministério de Minas e Energia, 2017), a cerca de 61% da energia elétrica produzida no país.

No entanto, apesar de as hidroelétricas serem fontes renováveis, esse método de geração de energia causa grande impacto na região de sua instalação, impondo o deslocamento da população humana, além de afetar a fauna e flora local. Além disso, por vezes o nível pluviométrico é inferior ao necessário, de modo que as usinas não são capazes de atender à demanda energética, sendo necessários métodos alternativos de geração de energia que encarecem a conta do consumidor.

Diante da problemática de escassez de recursos naturais, efeitos danosos ao meio ambiente e até mesmo os efeitos causados à sociedade pelos métodos de produção de energia utilizados em grande escala atualmente, acredita-se que a solução mais adequada seja a utilização de energias renováveis, ou seja, energias produzidas através de fontes inesgotáveis obtidas da natureza, como o sol.

Há pouco tempo, a despeito da disponibilidade inesgotável de matéria prima, a produção de energias renováveis era economicamente inviável devido ao alto custo de implantação e manutenção e à baixa produtividade. No entanto, nota-se que este cenário vem sendo modificado. Um exemplo é o setor de energia solar, no qual se tem observado acentuadas quedas de preços dos equipamentos o que, juntamente com os incentivos ofertados pelo governo, leva ao aumento do número de adeptos à produção de energia solar.

De acordo com Paolo Frankl, chefe da divisão de energia renovável da AIE, citado pela revista Exame (2017), atualmente a China, além de líder mundial na fabricação de módulos fotovoltaicos, é o maior produtor de energia solar do mundo e, juntamente com EUA e Índia, irá liderar a expansão solar pelos próximos anos. Segundo dados da Irena (Agência Internacional de Energia Renovável), publicados pela revista Carta Capital (2017), a China assumiu a liderança em potência instalada no ano de 2016.

No Brasil, apesar do grande potencial, a energia solar ainda não atingiu elevados níveis de aproveitamento, ao contrário de países como Alemanha e Itália, que apesar de receberem níveis de radiação solar inferiores ao Brasil, estão entre os líderes mundiais no setor fotovoltaico. Entretanto, já é possível perceber a utilização dessa fonte de energia limpa para diversas finalidades como residencial, hoteleira, industrial e até mesmo para atender aeroportos.

Atualmente, o Aeroporto Internacional de Viracopos, em Campinas (SP), é o único aeroporto a utilizar a energia solar fotovoltaica para autoprodução de energia elétrica e, segundo o presidente do conselho administrativo do aeroporto, João Santana, Viracopos será pioneiro no mundo em sustentabilidade. O Consórcio Construtor de Viracopos (CCV) justificou o uso da tecnologia como uma forma de aumento dos ganhos energéticos, uma vez que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico contribuirá para o abastecimento do novo terminal de passageiros do aeroporto, além de ser uma fonte de energia limpa, reduzindo os danos causados ao meio ambiente. A justificativa é plausível e a iniciativa merece ser disseminada para que outros aeroportos, assim como outros setores, pratiquem a produção de energia limpa no País.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica e apresentar uma proposta de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR) para o novo aeroporto de Vitória-ES.

### 1.1 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

A energia fotovoltaica pode ser produzida e aproveitada de duas formas: a descentralizada, em que se utilizam os sistemas isolados, predominantemente empregados em locais distantes dos centros urbanos ou de difícil acesso, em que o uso da energia elétrica fornecida pelas concessionárias se torna inviável; ou a geração a partir de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR), método de produção de energia solar mais comumente utilizado.

Já os sistemas conectados à rede (*on-grid*) geram energia complementar às redes de distribuição, não formando reservas de energia, uma vez que toda a energia gerada é diretamente injetada na rede. Caso a energia produzida exceda o consumo, a parcela de energia excedente ficará como crédito com a concessionária de energia, podendo ser utilizada pelo proprietário em até sessenta meses. Este tipo de sistema conta basicamente com módulos fotovoltaicos e inversores.

Por não utilizarem acumuladores de energia, como baterias, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede fornecem parte ou toda a energia produzida à rede de distribuição. A Fig. 2 exemplifica o funcionamento do sistema, desde a captação da radiação solar, até a injeção da energia produzida na rede de distribuição.

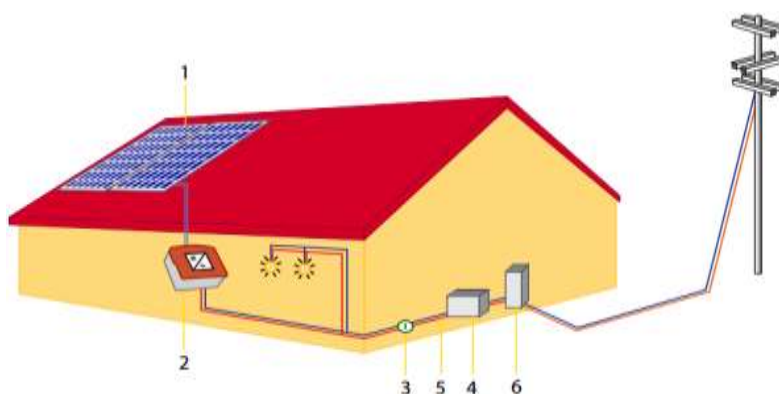


Figura 2 - Funcionamento de um sistema conectado à rede.

Fonte: Souza, 2016.

A produção de energia ocorre a partir da incidência da radiação solar sobre as células que compõem os módulos fotovoltaicos (1). O inversor (2) recebe a energia gerada pelos módulos em corrente contínua e então faz a conversão em energia elétrica de corrente alternada, de forma que seja compatibilizada com a energia fornecida pela rede de distribuição. O quadro de distribuição (4) recebe a energia convertida pelo inversor e a distribui para a demanda solicitada pelos circuitos, alimentando utensílios e eletrodomésticos. Porém, caso a potência gerada seja superior àquela demandada no momento da geração, a energia excedente passa pelo medidor de energia (6) e então é injetada na rede de distribuição. A medição da energia injetada na rede e da energia consumida deve ocorrer separadamente, podendo-se utilizar um medidor bidirecional ou dois medidores, sendo um para cada sentido (PINHO; GALDINO, 2014).

Uma grande vantagem deste método de produção de energia é que, com o acúmulo de créditos gerados em períodos de maior insolação, estes podem ser utilizados em épocas em que os níveis de insolação são menores, como inverno, dias nublados ou chuvosos, podendo assim reduzir ou até eliminar o uso da energia fornecida pela concessionária durante esses períodos. Entretanto, para que haja um maior aproveitamento da radiação solar pelo sistema fotovoltaico, alguns quesitos devem ser estudados de forma a reduzir as perdas do sistema. A orientação dos módulos fotovoltaicos, por exemplo, é de extrema importância, pois afeta diretamente o nível de radiação que o sistema receberá e, conseqüentemente, a quantidade de energia que será produzida.

Segundo Brogren e Green, citados por Santos (2013), “os maiores níveis de irradiação são absorvidos por uma superfície que esteja em um azimute orientado ao Norte (para o hemisfério sul) ou sul (no caso do hemisfério Norte), e que esteja inclinado em ângulo igual à latitude local”.

Dessa forma, Santos (2013) desenvolveu ábacos específicos para as capitais brasileiras, a partir de gráficos de manchas em que as diferenças de cores apresentam os percentuais de irradiação recebidos pelas superfícies. O ábaco de Vitória-ES está representado na Fig. 3 e relaciona o ângulo de inclinação dos módulos ao seu posicionamento geográfico, em função de uma irradiação média de aproximadamente 5 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

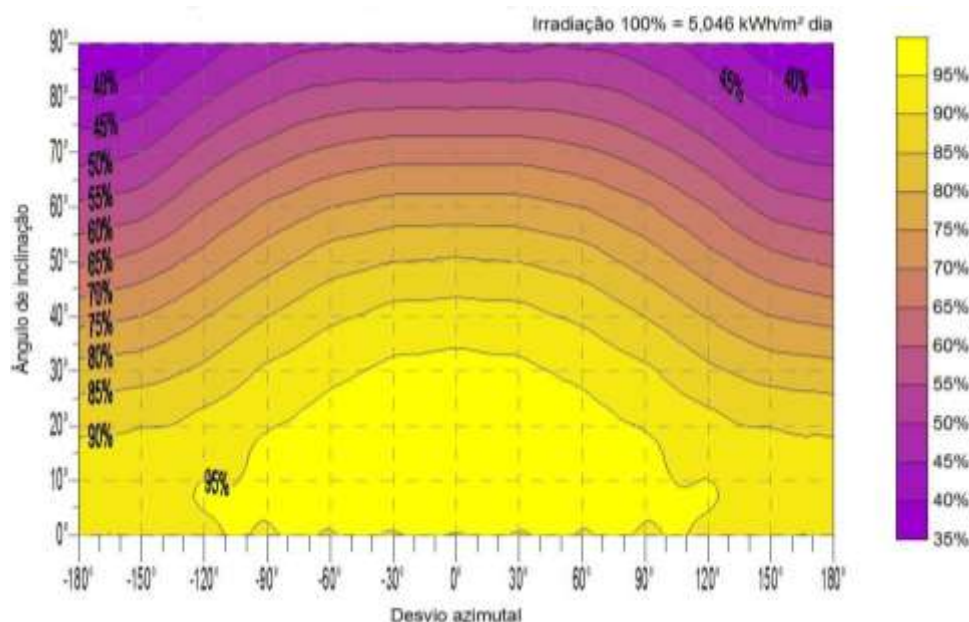


Figura 3 - Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Vitória-ES.

Fonte: Santos, 2013.

É possível observar que sistemas que utilizam módulos fotovoltaicos voltados de leste à oeste, passando pelo norte, podem ter sua perda em função da irradiação reduzida ao valor mínimo de 5%, para ângulos de inclinação entre 0° e aproximadamente 34°, variando em função do desvio azimutal. Dessa forma, para que haja o maior aproveitamento da irradiação, o sistema fotovoltaico deve se enquadrar na mancha central do ábaco, que representa 95% de aproveitamento. Nesse sentido, em Vitória-ES, a maior abrangência ocorre por módulos inclinados na faixa dos 20°, ou seja, módulos com ângulo de inclinação próximo à latitude local.

Outros fatores importantes que acarretam a perda de eficiência dos sistemas fotovoltaicos são o acúmulo de sujeira, intensificado em áreas industriais, com grande tráfego de automóveis ou com clima seco, além do sombreamento parcial, que ocorre devido à objetos próximos aos módulos fotovoltaicos (ARAÚJO *et. al.*, 2016).

Segundo Pinho e Galdino (2014), quando uma ou mais células recebem quantidade de radiação inferior às demais, sua corrente limita a corrente do conjunto inteiro e esse efeito acaba sendo propagado para todos os módulos conectados em série. O sombreamento de uma ou mais células impede que a potência gerada pelas outras seja entregue ao consumo, ocasionando assim a sua dissipação e conseqüente elevação da temperatura. Isso propicia o aparecimento de pontos quentes ou “*hot spot*” e pode causar danos irreversíveis.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir da análise do projeto arquitetônico do novo aeroporto de Vitória-ES, mais especificamente através do levantamento da área de cobertura das edificações, assim como seus respectivos ângulos de inclinação e orientações geográficas.

O ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Vitória-ES, elaborado por Santos (2013) e representado na Fig. 3, foi empregado para estimar as perdas de irradiação referentes à orientação e inclinação de cada cobertura.

Verificou-se também a redução do desempenho dos módulos fotovoltaicos provocada pela deposição de material particulado sobre os suas superfícies na cidade de Vitória-ES, adotando-se como referência o estudo realizado por Guimarães *et. al.* (2013).

Para a definição do módulo fotovoltaico a ser utilizado, realizou-se uma análise comparativa entre o custo do módulo (R\$) e a quantidade de energia produzida em Vitória-ES (kWh) para os modelos disponíveis no mercado, prevalecendo aquele com a menor relação possível.

A partir das dimensões das coberturas, obtidas através de plantas arquitetônicas, foi realizado o cálculo do número de módulos que cada cobertura comporta, considerando-se um espaçamento de no mínimo 50 cm no entorno das coberturas e entre fileiras (a cada duas fileiras) para eventuais manutenções. Em seguida, foi calculada a potência instalada por cobertura.

O dimensionamento dos inversores baseou-se no fato de que a tensão da fileira de módulos associados em série não pode exceder a tensão máxima na entrada do inversor. Segundo Pinho e Galdino (2014), o Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) é a relação entre a potência nominal (CA) do inversor e a potência de pico do módulo fotovoltaico, geralmente situado na faixa de 0,75 a 0,85, em que seu limite superior é de 1,05. Dessa forma, calculou-se o FDI utilizando a Eq. (1).

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \quad (1)$$

sendo: FDI = Fator de dimensionamento do inversor;  $P_{Nca}$  = Potência nominal em corrente alternada do inversor [W];  $P_{FV}$  = Potência de pico dos módulos fotovoltaicos [Wp].

A análise de desempenho do sistema fotovoltaico, essencial para a definição das expectativas do retorno econômico, foi realizada a partir de três índices de mérito, a Produtividade (*Yield*), calculada através da Eq. (2), a Taxa de Desempenho (*Performance Ratio*), calculada através da Eq. (3) e o Fator de Capacidade (FC), calculado através da Eq. (4).

$$Y = \frac{E}{P} \quad (2)$$

em que: Y = Produtividade (kWh/kWp); E = Energia gerada pelo sistema (kWh); P = Potência nominal instalada (kWp). Considerando que o sistema não encontra-se instalado, considerou-se valores estimados para E e P.

$$PR = \frac{Y}{I/Q} \quad (3)$$

sendo: PR = Taxa de Desempenho (%); Y = Produtividade (kWh/kWp); I = Irradiação sobre os módulos (Wh/m<sup>2</sup>); Q = Quantidade de horas de sol (representada pelo valor de 1.000 W/m<sup>2</sup>).

$$FC = \frac{E}{P \cdot 24 \cdot D} \quad (4)$$

onde: FC = Fator de Capacidade (%); E = Energia estimada gerada (kWh); P = Potência estimada gerada dos módulos (kWp); D = Número de dias no mês (dias).

O cálculo do abatimento na fatura mensal de energia foi realizado através da Eq. (6), em função do custo total da energia elétrica, calculado através da Eq. (5).

$$Ce = TUSD + Te + T \quad (5)$$

em que: Ce = Custo energia elétrica [R\$/kWh]; TUSD = Tarifa de uso do sistema de distribuição [R\$/kW]; Te = Tarifa de energia elétrica [R\$/kWh]; T = Tributos [%]

$$A = E \times Ce \quad (6)$$

sendo: A = Abatimento na fatura mensal de energia [R\$]; E = Energia estimada gerada pelo sistema [kWh/mês]; Ce = Custo energia elétrica [R\$/kWh].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema fotovoltaico proposto foi destinado a cinco coberturas, sendo quatro delas componentes de uma mesma edificação, o terminal de passageiros (TPS) e a quinta cobertura componente da central de utilidades (CUT). As respectivas coberturas foram representadas e identificadas na Fig. 4 e na Fig. 5.



Figura 4 - Identificação das coberturas 01 a 04 - TPS  
 Fonte: Imagem fornecida pela INFRAERO (adaptada pelos autores).



Figura 5 - Identificação da cobertura 05 - CUT  
 Fonte: Imagem fornecida pela INFRAERO (adaptada pelos autores).

As informações obtidas preliminarmente para o estudo do potencial de geração de energia fotovoltaica do novo aeroporto de Vitória-ES estão descritas na Tab. 1.

Tabela 1 – Informações das coberturas das edificações do aeroporto.

Identificação	Área (m <sup>2</sup> )	Orientação geográfica	Inclinação (°)
Cobertura 01	3.228,92	Leste	6
Cobertura 02	7.059,52	Oeste	5
Cobertura 03	1.790,61	Leste / Oeste	3
Cobertura 04	309,67	Leste	5
Cobertura 05	2.103,44	Norte	3

As áreas consideradas na Tab. 1 são referentes às áreas de insolação plena apresentadas por cada cobertura, uma vez que a arquitetura do terminal de passageiros do novo aeroporto de Vitória favorece o sombreamento dos módulos fotovoltaicos instalados sobre as coberturas 01, 02 e 04 ao longo do dia. Dessa forma, desconsiderou-se aproximadamente 3.574,93 m<sup>2</sup> da área de cobertura disponível no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

A orientação geográfica e o ângulo de inclinação das coberturas foram utilizados na detecção das perdas de irradiação, através do âbaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Vitória, conforme Fig. 3. Dessa forma, foi estimada em 5% a perda média por inclinação das coberturas.

Além das perdas relacionadas à irradiação, também foram consideradas aquelas relacionadas ao sombreamento causado pela deposição de material particulado sobre as superfícies dos módulos. Segundo Guimarães et. al. (2013), a redução de desempenho dos módulos, decorrente da poluição atmosférica em Vitória, é cerca de 10% para sistemas cuja limpeza ocorre a cada sessenta dias. Dessa forma, as perdas acumuladas para um sistema fotovoltaico instalado no novo aeroporto de Vitória-ES foram estimadas em 15% sobre o desempenho dos módulos fotovoltaicos.

### 3.1 Dimensionamento do potencial de geração fotovoltaica

A partir da análise comparativa realizada entre os modelos de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado durante o mês de abril de 2017, cujos parâmetros foram o custo do módulo (R\$) e a quantidade de energia produzida em Vitória-ES (kWh), de forma a obter a melhor relação custo-benefício foi definida a utilização dos módulos Canadian Solar CS6K – 265P para o dimensionamento do sistema. A Tab. 2 apresenta as características desses módulos.

Tabela 2 – Características dos módulos fotovoltaicos Canadian Solar CS6K – 265P

Parâmetro	Especificação
Fabricante	Canadian Solar
Modelo	CS6K - 265P
Tipo de célula	Silício policristalino
Dimensões (mm)	1650 x 992 x 40 mm
Eficiência	16,19 %
Máxima potência	265 W
Tensão de máxima potência (V <sub>mpp</sub> )	36,6 V
Corrente de máxima potência (I <sub>mpp</sub> )	8,61 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	37,7 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	9,23 A
Coefficiente de temperatura (V <sub>oc</sub> )	-0,31 % / °C

A área total disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos, dada pela soma das áreas de insolação plena das coberturas 01, 02, 03, 04 e 05 é de aproximadamente 14.492,16 m<sup>2</sup>. Assim, o número de módulos e a potência instalada que cada cobertura comporta estão expressos na Tab. 3.

Tabela 3 – Quantidade de módulos fotovoltaicos por cobertura

Identificação	Número de módulos fotovoltaicos	Potência (kWp)
Coberturas 01,02,03 e 04	6.438	1.706,07
Cobertura 05	1.056	279,84
<b>TOTAL</b>	<b>7.494</b>	<b>1.985,91</b>

O resultado obtido na Tab. 3 indica que a capacidade de potência total proposta para o novo aeroporto de Vitória-ES é de aproximadamente 2,0 MWp, enquadrando-se na classe de minigeração, conforme definido pela Resolução Normativa nº 482/2012, atualizada pela Resolução Normativa nº 687/2015, ambas da ANEEL. Para o dimensionamento, foi empregado o valor médio de radiação solar no plano horizontal em Vitória-ES de aproximadamente 5,046 kWh/m<sup>2</sup>.dia (SANTOS, 2013). Considerando-se a área de aproximadamente 1,64m<sup>2</sup> do módulo selecionado, a eficiência dos módulos de 16,19% e a eficiência dos inversores de 98,1%, descontando-se ainda as perdas por orientação e inclinação de cada cobertura, além da perda de desempenho do sistema devido à poluição atmosférica, obteve-se, para a totalidade de módulos fotovoltaicos, um potencial de geração de energia de aproximadamente 250,7 MWh/mês para o novo aeroporto de Vitória-ES.

O inversor que melhor se adequou ao sistema em estudo foi o Fronius Symo 20.0-3-M, cujas especificações encontram-se descritas na Tab. 4.

Além do inversor de 20 kW, fez-se necessária a utilização de um inversor de menor potência para complementação dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que a utilização apenas de inversores de 20 kW acarretaria na subutilização de um inversor do sistema, pois a ele seria conectado um número de módulos inferior à sua capacidade. Decidiu-se pela utilização do inversor Fronius Symo 12.5-3-M, cujas especificações encontram-se descritas na Tab. 5.

Tabela 4 – Características do inversor Fronius Symo 20.0-3-M.

Parâmetro	Especificação
Fabricante	Fronius
Modelo	Symo 20.0-3-M
Voltagem máxima CC	1000 Vcc
Corrente máxima CC	33 A
Potência máxima	20 kW
Eficiência	98,1 %

Tabela 5 – Característica do inversor Fronius Symo 12.5-3-M.

Parâmetro	Especificação
Fabricante	Fronius
Modelo	Symo 12.5-3-M
Voltagem máxima CC	1000 Vcc
Corrente máxima CC	27 A
Potência máxima	12,5 kW
Eficiência	98 %

Para a determinação do número de módulos por inversor, foi considerada a correção da tensão de circuito aberto (Voc) em função da temperatura ambiente, obtendo-se um valor para tensão total igual 40,04 V. Dessa forma, foram estabelecidos 78 módulos para cada inversor de 20 kW e 42 módulos para cada inversor de 12,5 kW.

Para os sistemas cuja potência máxima do inversor é de 20 kW, cada inversor receberá a conexão de 6 fileiras de módulos, sendo que cada uma delas será composta por 13 módulos interligados em série, conforme Fig. 6.

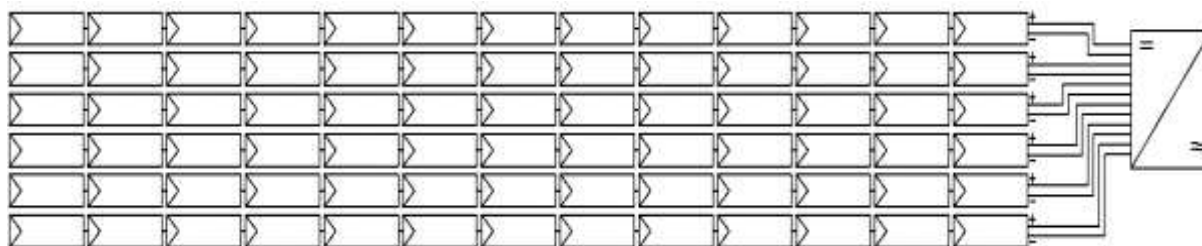


Figura 6 - Representação do arranjo do sistema para inversores de 20 kW

Para o inversor cuja potência máxima é de 12,5 kW, cada inversor receberá a conexão de 6 fileiras, cada uma delas composta por 7 módulos interligados em série, conforme Fig. 7.

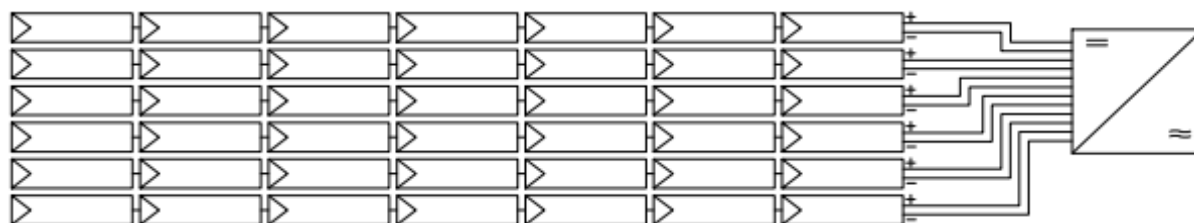


Figura 7 - Representação do arranjo em série do sistema para inversores de 12,5 kW

Em seguida, foi determinado o número de inversores necessários para atender o projeto, considerando a união entre os sistemas das coberturas 01, 02, 03 e 04, por estarem presentes em um única edificação, conforme resultado expresso na Tab. 6.

Tabela 6 – Número de inversores destinados a cada cobertura.

Identificação	Inversor 20 kW	Inversor 12,5 kW
Coberturas 01, 02, 03 e 04	82	1
Cobertura 05	13	1
<b>TOTAL</b>	<b>95</b>	<b>2</b>

Com o intuito de comparar o desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica com outro sistema de características distintas ou que esteja instalado em outra localidade, foram empregados os índices de mérito: produtividade ou *Yield* (Y), taxa de desempenho ou *Performance Ratio* (PR) e fator de capacidade (FC). Os índices de mérito foram calculados com base na irradiação estimada diária média mensal sobre os módulos para o plano inclinado (20°) fornecida pelo CRESESB (2017), conforme Fig. 8, obtendo-se um valor médio para cada índice estudado.

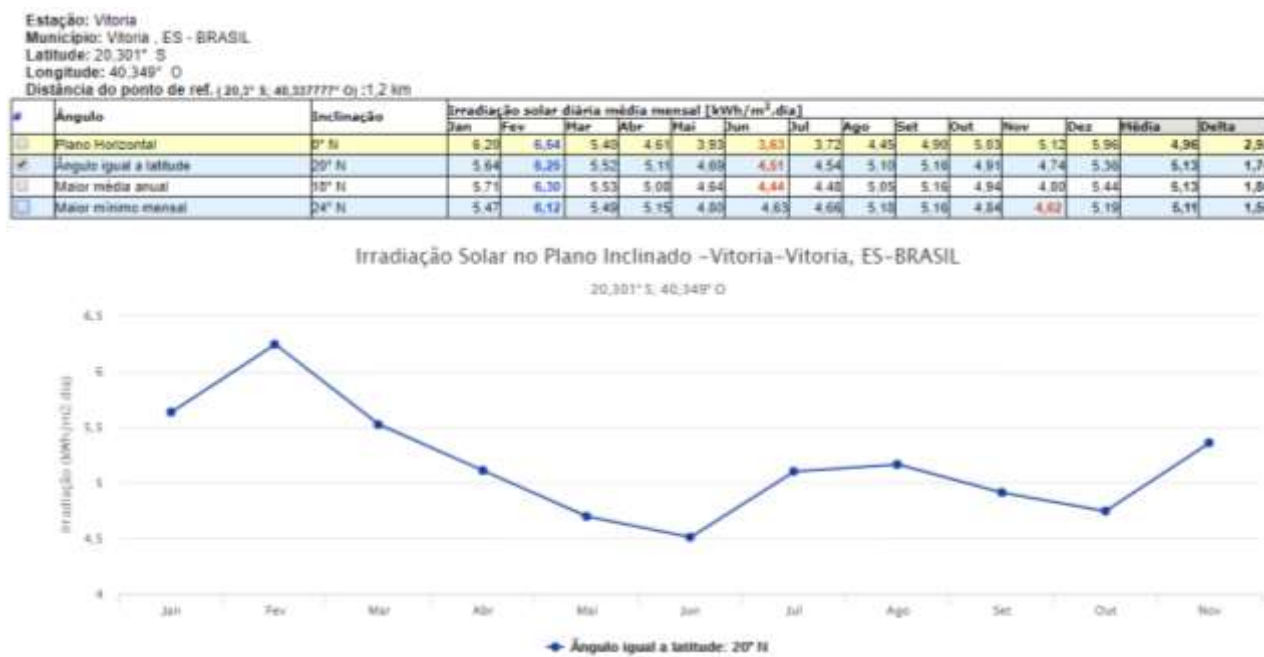


Figura 8 – Irradiação solar no plano inclinado para Vitória/ES

Considerando-se um período de um ano, obteve-se um valor médio de 127,93 kWh/kWp para o índice Produtividade, que é a relação entre a energia gerada pelo sistema mensalmente (kWh) e a potência nominal instalada. Já para a Taxa de Desempenho, determinada através da relação entre a Produtividade e a quantidade de horas de sol a 1.000 W/m² incidentes no módulo fotovoltaico ao longo de um ano de operação, obteve-se um valor médio de 83,38%. Para o Fator de Capacidade, razão entre a energia real entregue pelo sistema e a energia que o sistema entregaria se operasse 24 horas por dia na sua potência nominal, obteve-se um valor médio de 17,56%. Os valores encontrados são similares aos encontrados nas referências bibliográficas.

O custo total estimado para módulos, inversores e kit's de estruturas de montagem dos módulos é em torno de R\$ 6.767.113,52. Considerando-se o valor da energia estimada gerada pelo sistema, juntamente com o custo da energia elétrica na modalidade tarifária a qual se enquadra o empreendimento (verde), acrescido das alíquotas referentes aos tributos PIS (1,32%), COFINS (6,10%) e ICMS (25,00%), obteve-se um abatimento na fatura mensal de energia na ordem de R\$ 94.610,57, o que equivale a cerca de R\$ 1.135.326,84 ao ano. Sendo assim, o retorno do investimento realizado em módulos fotovoltaicos, inversores de corrente e kits de montagem acontecerá em aproximadamente 6 anos.

#### 4. CONCLUSÃO

Diante do bom desempenho estimado para o sistema fotovoltaico proposto, comprovado pelos índices de mérito, mostra-se atrativa a possibilidade de utilização da fonte solar para a minigeração própria de energia elétrica no novo aeroporto de Vitória-ES, uma vez que é vasta a área disponível para a implantação do sistema, além de não interferir no seu adequado funcionamento.

Estima-se que o novo terminal de passageiros do aeroporto de Vitória atenderá a demanda até o ano 2035, sem a necessidade de ampliações neste período. Dessa forma, é possível inferir que o sistema fotovoltaico de 2,0 MWp



proposto atenderá satisfatoriamente a demanda de energia, em virtude do baixo custo de manutenção e da elevada vida útil dos equipamentos selecionados, com tempo de retorno do investimento relativamente curto, uma vez que foi estimado em cerca de 6 anos para o sistema proposto.

Sendo assim, pode-se concluir que a instalação do sistema fotovoltaico no novo aeroporto de Vitória-ES afetará de forma significativa na redução dos custos de energia elétrica ao longo da vida útil do sistema, além de contribuir para a redução dos impactos socioambientais da geração de energia.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012; Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.
- ANEEL. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.
- Araújo, A. J. N.; Rank, N. I.; Bueno, T. B. A. Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba. 2016. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <[http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015\\_2\\_27/2015\\_2\\_27\\_final.pdf](http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_2_27/2015_2_27_final.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2017.
- CRESESB. Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&2016>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- Guimarães, W. T. *et. al.* Influência da poluição atmosférica sobre o desempenho de módulos fotovoltaicos em Vitória, ES. Revista Científica da FAESA, v. 9, p. 19-25, 2013.
- Hirtenstein, A. Geração solar cresce mais que todas as demais formas de energia. Revista Exame, 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/geracao-solar-cresce-mais-que-todas-as-demais-formas-de-energia/#>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- Ministério de Minas e Energia. Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – nov/2017. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico++Novembro++2017\\_1.pdf/25f64f4a-ecdf-463f-ba58-968166fbf7ab](http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico++Novembro++2017_1.pdf/25f64f4a-ecdf-463f-ba58-968166fbf7ab)>. Acesso em: 17 jan. 2018.
- Pinho, T. J.; Galdino, A. M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- Rueter, G. Produção de energia renovável bateu recorde em 2016. Revista Carta Capital, 2017. Disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/sustentabilidade/producao-de-energia-renovavel-bateu-recorde-em-2016>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- Santos, I. P. dos. Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <[http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese\\_IsisPortolanDosSantos.pdf](http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_IsisPortolanDosSantos.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2017.
- Souza, R. di. 2016. Os sistemas de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

## VITÓRIA AIRPORT: STUDY OF THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY GENERATION POTENTIAL

**Abstract.** Due to worldwide awareness of the possible scarcity of fossil resources (such as oil) and the need to reduce emissions of greenhouse gases such as those responsible for the greenhouse effect, concern has been expressed about the use of renewable energy sources. An alternative that has become increasingly feasible is the use of grid-connected photovoltaic systems. The present work presents the feasibility analysis and the photovoltaic generation potential of the new facilities at the Vitória-ES airport. The proposed photovoltaic system was designed to occupy the roofs of two buildings: the passenger terminal and the utility center. Based on a research in the Brazilian market, analyzing parameters such as cost and efficiency of the equipment, the models of photovoltaic modules and current inverters to be used were defined. For the proposed system, a generation potential of approximately 2.0 MWp was obtained, using 7494 photovoltaic modules and 97 current inverters. The estimated values for SFCR merit index were satisfactory, with average values for Productivity of 121.95 kWh / kWp, Performance Rate of approximately 83.38% and Capacity Factor of 16.73%. The estimated savings for the use of the proposed system, when compared to the use of electric energy fully supplied by the energy concessionaire, is around R\$ 1,135,326.84 per year, with an investment return time of approximately 6 (six) years. The return time is relatively short compared to the expected time to meet demand from Vitória airport for the new facilities. Considering the above, considering the good performance of the proposed photovoltaic system, the possibility of using this renewable energy source becomes attractive.

**Keywords:** Photovoltaic Module, Solar Energy, Vitória Airport.