

## **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AEROPORTOS: CONTRIBUIÇÕES DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**

**Rodrigo Perrone Soares (1); Ísis Portolan dos Santos (2)**

(1) Especialista em Eficiência Energética em Processos Produtivos, Arquiteto e Urbanista, arquiteturarps@hotmail.com, INFRAERO, Rua Almirante Gonçalves, 127/204 - Menino Deus - Porto Alegre/RS. Tel 51-98404-5040.

(2) Doutora em Engenharia Civil, Arquiteta e Urbanista, email: isisporto@gmail.com. Professora da UFSM, Av. Roraima, 1000 – CAU – UFSM-Santa Maria-RS, Tel.: 55-98147-9204

### **RESUMO**

Com o aumento significativo dos passageiros em voos comerciais nos últimos anos, os aeroportos Brasileiros necessitaram aumentar sua capacidade, com o desafio de manter o conforto e as operações de voo em turno integral. Para possibilitar esses serviços, é necessária a utilização de potentes equipamentos nas edificações, capazes de torná-las confortável termicamente, com iluminação adequada e com sistemas de voo em operação segura. Isso exige, mesmo em meio às previsões de uma crise energética global, um alto consumo energético nos aeroportos, que são normalmente edificadas em locais amplos e livres de sombreamento. Aliando as ferramentas existentes para a eficiência energética, como painéis fotovoltaicos, às recentes políticas públicas de incentivo à geração de energia, os Terminais de Passageiros se apresentam como um grande potencial para aproveitamento da energia solar, com consequente redução do consumo de energia de redes públicas, diminuindo ainda os custos com energia da própria edificação. Neste estudo, foram analisadas as demandas atuais de energia e as possibilidades de contribuição da geração fotovoltaica instalada na edificação do Terminal de Passageiros do Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre - RS. A metodologia utilizada iniciou através do estudo da forma da edificação e verificação do aproveitamento da mesma para geração fotovoltaica, além do levantamento de dados da demanda por energia elétrica e disponibilidade de irradiação solar na cidade, e por fim o dimensionamento do sistema fotovoltaico e seu potencial de contribuição à demanda. O estudo observou que a inserção fotovoltaica pode corresponder até 8% da energia consumida pela edificação, contribuindo para diminuição dos gastos com condicionamento de ar, sendo uma alternativa de inserção com mínima interrupção do funcionamento dos aeroportos.

Palavras-chave: eficiência energética, integração fotovoltaica à arquitetura, sustentabilidade em aeroportos.

### **ABSTRACT**

Significant increase of passengers happened last years on commercial flights in Brazil. Therefore Brazilian airports needed to increase their capacity, with the challenge of maintaining the comfort and flight operations at full time. In order to enable these services use of powerful conditioning equipments is required, to make it comfortable, with adequate lighting and flight systems in operation. Despite predictions of a global energy crisis, airports require high energy consumption, but their location is usually in open and sunny fields. Combining existing tools for energy efficiency, such as photovoltaic panels, and the recent governmental policies to encourage energy generation, passenger terminals appear as a great potential for using solar energy, with consequent reduction of public grid's energy consumption, also reducing energy costs. In this study, was analyzed the current energy demands and the possible contribution of photovoltaic generation at the passenger terminal from Salgado Filho International Airport in Porto Alegre-RS. Methodology starts by studying architectural building plans to check for potential photovoltaic generation and local electricity demand survey data and solar radiation availability, reaching conclusions about market technologies and photovoltaic generation systems. Finally, was found that photovoltaic generation could contribute with almost 8% of total energy consumption, this could decrease air condition consumption with less impact on daily work in the airport.

Keywords: energy efficiency, building applied photovoltaic, airport sustainability

## 1. INTRODUÇÃO

Com papel fundamental na infraestrutura de transportes de qualquer país, os Aeroportos têm crescido sua demanda acima do esperado nos últimos anos, obrigando a modernização e ampliação do setor. Assim como em outros países, o número de passageiros aumentou significativamente no Brasil, alavancado ainda por uma economia que favoreceu o acesso ao transporte aéreo para as diferentes classes sociais nos últimos anos. Com isso, os aeroportos precisam operar durante as 24 horas do dia, nos 365 dias do ano, fornecendo a infraestrutura necessária ao conforto dos passageiros, como climatização, iluminação, escadas rolantes e elevadores, assim como à segurança da aviação, através dos diversos equipamentos que funcionam ininterruptamente (KAMARA et. al, 2000).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2017) os aeroportos representam 5% do consumo anual de energia no mundo. Esse consumo equivale a mais de 12 milhões de toneladas de petróleo quantitativo que deve triplicar até 2050 pela expansão dos aeroportos e suas projeções numéricas (IEA, 2016).

Atualmente, o número de ações concretizadas, visando à eficiência energética dos aeroportos brasileiros, são relativamente pequenas, apesar das muitas potencialidades características a essa tipologia de edificação. A eficiência dos diversos sistemas, como iluminação, climatização, equipamentos de circulação, entre outros, pode representar um impacto positivo na fatura de energia, além de garantir o retorno dos investimentos em equipamentos em curto ou médio prazo, devido ao tamanho e intensidade de uso da edificação. Além disso, o posicionamento geográfico dos aeroportos e suas normas restritivas de volumetria favorecem a prospecção por sistemas de geração local de energia, como painéis fotovoltaicos, em especial para os Terminais de Passageiros.

Para esse estudo, o foco foi o Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre, mais especificamente o Terminal de Passageiros 1. Assim, foi possível diagnosticar e avaliar os principais sistemas consumidores de energia, como climatização e iluminação, assim como as potencialidades de geração local de energia.

O Aeroporto Internacional de Porto Alegre/Salgado Filho ocupa uma área patrimonial que tem a sua origem na antiga Sesmaria de Jerônimo de Ornellas. Em 1923 terminava a construção do primeiro Aeroporto de Porto Alegre, que pertencia ao Serviço de Aviação da Brigada Militar. Em 7 de janeiro de 1974, a Infraero assumiu a administração, operacionalidade e exploração comercial e industrial do aeroporto.

Desde 1993, o prédio do aeroporto passou por reformas proporcionando melhorias aos usuários. Neste ano foi realizada a modernização da marquise em frente ao aeroporto, a remodelação da sala de embarque 1, a duplicação da sala de embarque 3 e a ampliação do desembarque doméstico. Em 1994 foi instalado o elevador hidráulico que facilita o acesso ao segundo piso; a climatização com ar condicionado central e a construção do berçário. Em 1995 foram concluídas a ampliação do Terminal de Cargas e a instalação da segunda esteira de bagagem no desembarque doméstico. Em 1996, o terraço panorâmico foi fechado com vidros e climatizado e, em 28 de dezembro de 1996, foi assinada a ordem de serviço para início da construção do novo Complexo Aeroportuário Internacional Salgado Filho. Em outubro de 2001 foi inaugurado o novo Terminal do Aeroporto Internacional Salgado Filho. As obras foram iniciadas em janeiro de 1997 e concluídas em setembro de 2001. Em dezembro de 2010 foi reinaugurado o antigo terminal de passageiros (INFRAERO, 2003).

A grande maioria das edificações desperdiça relevantes oportunidades de poupar energia pela não consideração desde o projeto arquitetônico, passando pela construção até a utilização final de tecnologias eficientes. Importantes desenvolvimentos nas áreas da arquitetura, materiais, equipamentos e tecnologias construtivas, vinculados à eficiência energética, acabam não sendo aplicados pelo entendimento equivocado que seus custos são mais elevados, os que nem sempre é verdadeiro. Da mesma forma, técnicas de restauração de edificações (“retrofits”) permitem aumentar substancialmente a eficiência energética de prédios existentes, e são atualmente recomendados pela legislação (BRASIL, 2002).

Alguns estudos já discutem o potencial da geração fotovoltaica integrada a complexos aeroportuários, visando integrar aos aeroportos brasileiros a utilização da energia solar como fonte de energia alternativa (BRAUN et al, 2007; VIEIRA e RUTHER, 2010; ZOMER et al, 2013 e SANTOS et al, 2008).

Assim, torna-se necessária a criação de ferramentas que subsidiem os agentes envolvidos na concepção dos empreendimentos na adoção de novas técnicas construtivas em substituição às convencionais (GIMENES, 2004). Ferramentas comparativas, evidenciando o custo-benefício da substituição dos sistemas atuais de fornecimento e utilização de energia são fundamentais para possibilitar a inclusão de novas práticas de planejamento e construção de empreendimentos. Tal estudo justifica-se, ainda, ao ser considerado o impacto ambiental dos aeroportos, não apenas pelo consumo de energia, mas também, pela poluição causada

pela emissão de gases na atmosfera pelas aeronaves. A implementação de sistemas conservadores de energia e utilização de fontes renováveis pode representar também uma busca pela compensação pelos danos causados ao meio ambiente.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo geral deste trabalho foi verificar a possibilidade de geração fotovoltaica no aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre como estratégia de eficiência energética.

## **3. MÉTODO**

Para identificação da demanda atual por energia, foi elaborado um estudo de caso no Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre no Terminal de Passageiros 1 (TPS), por possuir a maior demanda, e também a maior área de cobertura com maior potencial de geração fotovoltaica, dentre as diversas edificações que compõem a área aeroportuária.

O desenvolvimento metodológico deste trabalho iniciou pela coleta de dados de consumo energético da edificação (separado por consumo de climatização, iluminação, sistemas eletrônicos, entre outros). Em uma segunda etapa estes dados foram analisados para identificação dos sistemas mais críticos, analisando ainda as épocas do ano com maiores picos de consumo e convertendo tais valores energéticos em custo financeiro para a administradora dos aeroportos. Também foi feita a análise da oferta de irradiação solar na cidade de Porto Alegre-RS e seu potencial de transformação através de sistemas fotovoltaicos. Ao fim foram analisadas as possibilidades de implantação dos sistemas de geração de energia fotovoltaica através das plantas do sítio aeroportuário e das plantas de cobertura das edificações.

### **3.1. Coleta de dados de consumo energético da edificação e Análise climática**

Esta etapa previu o levantamento do consumo total energético do TPS, incluindo seus principais equipamentos e sistemas. Através da obtenção dos valores expressos na fatura única da concessionária de energia e dados da área de manutenção do aeroporto foi possível a identificação dos sistemas mais críticos, os picos de consumo e valores de consumo mensal. Foram levantadas as diversas faturas ao longo de um ano (outubro de 2013 a setembro de 2014). Todas informações do aeroporto foram obtidas pelo autor funcionário da INFRAERO, sendo disponibilizada pelos arquivos disponíveis aos funcionários e autorização do uso para pesquisa. A análise e interpretação dos dados de consumo do aeroporto foram realizadas com a identificação dos sistemas com maior e menor consumo, bem como épocas do ano de maior consumo, levando-se em consideração o montante financeiro desembolsado em cada situação. A análise climática foi feita através de pesquisas no banco do SUNDATA (CRESCESB, 2015) para verificar a oferta de irradiação solar nas diferentes épocas do ano.

### **3.2. Estudo da edificação, consumo e configuração arquitetônica**

O estudo da edificação contemplou a análise para implantação dos sistemas de aproveitamento da energia solar, através de módulos fotovoltaicos. Para tal, foi necessário o estudo detalhado da orientação do edifício, identificando as áreas de telhados e as características dos mesmos, como inclinação, estrutura, orientação e localização. Além disso, foi feita uma breve análise nos sistemas consumidores onde, caso necessário, foram identificadas ações, com o objetivo de diminuir o consumo do mesmo.

### **3.3. Estimativas de geração e demanda**

A estimativa de geração e demanda foi feita a partir da análise de três tecnologias fotovoltaicas diferentes, gerando então 3 diferentes cenários. De cada um foi verificado o custo do sistema, estimado o tempo de retorno do investimento e os ganhos ao final da garantia dos equipamentos. As tecnologias estudadas foram filmes finos, silício policristalino e silício monocristalino, escolhidas por apresentarem diferenças substanciais de eficiência, o que implica em grandes diferenças de potência na mesma área disponível. Por fim foi identificado o percentual atendido pela proposta de geração fotovoltaica e identificadas as possibilidades de melhoria do balanço energético. Os cálculos de dimensionamento foram feitos utilizando a NBR 10899 (ABNT, 2013), considerando a área disponível e requisitos de instalação do sistema fotovoltaico.

O dimensionamento foi feito com base na disponibilidade de área para instalação, então foi inicialmente verificada a área de cada um dos módulos e feita a distribuição dos mesmos na área de

cobertura disponível no terminal de passageiros. A partir disso foi determinada a potência total do sistema e estimada a geração de energia, conforme Equação 1.

$$P_{FV} = \frac{E.G_{STC}}{H_{TOT}.TD} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$P_{FV}$  = Potência fotovoltaica a ser instalada [Wp];

$E$  = Energia a ser gerada pelo sistema fotovoltaico [Wh];

$G_{STC}$  = irradiância na condição STC [1000W/m<sup>2</sup>];

$H_{TOT}$  = irradiação total [Wh/m<sup>2</sup>];

$TD$  = taxa de desempenho do sistema fotovoltaico [80%].

## 4. RESULTADOS

Os resultados apresentam o levantamento de dados da edificação e também as simulações e estratégias de eficiência energética.

### 4.1. Consumo energético da edificação

Com o auxílio de um sistema de Gerenciamento de Contratos de Energia da Infraero (INFRAERO, 2015), foi possível coletar informações confiáveis sobre o consumo de energia dos aeroportos da Regional Sul e de todas as edificações do sítio Aeroportuário. Dentre os 12 Aeroportos da Regional Sul da Infraero, que compreende Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, o Aeroporto de Porto Alegre (SBPA) representa o maior consumo, com cerca de 39% do consumo total da Regional. Esse consumo contribui significativamente nos custos com energia elétrica dessa regional, havendo sido gastos, entre Setembro de 2013 e Setembro de 2014, mais de 7 milhões de reais.

Para detalhar o importante consumo de energia do SBPA, foram levantados os dados das principais unidades consumidoras do Aeroporto. Constatou-se que o TPS tem importante contribuição no consumo de energia elétrica do Aeroporto, responsável por cerca de 73% do total.

Primeiramente, levantou-se o consumo total do TPS-1, no período de 12 meses, entre Outubro de 2013 e Setembro de 2014, em kWh, conforme Tabela 1. A partir da definição do consumo total, tornou-se importante ao estudo o detalhamento desse consumo, definindo os percentuais de consumo em Horário de Ponta (período de 3 horas diárias, geralmente noturnas, onde o fornecimento de energia é mais caro) e o consumo Fora de Ponta do TPS. Foi possível constatar que o mês de Junho de 2014 apresentou os menores valores de consumo, tanto em Horário de Ponta quanto Fora de Ponta, enquanto nesses mesmos horários, os picos de consumo estiveram entre os meses de Janeiro e Fevereiro de 2014.

Tabela 1: Consumo total do TPS, em kWh, entre 2013 e 2014.

Mês	Consumo energético
OUT /13	1.200.634,00
NOV /13	1.269.822,00
DEZ /13	1.272.296,00
JAN /14	<b>1.486.483,00</b>
FEV /14	1.475.057,00
MAR /14	1.224.520,00
ABR /14	1.304.878,00
MAI /14	1.047.786,00
JUN /14	<b>953.598,00</b>
JUL /14	1.086.529,00
AGO /14	1.052.257,00
SET /14	1.054.111,00
<b>T O T A L</b>	<b>3.742.752,00</b>

Em concordância aos picos de consumo, observou-se extrapolação das demandas contratadas nos meses de dezembro a março, que se deve ao maior volume de passageiros e à necessidade de climatização dos ambientes, pois se tratam dos meses mais quentes na região. Com isso, foi levantada ainda a contribuição

dos diferentes sistemas do TPS, no intuito de identificar os de maior consumo de energia na edificação. Pela disponibilidade de dados, foi possível fazer o levantamento apenas dos 4 principais transformadores. Através de consultas às áreas de engenharia, estimou-se que os 3 primeiros transformadores representavam os diferentes sistemas utilizados no prédio, enquanto o Transformador 4 era dedicado aos equipamentos de Ar Condicionado. Assim é possível perceber, que o sistema de Ar Condicionado responde por 40% do consumo total da edificação. Conforme informado pelos técnicos da Infraero, tal consumo pode chegar a 60% nos meses mais quentes. Observa-se que neste caso a geração fotovoltaica pode ser inserida diretamente na eficientização dos processos de climatização, ou seja, ao invés da substituição por novos aparelhos e obras da estrutura civil para esta adequação que pode comprometer o funcionamento da edificação, o sistema fotovoltaico pode ser inserido sobre a cobertura, com mínimo impacto de obra e contribuição para diminuição da energia consumida da concessionária.

#### 4.2. Custos atuais do consumo energético

Para estimativa dos gastos com energia no TPS, buscou-se levantar as faturas mensais, porém não foi possível o acesso às faturas de todos os meses estudados. Desta maneira, a fatura do mês de Dezembro de 2013, que descreve os valores unitários dos serviços, foi utilizada como base para o cálculo dos custos mensais por consumo e por demanda do TPS, com auxílio dos dados das medições mensais do consumo, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Estimativa de custos mensais por energia do TPS.

MÊS	Consumo Ponta (R\$)	Consumo Fora da Ponta (R\$)	Demanda Ponta (R\$)	Demanda Fora da Ponta (R\$)	Deduções - 5,8% (R\$)	TOTAL (R\$)
out/13	45.536,46	279.595,44	65.933,70	22.574,20	- 23.991,11	389.648,69
nov/13	48.909,05	295.231,32	69.795,53	22.574,20	- 25.317,59	411.192,51
dez/13	46.708,86	297.266,76	79.685,59	22.574,20	- 25.891,87	420.343,54
jan/14	51.454,65	349.293,84	77.895,96	23.405,34	- 29.118,89	472.930,90
fev/14	57.407,19	342.570,72	113.594,35	33.009,64	- 31.701,75	514.880,14
mar/14	47.138,72	284.714,88	69.795,53	23.405,34	- 24.653,16	400.401,31
abr/14	45.521,91	306.395,40	65.933,70	22.574,20	- 25.544,66	414.880,55
mai/14	41.089,22	243.142,56	65.933,70	22.574,20	- 21.618,90	351.120,78
jun/14	37.264,15	221.369,52	65.933,70	22.574,20	- 20.134,21	327.007,36
jul/14	40.694,52	253.350,60	65.933,70	22.574,20	- 22.188,07	360.364,94
ago/14	43.525,75	242.741,64	65.933,70	22.574,20	- 21.736,97	353.038,32
set/14	42.287,08	244.006,08	65.933,70	22.574,20	- 21.738,46	353.062,60

#### 4.3. Dados solarimétricos

Em uma segunda etapa, foram levantados os dados de irradiação global em média diária anual do Aeroporto de Porto Alegre – RS, com ênfase na disponibilidade de irradiação solar, visando estimar o potencial do sítio aeroportuário para geração de energia solar fotovoltaica, conforme figura 1.

Cabe ressaltar que, apesar da região Sul apresentar invernos rigorosos e longos períodos chuvosos, os índices de irradiação solar nessa região são considerados elevados. Por estar situado mais ao Sul da Linha do Equador, Porto Alegre tem um melhor aproveitamento da energia solar em módulos fotovoltaicos se os mesmos estiverem em plano inclinado, voltados ao Norte. Assim, foram analisados, além da irradiação no plano horizontal, os planos com inclinação com melhor média total anual de irradiação global.

Com base nos resultados do software, e de acordo com outras referências no assunto, observa-se que a melhor inclinação para os módulos fotovoltaicos para Porto Alegre é em um plano inclinado a 24° e orientado a Norte. Isto representa um aumento na média anual de irradiação em Porto Alegre em relação ao plano horizontal. Ressalta-se ainda que além da orientação e inclinação a adequada, a arquitetura ainda deve prever de espaço para circulações de manutenção entre os módulos, bem como evitar sombreamento, seja de um módulo sobre outro, ou de elementos construídos (como torres de comando ou reservatórios de água) sobre a área de instalação dos módulos.

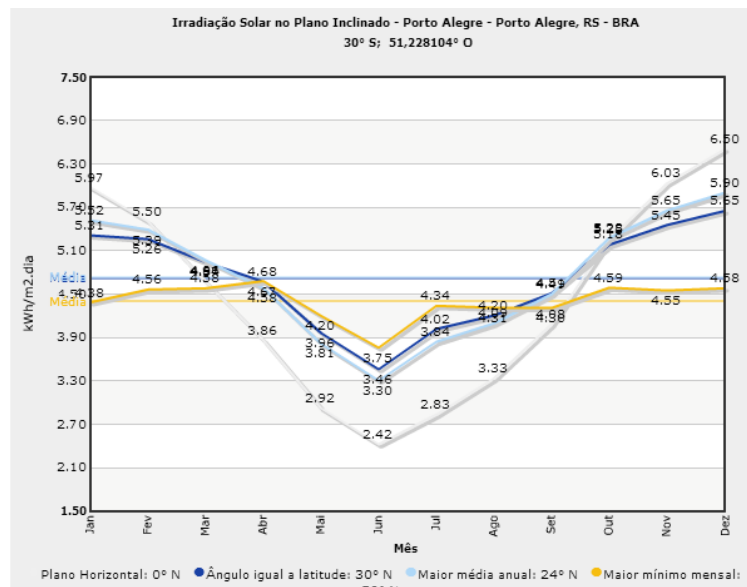


Figura 1: Gráfico da disponibilidade de irradiação solar global em diferentes inclinações para Porto Alegre, RS (Fonte: SUNDATA; CRESESB, 2015)

#### 4.4. Estudo da edificação:

Após o levantamento de dados de consumo e de potencial solatimétrico para a geração fotovoltaica, foi estimado o potencial de geração fotovoltaica a ser integrado na cobertura da edificação. O Terminal de Passageiros 1 situa-se próximo ao lago Guaíba e há um controle rigoroso das edificações, decorrente da Zona de Proteção dos Aeródromos e outras normas internacionais de aviação. Assim, o TPS-1 conta vasta área para apoio dos módulos e sem sombreamentos de edificações vizinhas, o que favorece a geração fotovoltaica.

Com uma edificação característica, de forma retangular alongada, o TPS-1 tem suas fachadas principais orientadas no sentido Norte / Sul. Na edificação, que possui 3 pavimentos operacionais e uma galeria técnica no 4 pavimento, são identificados 4 principais coberturas: 1) cobertura do acesso frontal, sobre a via de veículos do lado Terra (público), com cerca de 3.700 m<sup>2</sup>; 2) cobertura do Módulo Operacional Provisório (MOP), com aprox. 1.480m<sup>2</sup>; 3) cobertura principal da edificação, com cerca de 9.100m<sup>2</sup>; 4) cobertura da galeria técnica, com cerca de 2.100m<sup>2</sup>.

Para esse estudo, não utilizaremos a área da cobertura do MOP, por estar em um nível inferior e ter sua cobertura sombreada pela edificação principal no turno da tarde. Já a cobertura frontal tem boa insolação, mas por estar em um nível mais baixo, pode vir a ser sombreado por ampliações futuras do estacionamento, apesar de não haver essa previsão em curto prazo. Assim, consideraremos a área de cobertura da galeria técnica, sem maiores sombreamentos, e a cobertura principal, excluindo-se os detalhes arquitetônicos, como claraboias, e suas áreas sombreadas, conforme Figura 2. Apesar de serem claraboias semicirculares, o sombreado desses detalhes abrangem uma área considerável, afetando o rendimento do sistema proposto. Foi considerado um sombreado as 9 e as 15 horas para o equinócio de primavera, gerando as área útil marcada em vermelho.

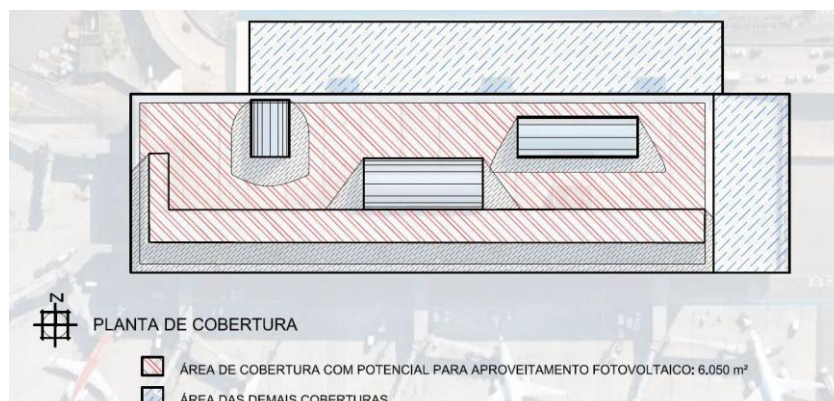


Figura 2: Estimativa de área de telhado com potencial para geração fotovoltaica, já identificando áreas sombreadas. Fonte: Infraero, adaptado pelo autor.

#### 4.5. Sistemas de geração e demanda

A escolha das tecnologias de geração fotovoltaica considerou diversas variáveis, tais como: Garantia, Eficiência, Fabricante, Tipo de módulo, Tolerância de Potência, Custo e Coeficiente de temperatura, o que é especialmente importante devido ao clima da região sul do Brasil. Foram escolhidos módulos certificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, segundo a Etiqueta A disponíveis em cada tecnologia (INMETRO, 2017). No presente estudo, foram analisados 3 tipos de módulos fotovoltaicos: filmes finos, silício policristalino e silício monocristalino. Os módulos de Filme Finos, que podem ser Silício amorfo (a-Si), Telureto de cádmio (CdTe) ou Cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS), que apesar de ter um processo de produção simples e energeticamente econômico, que o torna relativamente mais barato, sua eficiência é relativamente baixa (de 4 a 11%), exigindo mais espaço, mais infraestrutura de manutenção, estrutura de suporte, entre outros. Os módulos de Silício Policristalino (p-Si), onde cristais de silício são fundidos em um bloco, com a formação de múltiplos cristais. São semelhantes aos módulos Monocristalinos (m-Si), mas apresentam, em geral, menor eficiência que estes, atingindo valores entre 13 e 19%; o m-Si que possuem células obtidas a partir de um único cristal, apresentam eficiências acima de 16%. Os módulos selecionados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores das eficiências das tecnologias utilizadas, considerando uma temperatura padrão de 25°C(STC), 1.000 W/m<sup>2</sup> e 1,5 A.M

Tecnologia	Marca	Modelo	Potencia (W)	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)
a-Si	AVANCIS	POWERMAX 120	120	1,91	11%
p-Si	YINGLI	YL260PG2530L-1	260	1,62	15,8%
m-Si	Meyer Burger	Bifacial 365	305	1,66	18,4%

Com as diferenças apresentadas entre os equipamentos, onde o sistema m-Si representa o sistema mais eficiente, partiu-se para a estimativa do quantitativo dos painéis na cobertura do TPS-1 e levantamento geral de custos, para verificação final dos melhores equipamentos e do tempo de retorno do investimento.

Para estimar a quantidade de módulos possíveis de serem instalados na cobertura, utilizou-se em todas as simulações a área estimada de cobertura com insolação abundante, excluindo-se possíveis obstáculos, conforme Figura 2, admitindo ainda uma perda de 5%, pela dimensão e disposição dos painéis. Assim, a área considerada para instalação foi de 5747m<sup>2</sup>. É possível, para uma segunda etapa, a expansão do sistema para a cobertura do acesso frontal, incrementando mais 3500m<sup>2</sup> (61%), visto que esse tipo de sistema permite a instalação por etapas, com custos proporcionais à potência instalada.

Para estimar o número de painéis a serem instalados, foi observado os espaçamentos entre painéis na cobertura da edificação, para proporcionar manutenção e evitar sombreamentos, conforme já mencionado. Como as coberturas consideradas tem pouca inclinação e seus caimentos diferem de sentido, utilizou-se um plano horizontal padrão, podendo haver adaptações executivas na instalação dos módulos. Os suportes dos painéis para instalação inclinada podem ser fornecidos com o fabricante, como acessórios adicionais. Porém, priorizou-se a utilização de estrutura metálica fabricada localmente, com perfiz de aço galvanizados. Tal estrutura pode facilitar instalações desse porte e, apesar de não ter sido o foco desse estudo, pode reduzir os custos se comparados aos suportes dos fabricantes, conforme informado pelos fornecedores locais.

Utilizou-se, ainda, para tais simulações, a previsão de corredores de acesso para manutenção, com 55 cm de largura. Um acesso longitudinal, para serviços junto aos painéis, e um transversal, como corredores principais, a cada 20m lineares. Isso representa uma redução de 2,75% da área útil para instalação de equipamentos, diminuindo a área de instalação de painéis solares para 5603m<sup>2</sup>.

A simulação de sistema com painéis de filmes finos obteve-se dividindo-se a área de cobertura, com acessos principais, obteve-se a quantidade de 2930 módulos. Utilizando-se os painéis POWERMAX 120, com 120W de potência nominal cada, calculou-se a possibilidade de instalação de 351,6 kWp.

Na simulação de silício policristalino obteve-se a quantidade de 2364 módulos. Utilizando-se os módulos YL260PG2530L-1, com 260W de potência nominal cada, conclui-se que o sistema tem capacidade instalada de 614.640W de potência, ou 614,64kWp.

A simulação com a tecnologia mono cristalino resultou em área para instalação de 2534 módulos. Utilizando-se os módulos Bifacial 365, com 305W de potência nominal cada, conclui-se que o sistema tem capacidade instalada de 772,87kWp. Em resumo, a Tabela 4 apresenta as 3 configurações com suas potências e quantidade de módulos.

Tabela 4: Configuração das tecnologias e potência instalada

Tecnologia	Potência módulo (Wp)	Número de módulos	Potência total (kWp)
Filmes finos	120 W	2930	531,6 kW
p-Si	260 W	2364	614,64 kW
m-Si	305 W	2534	772,87 kW

Assim, para estimar a geração solar fotovoltaica de cada tecnologia, foi utilizada a citada Equação 1. Para esta equação, utilizou-se a potência instalada encontrada na diagramação dos módulos da Tabela 4, considerando a área disponível de 5603 m<sup>2</sup>. Como índice de irradiação em Porto Alegre (Ipoa), utilizaram-se os dados diários obtidos através do software SUNDATA da CRESCESB para o plano inclinado de 24° e adotou-se ainda um coeficiente padrão de perdas (PR) de 0,8, referente às perdas da geração, inversor e transmissão.

Os resultados da geração foram comparados ao consumo do TPS-1 no período de 12 meses, no horário Fora de Ponta (HFP), uma vez que a geração de energia ocorre no período diurno, conforme Tabela 5, e é o indicado pela atual legislação no sistema de compensação de energia ativa (ANEEL, 2015).

Tabela 5: Estimativa de energia solar fotovoltaica nas diferentes tecnologias, com comparativo de consumo do TPS-1 em horário fora de ponta (HFP).

Mês / Ano	Irradiação solar média diária kWh/m <sup>2</sup> .dia	Energia Solar FV Estimada a-Si		Energia Solar FV Estimada p-Si		Energia Solar FV Estimada HIT		Consumo TPS (HFP) kWh
		kWh	%	kWh	%	kWh	%	
out/13	5,28	44.554,75	4,10%	77.887,18	7,16%	97.938,09	9,00%	1.087.920,00
nov/13	5,65	47.676,96	4,15%	83.345,18	7,26%	104.801,17	9,12%	1.148.760,00
dez/13	5,90	49.786,56	4,30%	87.033,02	7,52%	109.438,39	9,46%	1.156.680,00
jan/14	5,52	46.579,97	3,43%	81.427,51	5,99%	102.389,82	7,53%	1.359.120,00
fev/14	5,39	45.482,98	3,41%	79.509,83	5,96%	99.978,46	7,50%	1.332.960,00
mar/14	4,96	41.854,46	3,78%	73.166,75	6,60%	92.002,44	8,30%	1.107.840,00
abr/14	4,58	38.647,87	3,24%	67.561,23	5,67%	84.953,87	7,13%	1.192.200,00
mai/14	3,81	32.150,30	3,40%	56.202,68	5,94%	70.671,23	7,47%	946.080,00
jun/14	3,30	27.846,72	3,23%	48.679,49	5,65%	61.211,30	7,11%	861.360,00
jul/14	3,84	32.403,46	3,29%	56.645,22	5,75%	71.227,70	7,23%	985.800,00
ago/14	4,09	34.513,06	3,65%	60.333,06	6,39%	75.864,92	8,03%	944.520,00
set/14	4,49	37.888,42	3,99%	66.233,61	6,98%	83.284,47	8,77%	949.440,00
MÉDIA	4,73	39.948,79	3,66%	69.835,40	6,41%	87.813,49	8,05%	1.089.390,00

No mês de dezembro foram encontrados os maiores percentuais de contribuição da energia fotovoltaica à energia consumida pelo Terminal de Passageiros, isto decorre da maior disponibilidade de irradiação solar neste mês. Esta contribuição salienta-se pelo consumo não ser uniforme durante o ano, tendo também um aumento de consumo nos meses de verão. Assim, há nestes meses uma relação positiva entre o consumo e a geração, estando o sistema fotovoltaico com maiores níveis de geração justamente nos meses de maior consumo e demanda do TPS-1. Os meses mais quentes do ano (entre dezembro e março) representam os maiores picos de consumo, devido às altas cargas dos equipamentos de climatização. Como tais picos costumam ultrapassar os limites contratados na concessionária de energia, esses excedentes recebem uma tarifação consideravelmente maior. Com a maior incidência de irradiação solar e maior rendimento dos painéis, justamente nesses períodos, estima-se uma redução significativa nesse tipo de custo.



#### 4.6. Análise financeira

Esta análise considerou o sistema de geração distribuída (ANEEL, 2015) que estabelece os critérios para microgeração e minigeração distribuída, ou seja, toda energia gerada é convertida em créditos de energia para a edificação.

Primeiramente, para estimar o valor de instalação do sistema, foram feitas consultas ao mercado da região, onde se constatou que os módulos de Silício Policristalino (p-Si) são os mais comercializados. Para esse tipo de módulo, foi possível estimar um custo médio para instalação do sistema completo de R\$ 7,50, variando entre R\$ 6,50 e R\$ 8,50, os outros valores também levantados apresentam os valores médios na Tabela 6. Ainda baseado na consulta à empresa, foi possível verificar uma proporcionalidade simplificada da composição desse custo, sendo cerca de 65% para módulos FV e seus acessórios e 35% para o Inversor e seus acessórios. Assim, com base nos valores dos produtos para as diferentes tipologias de painéis, encontrados em sites de revendedores internacionais, estimaram-se os custos por W instalado conforme a Tabela 6. Considerando-se que o custo relativo aos inversores, fiações e demais acessórios não deve sofrer grandes alterações na estimativa dos custos por W instalado, pois são dimensionados pela potência instalada ( $W_p$ ) do sistema, esse percentual foi mantido para todas as simulações.

Tabela 6 : Estimativa de custo de instalação das diferentes tecnologias.

Componentes	Filmes finos		p-Si		HIT	
	Inversor	Módulo Solar	Inversor	Módulo Solar	Inversor	Módulo Solar
Custo instalado (R\$ / W)	2,63	1,40	2,63	4,87	2,63	10,07
Custo médio Instalação (R\$ / W)	4,03		7,5		12,70	
Custo total (R\$)	1.416.948,00		4.609.800,00		9.815.449,00	

Com o investimento inicial estimado, verificaram-se os custos da energia elétrica no período de 12 meses, para possibilitar o tempo de amortização do investimento. Considerou-se, para esse estudo, o consumo de energia no Horário Fora de Pico (HFP) do Terminal de Passageiros, visto que a energia será gerada em período diurno. O consumo anual de energia elétrica no HFP foi de 13.072.680 kWh. Utilizando-se os dados de consumo e os detalhamentos de custos mensais, estimou-se que 14% da fatura representam o consumo na Ponta e 86% o consumo Fora de Ponta. Assim, estimou-se uma média de R\$ 0,314/kWh consumido, o que representa um custo de R\$ 4.104.821,52, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Cálculo de redução de custos com a geração FV, nas diferentes tecnologias simuladas.

Tecnologia	Geração FV anual (kWh/ano)	Diferença consumo e geração (kWh/ano)	Novo custo anual de energia (R\$)	Economia anual (R\$)
Filmes finos	479.385,50	12.593.294,50	3.954.294,47	150.527,05
p-Si	838.024,76	12.234.655,24	3.841.681,74	263.139,78
m-Si	1.053.761,87	12.018.918,13	3.773.940,29	330.881,23

Apesar das oscilações apresentadas nos últimos 10 anos no custo de energia elétrica pelo setor de Comércio e Serviços, conforme dados da ANEEL, foi possível estimar para esse período um crescimento médio anual de 3,5%. Porém, devido às recentes crises de abastecimento, estima-se um aumento próximo a 12% para o próximo ano. Estimou-se, para esse estudo, o crescimento anual de 12% para o primeiro ano, retornando a patamares de 4% a partir do 10º mês simulado. Foi considerado o período de funcionamento como a garantia dos módulos, por 25 anos.

Conclui-se que, considerando os padrões de consumo atual no TPS-1 e apesar dos módulos de filmes finos apresentarem menor eficiência, seu baixo custo faz com que essa tipologia tenha o menor tempo de retorno do investimento, o que pode ocorrer próximo ao 4º ano, apresentando ainda uma economia próxima à R\$40 milhões aos 25 anos de utilização. Já os painéis de Silício policristalino (p-Si) possibilitam o retorno do investimento entre o 7º e 8º ano de utilização, representando ainda, após 25 anos de uso, um ganho superior à R\$ 48 milhões. Por fim, a simulação com painéis tipo silício monocristalino indicou o retorno do investimento no 9º ano de uso, apresentando ainda um ganho, após 25 anos de uso, próximo à R\$ 46 milhões.

#### 5. CONCLUSÕES

Apesar de apresentar um investimento financeiro elevado e de não ser possível a transformação do Terminal de Passageiros 1 em um ZEB (Zero Energy Building), a geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos em Aeroportos representa uma alternativa viável, com retorno financeiro em longo prazo, com

ganhos ambientais e sociais, uma vez que pode minimizar a potência fornecida na rede centralizada, principalmente nos meses mais quentes, quando há um maior consumo de energia. Os aeroportos do sul do Brasil tem grande potencial para geração fotovoltaica de energia, uma vez que apresentam edificações com dimensões horizontais e livres de sombreamento, por apresentarem índices de irradiação favoráveis e, por apresentar temperaturas mais baixas com relação ao restante do país, os painéis tendem a apresentar uma maior eficiência.

Foi possível observar, ainda, que há uma relação entre os picos de consumo e a temperatura ambiente. Os meses mais quentes, de Dezembro a Março apresentam constantes ultrapasses na demanda contratada, gerando tarifas ainda mais altas nesse período, devido ao consumo excessivos dos aparelhos condicionadores de ar. Porém, é justamente nesse período que os módulos solares apresentam um maior geração, já que também são os meses com maior disponibilidade de irradiação solar.

Como resultado das simulações e com base nas informações de mercado, conclui-se que os módulos fotovoltaicos do tipo Silício Policristalino (p-Si) se destacam entre as demais por apresentar maior comercialização e com isso custos mais acessíveis, por ter uma boa relação entre as dimensões do módulo e sua eficiência e por apresentar uma boa perspectiva de retorno do investimento, juntamente com ganhos financeiros a longo prazo. As demais tecnologias também apresentaram resultados financeiros positivos. Porém, enquanto os módulos de filmes fino (a-Si) têm menos opções no mercado, os painéis tipo Silício monocristalino ainda não ganharam plenamente o mercado nacional.

Assim, conclui-se que os módulos solares fotovoltaicos representam uma boa solução para a Infraero, apresentando diferentes opções de investimento inicial, mas com significativos ganhos em longo prazo, sendo esta uma tecnologia adicional que pode auxiliar na eficiência energética da edificação, principalmente compensando o alto consumo dos condicionadores de ar. Adicionalmente, tal iniciativa pode auxiliar na valorização da imagem da empresa, através da utilização dos princípios da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10899: Energia solar fotovoltaica — Terminologia. São Paulo, 2013.
- BRAUN, P.; JARDIM, C. S.; RÜTHER, R. **Análise da Contribuição Energética de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações: Aeroporto Internacional de Florianópolis: um estudo de caso.** 9º Encontro latino-americano, de conforto no ambiente construído, 5., 2007, Ouro Preto. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2007.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Implementação da Lei de Eficiência Energética:** relatório de atividades. Brasília, DF, 2002.
- CRESECB. **SUNLAB.** Software disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em 15 de março de 2017.
- GIMENES, A.L.V. **Modelo de Integração de Recursos como Instrumento para um Planejamento Energético Sustentável.** Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, (2004)
- IEA, **International Energy Agency.** Disponível em <https://www.iea.org/statistics/>. Acesso em 20 março 2017.
- INFRAERO. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Arquivos de trabalho para funcionários. 2015.
- INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Tabela de eficiência energética - sistema de energia fotovoltaica - módulos - Edição 2017, 2017.
- KAMARA, J.; ANUMBA, C.; EVBUOMWAN, N. Establishing and Processing Client Requirements: a key aspect of concurrent engineering in construction. **Journal of Engineering, Construction and Architectural Management**, London, v. 7, n. 1, p. 15-28, 2000.
- IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Disponível em <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em 20 de março de 2017.
- SALAMONI, I. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicadas a Florianópolis e Belo Horizonte** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFSC, 2004.
- SANTOS, F. A. V.; PINHO, J. T.; MACÊDO, W. N. **Estudo da Inserção de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede no Complexo Aeroportuário de Belém-PA.** In: CONGRESO IBÉRICO, 14., CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, 9., 2008, Vigo. Anais... Vigo: Asociación Española de Energía Solar, 2008.
- VIEIRA, C. S.; RÜTHER, R. **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.** Dissertação de mestrado. Florianópolis. 2010.
- ZOMER, C. D.; COSTA, M.R.; NOBRE, A.; RÜTHER, A. Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports. **Energy and Buildings**, Volume 66, November 2013, Pages 607-615

## AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem à INFRAERO pela disponibilização dos dados relevantes ao estudo.