

Estudo de Adequações em um Aeroporto Regional para Alcançar a Eficiência Energética de Forma Renovável

Artur Rech da Rosa¹ e Valquíria Villas-Boas¹

Resumo

A sustentabilidade ambiental trata da utilização do meio ambiente, dando oportunidade a ele de se regenerar, ou encontrando meios de substituir a ocupação ambiental por meios renováveis. Nesse contexto, o Aeroporto Regional de Caxias do Sul, que é um empreendimento prestador de serviços de transporte à região da Serra Gaúcha, pode atuar conforme o conceito de desenvolvimento sustentável, desde que ocorra a integração dos critérios ambientais na prática econômica. Nesse contexto, a fotogeração se mostra como uma alternativa para suprir sua demanda energética tornando-o sustentável do ponto de vista deste recurso. Neste trabalho, são determinados a demanda do aeroporto para este tipo de energia, o dimensionamento do sistema fotovoltaico e uma análise da viabilidade econômica do mesmo. A implementação deste sistema pode economizar ao aeroporto 420.248,73 R\$/ano e pode gerar o equivalente a R\$ 235.653,74/ano em créditos de energia, sendo viável economicamente. Este empreendimento, além de sustentar uma imagem de *green airport*, pode gerar empregos para especialistas na área e incentivar e propagar a ideia de utilização de energias renováveis.

Palavras-chave

Aeroporto; Energia Fotovoltaica; Energia Renovável.

Adequacy Study on a Regional Airport to Achieve Energy Efficiency in a Renewable Way

Abstract

Environmental sustainability is the use of the environment, giving it opportunity to regenerate, or finding ways to replace the environmental occupation by renewable means. In this context, the Caxias do Sul Regional Airport, which is a transport service provider to the Serra Gaucha region, can act as the concept of sustainable development, provided that there is the integration of environmental criteria in economic practice. In this context, photogeneration presents itself as an alternative to meet its energy demand making it sustainable from the point of view of this resource. In this paper, the airport demand for this type of energy, the PV plant design and analysis of economic viability are determined. The implementation of this system can save the airport 420,248.73 R\$/year and it can generate the equivalent of R\$ 235,653.74 / year in energy credits, being economically viable. This development, besides sustaining an image of green airport, can generate jobs for specialists in the field and can encourage and propagate the idea of using renewable energy.

Keywords

Airport; Photovoltaic Energy; Renewable Energy.

I. INTRODUÇÃO

A demanda e a produção de produtos manufaturados de forma intensa trouxeram consequências prejudiciais ao meio ambiente, onde a preocupação em maximizar a produção fez com que o consumo de matérias-primas, energia e água aumentassem em relação à necessidade de preservação ambiental. Esse aumento, além de suprir às necessidades da sociedade e do consumidor, gera efeitos negativos sobre o meio ambiente. A redução na disponibilidade de recursos

naturais, a poluição da água, do ar, e dos solos, são alguns exemplos desses efeitos.

Atualmente, os consumidores estão desenvolvendo uma maior resistência a serviços que apresentem qualquer nível de degradação ambiental e, também, estão mais exigentes quanto à qualidade dos serviços ofertados. Nesse contexto, tem ocorrido uma crescente procura dos prestadores de serviços, como transportes, hospitais, hotéis, entre outros, pela sustentabilidade de seus negócios, moldando o sistema de vida futuro.

*Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS;
E-mails: arturrechdarosa@yahoo.com.br, vvillasboas@gmail.com

A sustentabilidade ambiental trata da utilização do meio ambiente, dando oportunidade a ele de se regenerar, ou encontrando meios de substituir a ocupação ambiental por meios renováveis. Segundo Rampazzo [1], a aceleração do crescimento econômico, como preocupação central da vida social, com as devidas preocupações em relação aos impactos socioambientais, conduziria a patamares menos elevados de degradação ambiental. Ainda segundo Rampazzo [1], a aceleração do crescimento econômico deve submeter-se às imposições do meio ambiente, pois não é possível basear o crescimento econômico na utilização extensiva dos recursos naturais. Além disso, Sachs [2] define o desenvolvimento sustentável/ecodesenvolvimento como a perenidade dos recursos e a harmonização de objetos sociais e ecológicos, vinculando ao conceito de ecoeficiência a preocupação com a produtividade dos recursos, onde, por exemplo, se engloba o reaproveitamento.

A partir desse cenário, o Aeroporto Regional de Caxias do Sul, que é caracterizado como um empreendimento prestador de serviços de transporte para a região da Serra Gaúcha, pode ser considerado um serviço público com grande potencial para se tornar ecologicamente sustentável. O aeroporto, com funcionamento desde fevereiro de 1988, está instalado às margens da Avenida Salgado Filho, a 750 m de altitude, no município de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. (Fig. 1). Divide-se em dois setores principais: terminal de embarque/desembarque e pista de pouso/decolagem.

A pista de pouso/decolagem possui um comprimento de 1.940 m e um pátio com capacidade para até cinco aeronaves Boeing 747-700 – aeronaves de grande porte – sendo que seu sítio aeroportuário possui 57 hectares [3].

O terminal de embarque/desembarque possui 2.400 m² de área construída e uma capacidade para 300 mil passageiros por ano, com uma altura de 10 m, na área de salas de embarque.

Desta forma, este aeroporto pode atuar como indutor de desenvolvimento urbano e socioeconômico, proporcionando a manutenção, o monitoramento e até o avanço em termos da qualidade ambiental para a região. Segundo Reis [4], é possível que as operações da infraestrutura aeroportuária atuem conforme o conceito de desenvolvimento sustentável, desde que ocorra a integração dos critérios ambientais na prática econômica, garantindo satisfazer a necessidade de crescimento e evolução contínuos.

Nesse contexto, com o objetivo de tornar o aeroporto ecologicamente sustentável, do ponto de vista energético, foi proposto um estudo de dimensionamento para a implantação de um sistema renovável de energia, visando suprir toda a demanda energética do Aeroporto de Caxias do Sul, mesmo em épocas de maiores consumos, como o inverno e o verão. Ainda, propõe-se a sua análise de viabilidade, demonstrando a possibilidade de instalação do sistema de forma viável.

A forma de geração de energia escolhida foi a solar, pois segundo Vieira [6], é uma das formas sustentáveis mais promissoras para o suprimento das necessidades energéticas do futuro da humanidade, uma vez que constitui um recurso de energia renovável e envolve muito menos poluição que na maioria das outras fontes de energia.

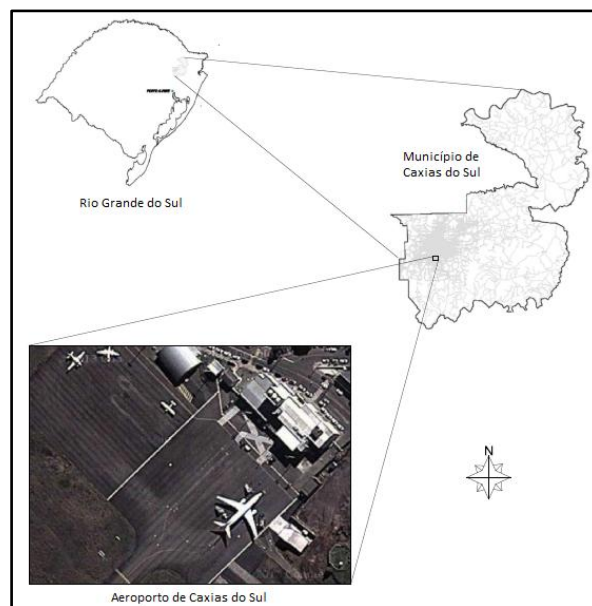


Fig. 1: Localização do Aeroporto.

Fonte: Adaptado a partir de [5].

Assim, neste artigo, um sistema de geração fotovoltaica de grandes proporções, que constitui-se minimamente de:

- a. módulos fotovoltaicos;
- b. inversor de frequência;
- c. cabos de conexão;
- d. central de distribuição de energia;
- e. medidor de energia bidirecional; e,
- f. subestação de energia

será dimensionado para o Aeroporto Regional de Caxias do Sul.

A seguir, são apresentadas as seções Material e Métodos, Resultados e Conclusões, onde se apresentam o cálculo da demanda deste aeroporto para a energia fotovoltaica, o dimensionamento do sistema fotovoltaico e uma análise da viabilidade econômica do mesmo.

II. MATERIAL E MÉTODOS

Para tornar um aeroporto mais eficiente e sustentável, em relação aos gastos energéticos, deve-se avaliar e quantificar as suas demandas de recursos necessários para sua operação cotidiana, que atualmente são pagas por intermédio da prefeitura de Caxias do Sul. Nesse contexto, foram caracterizados os locais úteis para o dimensionamento e disposição dos sistemas que suprirão as dadas necessidades.

O presente diagnóstico constitui-se de avaliações e levantamentos de dados a partir das circunstâncias atuais do Aeroporto Regional de Caxias do Sul, os quais foram utilizados como base para a elaboração deste artigo.

O funcionamento deste aeroporto, durante o primeiro semestre de 2015, tem início das atividades às 5 h e 08 min e o encerramento às 24 h. Assim, há um período de 5 horas e 08 minutos sem gastos energéticos e sem movimentação de nenhum setor. Em seu interior estão instaladas lojas de autoatendimento, balcões de check-in e despacho de bagagens, inspeção de passageiros e suas bagagens de mão por meio de aparelhos de raios X, sala de administração, serviço de som, sala de tripulantes, entre outros setores. Ainda, ao lado da pista, está presente o gerador de energia

elétrica, a base de óleo diesel, com capacidade de geração de 100 kVA, e a subestação de energia, que tanto recebe energia advinda da rede elétrica exterior, quanto distribui a energia gerada pelo gerador em caso de interrupção de distribuição da rede.

O valor da demanda de energia elétrica para o Aeroporto Regional de Caxias do Sul foi arbitrado, pois os registros de consumo não são catalogados e também não são facilmente encontrados. Desta forma, foram utilizados os gastos energéticos do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins, respectivos ao ano de 2008, obtidos no trabalho de Vieira [6]. Foi feita uma média da energia utilizada no Aeroporto de Confins pelo número de passageiros que viajaram no mesmo período do ano, e multiplicado pelo número de passageiros do Aeroporto de Caxias do Sul, como pode ser visto na Equação (1). Também, foi levado em consideração o número de horas em que os aeroportos permanecem abertos.

$$DE = \left(\frac{DE_{Confins}}{NH_{Confins} \cdot NP_{Confins}} \right) \cdot (NH_{Caxias} \cdot CP_{m\acute{a}xCaxias}) \quad (1)$$

em que DE é a demanda energética para o Aeroporto de Caxias do Sul (MWh/ano); DE_{Confins} é a demanda energética do Aeroporto de Confins para o ano de 2008 (MWh/ano); NH_{Confins} é o número de horas que o Aeroporto de Confins fica em operação por dia (h/dia), sendo este valor de 24

h/dia; NP_{Confins} é o número de passageiros para o Aeroporto de Confins para o ano de 2008 (passageiros/ano); NHC_{Caxias} é o número de horas que o Aeroporto de Caxias do Sul fica em operação por dia (h/dia); e, CP_{máxCaxias} é a capacidade máxima de passageiros por ano no Aeroporto de Caxias do Sul (passageiros/ano).

A geração de energia elétrica fotovoltaica tem como objetivo satisfazer as demandas elétricas encontradas na Equação (1) e para isso é dimensionado um sistema energético fotovoltaico que se divide em módulos fotovoltaicos, inversor de frequência, cabos de conexão; central de distribuição de energia, medidor de energia bidirecional e subestação de energia. O dimensionamento de cada componente é apresentado a seguir:

a. Módulos Fotovoltaicos

O posicionamento dos módulos fotovoltaicos deve maximizar o aproveitamento da radiação solar. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica [7], para o hemisfério sul, os sistemas de captação solar fixos devem ser orientados para o Norte, em uma angulação similar à latitude local. Nesse contexto, sendo o aeroporto localizado no município de Caxias do Sul, os módulos deverão possuir uma inclinação de 29° N, equivalente à latitude da cidade. Na Tab. 1 são apresentados os valores de média diária da radiação solar para o ângulo de 29°N.

Tab. 1: Radiação diária média mensal para a inclinação de 29° N. Fonte: Adaptado pelos Autores a partir de [8].

Inclinação da cidade	Radiação diária média mensal (kWh/m ² .dia)											
	Meses do ano											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
29° N	4,83	4,86	4,85	4,62	4,11	3,33	4,08	3,94	4,46	4,89	5,15	5,25

Para o dimensionamento do sistema foi utilizada a metodologia proposta por da Rosa e colaboradores [9], sendo considerado o mês de menor incidência de radiação solar, portanto, o mês de junho. Assim, com o dimensionamento do número de módulos necessários para esta radiação, o aeroporto sempre receberá a quantidade de energia necessária para suprir suas necessidades. No entanto, nos meses de maior radiação haverá uma geração superior à requerida, sendo esta disponibilizada na rede elétrica pública, originando créditos de energia. Estes podem ser utilizados em momentos atípicos de consumo de energia elétrica ou por outros órgãos que pertencem à prefeitura.

Por meio da demanda de energia do aeroporto, apresentada pela Equação (1), e assumindo os valores típicos de eficiências energéticas do inversor de 95% [10], dos cabos de 92% [11], e do transformador de 95%, obtém-se, por meio da Equação (2), a demanda necessária de energia diária que deve ser gerada. Esta energia também é chamada de potência fotovoltaica. As reduções na eficiência causadas pela temperatura serão desconsideradas, devido à média anual da temperatura de Caxias do Sul ser de 16,5°C, e as faixas de funcionamento dos módulos fotovoltaicos estarem entre -20 a 40°C.

$$P_{PV} = \frac{DE}{\mu_{cabo} \cdot \mu_{transformador} \cdot \mu_{inversor}} \quad (2)$$

em que P_{PV} é a potência fotovoltaica (kWh/d); DE é a demanda energética do Aeroporto de Caxias do Sul (kWh/d); μ_{cabo} é a eficiência energética dos cabos; μ_{transformador} é a eficiência energética do transformador; e, μ_{inversor} é a eficiência energética do inversor.

Com o valor de P_{PV} e o valor de média da radiação do pior dia do pior mês, apresentado na Tab.1, obtém-se a potência de pico, como apresentada na Equação (3). Este é o valor de energia obtido em condições muito baixas de radiação em relação à necessidade de consumo do aeroporto.

$$P_{peak} = \frac{P_{PV}}{Radiação\ do\ pior\ dia} \quad (3)$$

em que P_{peak} é a potência de pico (kWp); P_{PV} é a potência fotovoltaica (kWh/d); e, Radiação do pior dia é o valor apresentado na Tab. 1 para o mês de junho (kWh/m².d).

Os módulos fotovoltaicos utilizados na instalação deste sistema serão de silício policristalino de tensão disponível de 29,5 V/módulo, corrente de 8,14 A/módulo, potência máxima de 240 W e área unitária de 1,64 m² (1,65 m de comprimento e 0,99 m de largura), devido ao seu baixo custo, alta eficiência e durabilidade em relação aos outros materiais.

Assume-se um valor de tensão do sistema de 380 V, pois se trata da tensão que é utilizada nas instalações do aeroporto,

também chamada de “tensão trifásica 380 V”. Por meio da Equação (4), obtém-se o número de módulos que devem ser dispostos em série para satisfazer esta tensão.

$$N_S = \frac{V_{dc}}{V_{mp}} \quad (4)$$

em que N_S é o número de módulos em série; V_{dc} é a tensão do sistema (V); e, V_{mp} é a tensão disponível no módulo (V).

O dimensionamento do número de módulos em paralelo, para satisfazer a potência requerida, é feito por meio da Equação (5).

$$N_P = \frac{P_{peak}}{P_{m\acute{a}x} \cdot N_S} \quad (5)$$

em que N_P é o número de módulos em paralelo; P_{peak} é a potência de pico (kWp); $P_{m\acute{a}x}$ é a potência máxima dos módulos (kW); e, N_S é o número de módulos em série.

O número total de módulos no sistema se dá pela multiplicação dos resultados obtidos para N_S e N_P , nas Equações (4) e (5). A área total do sistema é calculada por meio da multiplicação do número total de módulos por sua área unitária.

b. Inversor de Frequência

O inversor de frequência é um circuito que tem como principal função alterar a frequência de uma fonte de corrente contínua a uma corrente alternada de frequência controlada, ou de forma inversa. Para se definir qual inversor de frequência será utilizado deve-se dimensionar a corrente alternada que passará por ele, por meio da Equação (6).

$$I_{AC} = \frac{P_{peak}}{V_{dc}} \quad (6)$$

em que I_{AC} é a corrente alternada total (A); P_{peak} é a potência de pico (W); e, V_{dc} é a tensão do sistema (V).

c. Cabos de Conexão

O dimensionamento da seção transversal dos cabos, que deve conectar tanto um módulo ao outro, quanto o final do sistema de módulos de geração até a subestação de distribuição, deve considerar o seu comprimento a fim de considerar a resistência elétrica que os cabos podem impor ao sistema causando perdas de energia. Desta forma, consideram-se os comprimentos de 0,5 m e 100 m respectivamente.

Utilizando-se a Equação (7), pode-se fazer o dimensionamento da seção transversal destes cabos neste sistema. Serão considerados cabos de cobre revestidos, cuja condutividade é de 56 m/Ω.mm².

$$S = \frac{L \cdot I_{AC}}{0,03 \cdot V_{dc} \cdot K} \quad (7)$$

em que S é a seção transversal do cabo (mm²); I_{AC} é a corrente alternada total (A); L é o comprimento do cabo (m); V_{dc} é a tensão do sistema (V); e, K é a condutividade do material utilizado no cabo (m/Ω.mm²).

d. Análise de Viabilidade Econômica

Anteriormente à implantação efetiva de um projeto, é sugerida a sua análise de viabilidade, que considera custos de implantação, manutenção e operação e as economias e benefícios que a implantação do estudo trará.

Os custos de implantação são referentes aos materiais e equipamentos, serviços especializados (instalação do sistema e limpeza da área) e licenciamento ambiental (licença prévia, de instalação e de operação) e levam em consideração os impostos aplicados sobre eles. Os custos de manutenção e operação são anuais e levam em consideração a limpeza dos painéis e da área onde eles se encontram, a manutenção do equipamento, a operação do sistema e a renovação do licenciamento ambiental (licença de operação). Todos os valores são valores reais e praticados no mercado. Ainda, procurou-se os materiais que fossem de menor valor agregado sem que houvesse nenhum prejuízo ou redução da eficiência e do funcionamento do sistema.

As economias e benefícios resultantes da implantação do estudo são calculados através da quantidade de energia que o aeroporto deixa de consumir e a geração de créditos de energia, que são todos os kWh que em dias de maior radiação são produzidos, mas não são consumidos, visto que, o sistema fotovoltaico foi dimensionado para o pior dia do pior mês em termos de radiação.

A análise de viabilidade econômica utilizou o método de valor presente líquido (VPL) por meio do fluxo de caixa, levando em conta os custos de implantação, manutenção e operação e as economias e benefícios que se tornam em receitas. Avaliou-se, ainda, a relação benefício/custo (B/C) e a taxa interna de retorno (TIR) por um tempo determinado de 20 anos. Isto se dá, devido ao término da garantia dos painéis fotovoltaicos. O cálculo do VPL é feito por meio da Equação (8).

$$VPL = (Benef\acute{i}cios \cdot FVP) - (Investimentos \cdot FVP) \quad (8)$$

em que FVP é o fator de valor presente.

O fator de valor presente (FVP) é obtido a partir da relação entre o valor presente (VP) e o valor futuro (VF), levando em conta, uma taxa de juros i e o valor futuro, em n períodos. O valor futuro e o fator de valor presente são encontrados por meio das Equações (10) e (11), respectivamente.

$$VF = VP \cdot (1 + i)^n \quad (10)$$

$$FVP = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (11)$$

em que VF é o valor futuro, VP é valor presente, i é a taxa de juros (% ao ano) e n é o período de tempo de capitalização dos juros (ano).

As receitas e os custos orçados referem-se aos valores obtidos em cada ano da vida do estudo, sendo transformados em valor presente. Para obter-se o valor presente líquido foi utilizada a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) estabelecida pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social [12], sendo a média da taxa vigente para

o período de julho de 2014 a junho de 2015 é de 5,375% ao ano.

Para os custos de operação e manutenção foi considerado um reajuste dos preços ao longo dos anos até o fim da garantia dos painéis fotovoltaicos, utilizando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [13], este valor é o equivalente ao acumulado dos últimos 12 meses, de julho de 2014 a junho de 2015, que é de 8,56% ao ano. A análise da Taxa Interna de Retorno (TIR) deu-se por meio de sua comparação com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Foi considerado como TMA o valor de um investimento em um certificado de depósito bancário (CDB) para pessoa jurídica não financeira acumulado dos últimos 12 meses, ou seja, de julho de 2014 a junho de 2015, que de acordo com o Banco Central do Brasil [14] é de 7,15%. Assim, caso o

estudo apresente uma TIR maior do que o CDB, o estudo é considerado viável economicamente.

O orçamento de instalação e montagem inclui todos os materiais, insumos, máquinas, equipamentos e mão de obra necessários para a plena execução dos serviços destinados à instalação e montagem dos sistemas, como pode ser visto na Tab. 2. Na Tab. 3 são apresentados os custos de operação e manutenção do estudo, sendo que estes foram subdivididos para cada sistema em limpeza do local do sistema, licenciamento ambiental referente à renovação da licença de operação, manutenção referente à conservação do sistema de forma íntegra e troca de eventuais peças, e recursos humanos referentes ao trabalho técnico especializado dos sistemas (incluindo a limpeza dos painéis). Todos os valores são reais e foram orçados no mês de julho de 2015, não tendo sido demonstrados nomes de fabricantes e peças, somente um nome genérico e seu valor agregado.

Tab. 2: Planilha de Orçamentos de Instalação e Montagem.

Item	Serviços	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo Total (R\$)
1	Materiais e Equipamentos				
	Módulos fotovoltaicos de silício policristalino, 1,65 m de comprimento e 0,99 m de largura	unidade (un.)	959,04	2.418	2.318.958,72
	Inversor de frequência de corrente, de 980 A até 1.530 A e tensão de 215 V até 383,5 V	un.	30.000,00	1	30.000,00
	Medidor de energia bidirecional de tensão de entrada e saída de 13,8 kV*	un.	-	1	-
	Transformador de tensão de 215 V para 380 V	un.	7.450,00	1	7.450,00
	Transformador de tensão de 380 V para 13,8 kV	un.	12.300,00	1	12.300,00
	Disjuntor, correntes de até 1600 A para tensão de até 380 V	un.	700,00	1	700,00
	Disjuntor, correntes de até 1600 A para tensão de 13,8 kV	un.	3.000,00	1	3.000,00
	Cabo de cobre revestido, seção transversal de 1,31 mm ² e 0,5 m de comprimento	un.	0,32	4.836	1.547,52
	Cabo de cobre revestido, seção transversal de 85,3 mm ² e 100 m de comprimento	un.	3.200,00	3	9.600,00
	Estrutura para suporte dos módulos em aço galvanizado conforme Prancha n° 9 do Apêndice C	un.	450.000,00	1	450.000,00
	Brita n° 3	m ³	47,00	198	9.306,00
Subtotal					2.842.862,24
2	Serviços Especializados				
	Instalação de todo sistema	valor bruto (vb)	35.000,00	1	35.000,00
	Remoção de cobertura vegetação	m ²	0,09	3965,5	356,90
Subtotal					35.356,90
3	Licenciamento Ambiental				
	Licença Prévia	vb	392,61	1	392,61
	Licença de Instalação	vb	1.103,69	1	1.103,69
	Licença de Operação	vb	557,34	1	557,34
Subtotal					2.053,64
4	Projeto				
	Custo do projeto	un.	15.000,00	1	15.000,00
	ART do profissional habilitado	un.	150,00	1	150,00
Subtotal					15.150,00
Total					2.895.422,78

*A concessionária de distribuição de energia disponibiliza o medidor sem custos.

Tab. 3: Planilha de Orçamentos Manutenção e Operação.

Item	Serviços	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo Total (R\$/ano)
1	Limpeza				
	Remoção de cobertura vegetal manualmente - Realizada mensalmente	un.	270,00	12	3.240,00
	Limpeza da superfície dos painéis - Realizada semanalmente*	-	-	-	-
Subtotal					3.240,00
2	Licenciamento Ambiental				
	Licenciamento de operação do sistema - Renovação a cada 4 anos	vb	557,34	0,25	139,34
Subtotal					139,34
3	Manutenção				
	Transformadores e linhas de distribuição - Realizada a cada 2 anos	un.	400,00	0,5	200,00
Subtotal					200,00
4	Recursos humanos				
	Salário + leis sociais (1 funcionário para operar o sistema)	vb	2.500,00	12	30.000,00
	Curso de atualização	un.	350,00	1	350,00
Subtotal					30.350,00
Total					33.929,34

As receitas são as economias que o aeroporto faz deixando de consumir energia ou gerando créditos energéticos. Desta forma, a demanda energética do aeroporto é de 1.604 kWh/dia, sendo esta quantidade totalmente satisfeita, até em dias de menor irradiação solar. Esta geração energética garante uma economia de R\$ 420.248,73 por ano, considerando o valor do kWh de R\$ 0,7178, sendo que este valor já leva em consideração o valor da tarifa da distribuidora local e impostos (ICMS, PIS e COFINS) da franquia contratada. Os créditos energéticos são gerados quando o sistema solar fotovoltaico recebe radiação superior para o qual foi dimensionado. Tendo em vista que este sistema foi dimensionado para a pior radiação solar do pior dia do pior mês, qualquer dia que apresentar uma radiação solar superior à utilizada para cálculo do dimensionamento, gerará créditos de energia. Assim, a média estimada para os outros 11 meses em que a radiação é superior ao do pior mês, é de aproximadamente 980 kWh/dia a mais do que a necessidade energética do aeroporto. Esta quantidade de energia equivale a R\$ 235.653,74 por ano somente de energia excedente, considerando o mesmo valor do kWh anteriormente citado.

Em resumo, são considerados como custos o valor total para implantação e os custos de concepção do projeto de R\$ 2.895.422,78, e manutenção e operação de R\$ 33.929,34 ao ano. As economias, com os gastos energéticos e a geração de

créditos energéticos, também são consideradas, e se tornam receitas do aeroporto em um valor total de R\$ 655.902,47 por ano.

III. RESULTADOS

Esta seção foi dividida em subseções para uma melhor compreensão dos resultados que serão apresentados. A saber:

a. Demanda Energética

O valor da demanda de energia elétrica para o aeroporto obtido a partir da Equação (1) foi de 585,46 MWh/ano ou 1.604 kWh/dia. No entanto, utilizando os valores de eficiência dos cabos, do transformador e do inversor, há um acréscimo de 327,83 kWh/dia (Equação (2)) que, em dias de má radiação, possuirá uma potência de pico de 580,13 kWp (Equação (3)).

b. Módulos Fotovoltaicos

A necessidade energética será sanada com uma quantidade de 2.418 módulos, sendo o sistema formado por 186 módulos em paralelo (Equação (5)) com 13 módulos em série cada (Equação (4)). Na Fig. 2. Apresenta-se a forma por meio da qual ocorrerão as conexões, tanto em paralelo quanto em série.

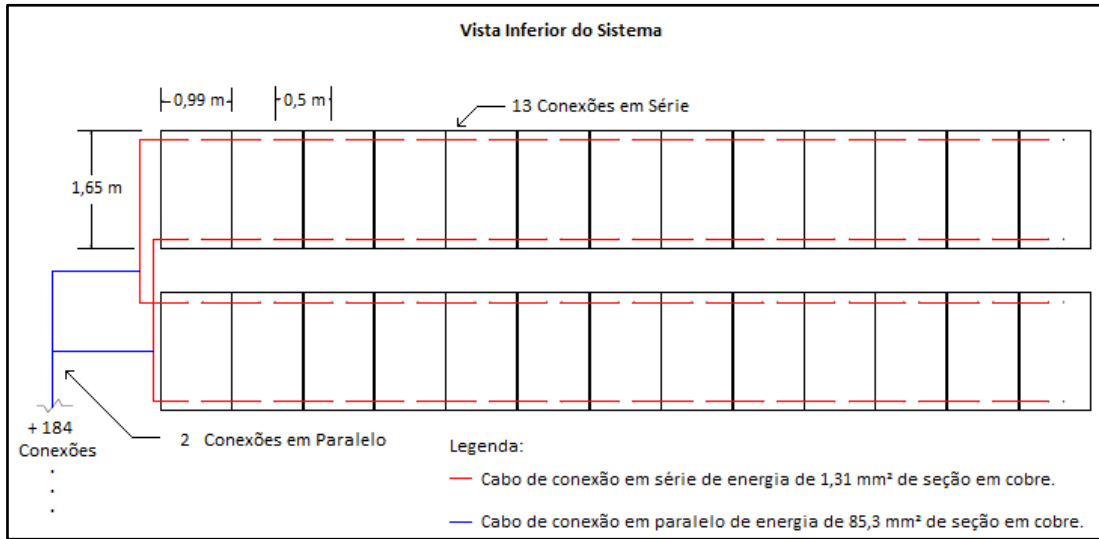


Fig. 2: Cabos e Conexões em Série e Paralelo.

A área total do sistema será de 3.965,52 m². Devido à grande área requerida para o sistema, o telhado do aeroporto não comporta tal dimensão, então é indicado o emprego do sistema em um local que não cause interferências na visibilidade das pistas para manobras das aeronaves e que não esteja sendo utilizado para nenhuma finalidade, como pode ser visto em vermelho na Fig. 3. Esta área é referente à pista de taxiamento das aeronaves, não ocorrendo decolagens nem pousos nesta área, ou seja, não existem interferências de vibrações ou grandes deslocamentos de ar que possam interferir na eficiência do sistema. Na Fig. 4 é apresentada a disposição do sistema com sua angulação e posicionamento solar.

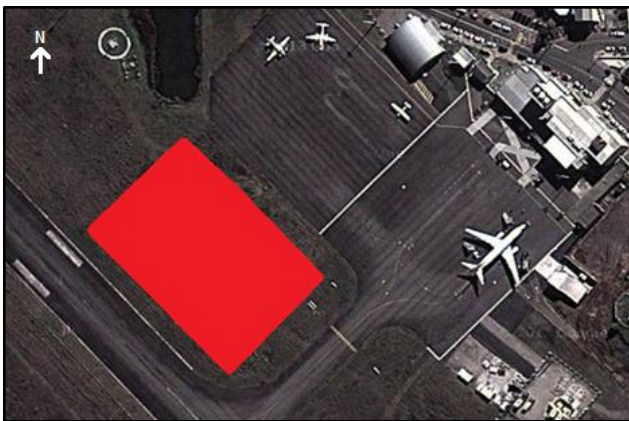


Fig. 3: Área de localização do sistema fotovoltaico.
Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de [5].

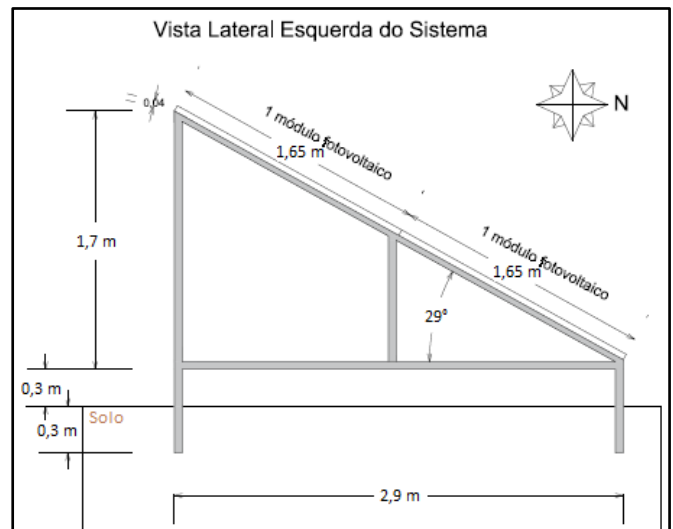


Fig. 4: Posicionamento dos Módulos.

c. Inversor de Frequência

Por meio da Equação (6), o valor da corrente alternada encontrado é de 1.526,66 A para dias de baixa radiação solar. No entanto, para dias de máxima radiação como ocorrem no mês de dezembro, conforme pode ser visto na Tab. 1, com radiações chegando a atingir 5,25 kWh/m².dia e uma potência de pico de 367,97 kWp, tem-se uma corrente alternada de 986,34 A. A partir deste valor, deve-se instalar, para este sistema, um inversor de frequência que atue em valores de corrente de 980 a 1.530 A.

O inversor de frequência, quando converte a corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), causa uma redução na tensão que sai do sistema fotovoltaico, de 380 V para 215 V. Neste caso, deve ser implantado um transformador para que a tensão volte a ser a que é utilizada no sistema.

d. Cabos de Conexão

Por meio da Equação (7), encontrou-se uma seção transversal ideal dos cabos, que ligam o sistema à subestação, de 239,14 mm², sendo o diâmetro de 17,45 mm. Para a conexão módulo com módulo, encontrou-se uma seção transversal ideal de 1,07 mm², sendo o diâmetro de

1,17 mm. No entanto, devido à disponibilidade comercial, considera-se a implantação de 3 cabos de cobre de 85,3 mm² e 1,31 mm² de seção respectivamente, sendo que esta modificação não causará nenhuma diferença na distribuição da energia.

e. Medidor de Energia Bidirecional

O medidor de energia elétrica é um equipamento eletrônico capaz de medir o consumo de energia elétrica. Neste caso, por ser um medidor bidirecional de alta tensão, possui a capacidade de medir a energia que é entregue pela rede ao consumidor e a energia que o consumidor entrega à rede, tudo isto sob uma tensão de 13,8 kV. Este equipamento é disponibilizado pela distribuidora de energia elétrica, a fim de se ter total credibilidade nos valores de energia consumida e disponibilizada na rede, que serão aferidos.

f. Transformadores

Os transformadores de tensão são equipamentos utilizados na transformação de valores de tensão e corrente. Seu princípio de funcionamento é baseado nas leis de indução eletromagnética de Faraday e Lenz. Para este sistema serão utilizados dois transformadores, um que será utilizado somente nos momentos em que houver consumo menor que a geração energética, disponibilizando o excedente da geração na rede elétrica. Este transformador transformará a tensão trifásica de 380 V para a tensão que a rede elétrica transporta, de 13,8 kV. E o outro, será utilizado para transformar a tensão que sai do sistema fotovoltaico de 215 V para a tensão trifásica utilizada nas dependências do aeroporto de 380 V.

g. Disjuntores

Os disjuntores visam proteger o sistema de cargas elétricas superiores às dimensionadas, que podem comprometer o funcionamento de todo o sistema do aeroporto, quando a carga é superior, se autodesligam até que a carga se estabilize nos valores dimensionados de 380 V. Para este sistema são necessários 2 disjuntores, conforme é requisitado pela distribuidora de energia local para sistemas de geração próprios que depositam o excedente na rede, sendo que serão localizados após o inversor e antes da rede de energia pública.

h. Central de Distribuição de Energia

A central de distribuição, localizada após a subestação de energia, visa à correta destinação da energia gerada pelo sistema fotovoltaico para todo o aeroporto. Esta central deve possuir sistemas automatizados, que melhoram a eficiência da entrega da demanda energética aos diferentes locais do aeroporto, como o terminal, as luzes da pista, as salas administrativas, entre outros.

O Aeroporto de Caxias do Sul possui uma central instalada em suas dependências, que será mantida e conectada ao sistema fotovoltaico, visto que, a demanda pelo aeroporto continua a mesma a ser suprida não havendo necessidade de trocas de sistemas distribuidores.

i. Subestação de Energia

O medidor bidirecional de alta tensão, os transformadores, os disjuntores e o inversor de frequência estão localizados dentro da subestação de energia, que fica dentro das dependências do aeroporto. Na Fig. 5 é possível observar a disposição destes equipamentos nas imediações da subestação, e é demonstrada também a direção do fluxo da energia gerada e consumida.

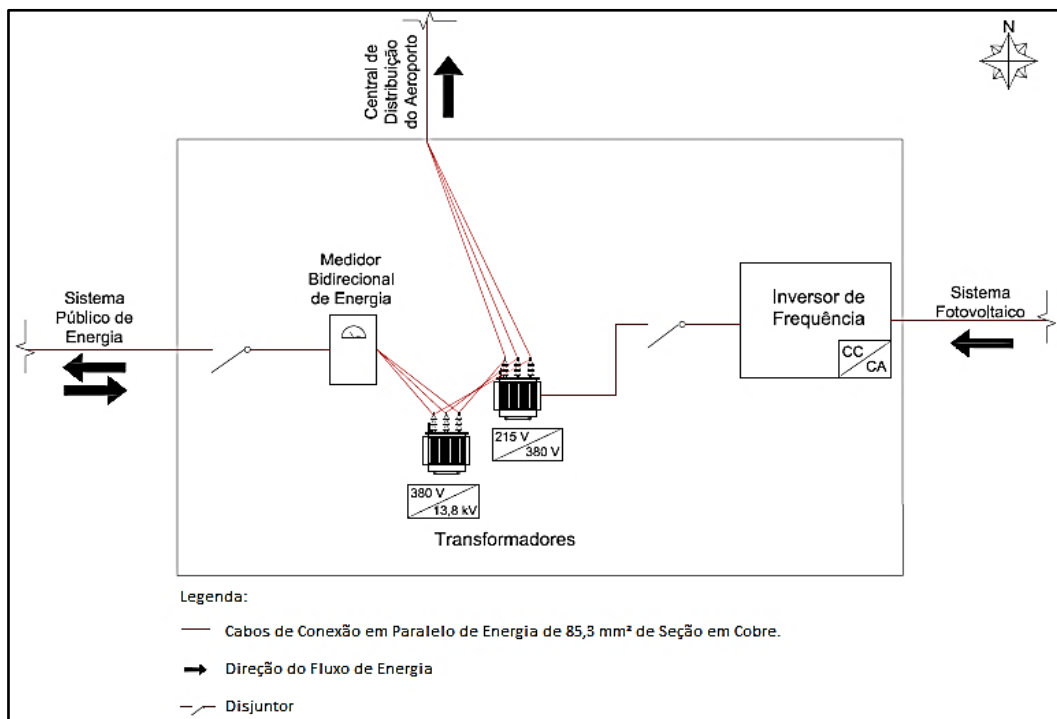


Fig. 5: Subestação de Energia.

j. Análise de Viabilidade

A Tab. 4 apresenta o resultado geral para este cenário, onde a relação benefício/custo é de 4,46 e a TIR está 22,25% superior ao CDB. Ambos os resultados evidenciam a viabilidade econômica deste estudo. Ainda, o tempo de retorno demonstra que este estudo é um excelente investimento sendo que a partir do 5º ano passa a apresentar um VPL muito atrativo.

Na Fig. 6 é apresentado o fluxo de caixa do estudo e na Fig. 7 o saldo de caixa acumulado em VPL, onde mostra-se todo o rendimento durante o tempo utilizado para esta

análise. Analisando estas figuras pode-se concluir que o estudo, se implementado, cobrirá tanto o investimento inicial, bem como gerará um excedente financeiro.

Tab. 4: Resultados de Dados para Análise.

TIR	B/C	VPL	Tempo de retorno
29,40%	4,46	R\$ 13.001.155,62	5 anos

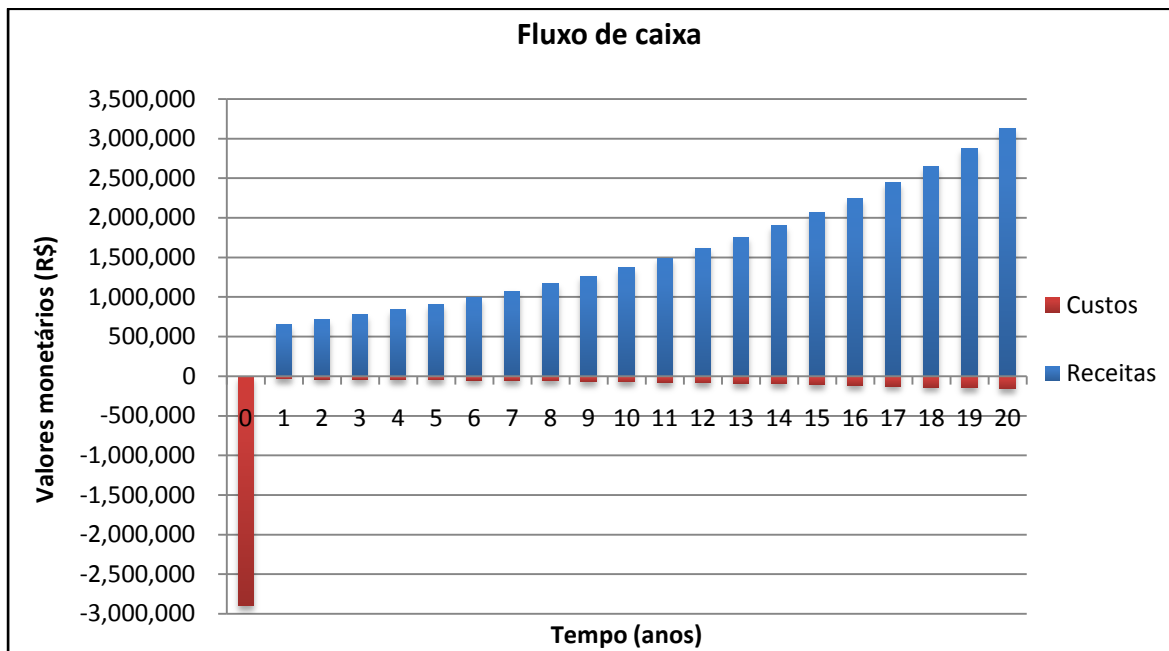


Fig. 6: Fluxo de Caixa.

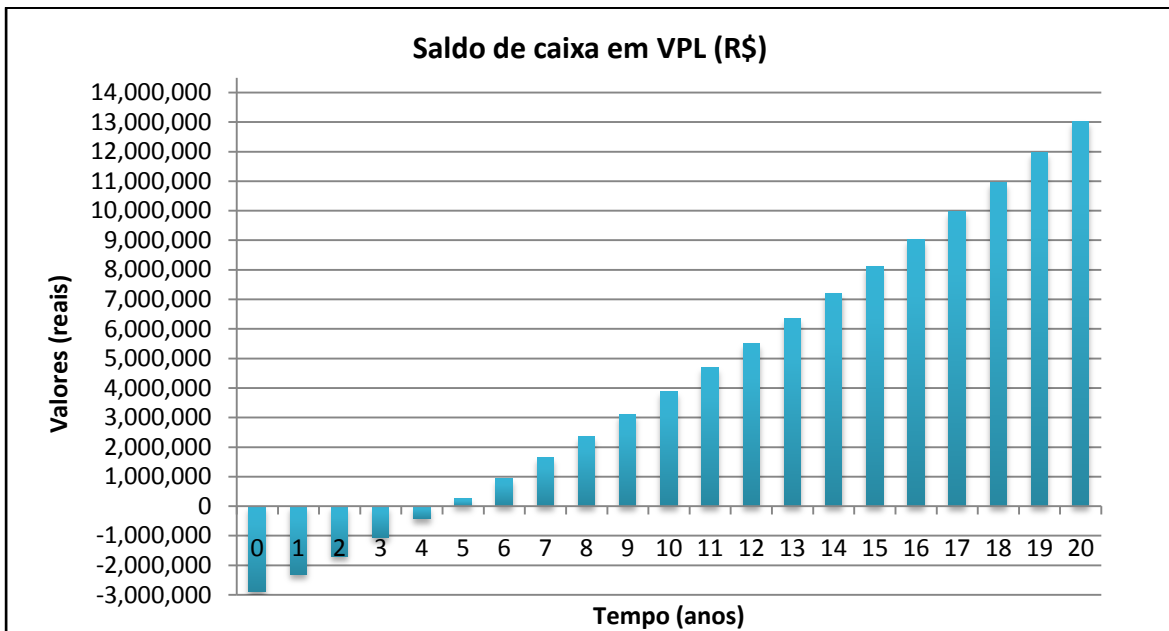


Fig. 7: Saldo de Caixa Acumulado em VPL.

Na Tab. 5 são apresentados a análise de valor presente líquido e o fluxo de caixa para todos os 20 anos. Esta tabela apresenta todos os valores mostrando seus rendimentos ano após ano. Ainda é possível observar, a época em que o

sistema começa a gerar excedentes financeiros (coluna Saldo de caixa em VPL (R\$)).

Tab. 5: Fluxo de Caixa.

Ano	Fluxo de Caixa		Resultados (R\$)	FPV	VPL		Fluxo de caixa em VPL (R\$)	Saldo de caixa em VPL (R\$)
	Receitas (R\$)	Custos (R\$)			Benefícios (R\$)	Custos (R\$)		
0*	0,00	-2.895.422,78	-2.895.422,78	1,00	0,00	-2.895.422,78	-2.895.422,78	-2.895.422,78
1	655.902,47	-33.929,34	621.973,13	0,95	622.446,00	-32.198,66	590.247,34	-2.305.175,44
2	712.047,72	-36.833,69	675.214,03	0,90	641.259,67	-33.171,88	608.087,79	-1.697.087,66
3	772.999,01	-39.986,66	733.012,35	0,85	660.641,99	-34.174,51	626.467,48	-1.070.620,18
4	839.167,72	-43.409,51	795.758,21	0,81	680.610,15	-35.207,45	645.402,70	-425.217,48
5	911.000,48	-47.125,37	863.875,11	0,77	701.181,85	-36.271,61	664.910,24	239.692,76
6	988.982,12	-51.159,30	937.822,82	0,73	722.375,34	-37.367,93	685.007,41	924.700,17
7	1.073.638,99	-55.538,53	1.018.100,45	0,69	744.209,42	-38.497,39	705.712,02	1.630.412,20
8	1.165.542,49	-60.292,63	1.105.249,85	0,66	766.703,43	-39.660,99	727.042,44	2.357.454,64
9	1.265.312,92	-65.453,68	1.199.859,24	0,62	789.877,34	-40.859,76	749.017,58	3.106.472,22
10	1.373.623,71	-71.056,52	1.302.567,19	0,59	813.751,69	-42.094,76	771.656,93	3.878.129,15
11	1.491.205,90	-77.138,96	1.414.066,94	0,56	838.347,65	-43.367,09	794.980,55	4.673.109,70
12	1.618.853,12	-83.742,05	1.535.111,07	0,53	863.687,03	-44.677,88	819.009,15	5.492.118,85
13	1.757.426,95	-90.910,37	1.666.516,58	0,51	889.792,30	-46.028,28	843.764,02	6.335.882,87
14	1.907.862,70	-98.692,30	1.809.170,40	0,48	916.686,61	-47.419,51	869.267,11	7.205.149,97
15	2.071.175,74	-107.140,36	1.964.035,39	0,46	944.393,82	-48.852,78	895.541,04	8.100.691,01
16	2.248.468,39	-116.311,57	2.132.156,81	0,43	972.938,49	-50.329,37	922.609,11	9.023.300,13
17	2.440.937,28	-126.267,84	2.314.669,44	0,41	1.002.345,93	-51.850,60	950.495,33	9.973.795,46
18	2.649.881,51	-137.076,37	2.512.805,14	0,39	1.032.642,22	-53.417,80	979.224,42	10.953.019,88
19	2.876.711,37	-148.810,11	2.727.901,26	0,37	1.063.854,23	-55.032,38	1.008.821,85	11.961.841,73
20	3.122.957,86	-161.548,25	2.961.409,61	0,35	1.096.009,64	-56.695,75	1.039.313,88	13.001.155,62

*O ano zero corresponde somente aos custos de implantação.

IV. CONCLUSÕES

A partir da relação benefício/custo e do valor positivo da TIR, nota-se que o estudo é viável economicamente na implantação, operação e manutenção do sistema ao final de 20 anos, uma vez que a TIR apresenta-se muito atrativa em relação à taxa mínima de atratividade empregada. Ainda, não foi identificado nenhum impacto negativo para a implantação deste estudo, sendo encontrado muitos impactos positivos, como a sustentação da imagem de *green airport*, onde o aeroporto melhora sua imagem perante seus usuários e melhora sua imagem comercial. Além disso, por se tornar o primeiro aeroporto totalmente sustentado por energias renováveis, incentiva a utilização das mesmas. Empresas, que observarem o crescimento da imagem positiva deste aeroporto causada pelo uso de energia renovável no mesmo, serão incentivadas a implantar esse tipo de sistema.

A propagação do uso deste tipo de sistema reduz a necessidade de novos barramentos para pequenas centrais hidrelétricas, não causando novas interferências no meio aquático, garantindo independência energética, até nos dias de menor irradiação além de gerar créditos energéticos e emprego especializado, entre muitos outros exemplos.

Nesse contexto, se este estudo for implementado, os gastos com energia elétrica deixarão de fazer parte da realidade do

aeroporto e se tornarão economias realizadas para o município de Caxias do Sul, visto que se trata de um empreendimento que pertence ao poder municipal. Assim, o município poderá utilizar estas economias como investimentos no aprimoramento do corpo de trabalhadores presentes, através de cursos e incentivos à educação especializada, novos projetos de revitalização do aeroporto e de outras áreas do município, educação em geral e ambiental da comunidade, entre outras possibilidades. Desta forma, se tratando de um sistema promissor, em relação ao tempo de retorno dos investimentos, indica-se sua implantação em uma instalação de grandes proporções como um aeroporto regional.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] S. E. Rampazzo, A questão ambiental no contexto do desenvolvimento econômico. In: BECKER, D. F. (Org.). *Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade?* Santa Cruz do Sul: Edunisc, 2001.
- [2] I. Sachs, *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. 2. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.
- [3] Jacieli Gustavo Kunz., *A geração de resíduos aeroportuários e suas interfaces com o turismo: o caso do aeroporto Hugo Cantergiani, Caxias do Sul – RS*. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Turismo) – Programa de Pós-Graduação em Turismo – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.
- [4] M. M. Reis, *Ecoeficiência na utilização de recursos hídricos em aeroportos*. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

- [5] Google. *Seção de bairro da cidade de Caxias do Sul - RS*. 2014. Disponível em: <earth.google.com.br/>. Acesso em: 13 ago. 2014.
- [6] C. S. Vieira, *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*. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica. *Energia solar*. 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [8] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB. *Energia solar: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 06 jul. 2015.
- [9] A. R. da Rosa, M. C. Brito, B. de Bittencourt, *Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma residência isolada situada em Ibiza - Espanha*. In: 4º Congresso Internacional De Tecnologia Para O Meio Ambiente, 2014, Bento Gonçalves, 2014.
- [10] M. C. Brito, *Energia fotovoltaica*. Lisboa, Portugal: Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências – Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente. Apresentação em slides na disciplina de energia fotovoltaica, 2012.
- [11] Francisco Cuadros Blázquez, *Apostilla de instalaciones fotovoltaicas: componentes y sistemas aislados*. Badajoz, Espanha, 2006.
- [12] Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. *Taxa de juros de longo prazo*. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Custos_Financeiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/index.html>. Acesso em: 06 jul. 2015.
- [13] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo*. Disponível em: <http://www.portaldefinancas.com/ipca_ibge.htm>. Acesso em: 06 jul. 2015.
- [14] Banco Central do Brasil. *Valor de Investimento na CDB*. 2015. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/?INDECO>. Acesso em: 06 jul. 2015.



Artur Rech da Rosa é bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade de Caxias do Sul. Tem experiência na área de Engenharia Ambiental, com ênfase em Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, direcionado ao gerenciamento (caracterização, avaliação do sistema atual e proposta de gestão) de resíduos sólidos, avaliação de impactos ambientais e elaboração das diretrizes (Programas e Projetos) para Planos Ambientais Municipais e possui experiência em análises físico-químicas (DBO5, DQO, nitrogênio amoniacal e Kjeldahl, pH, oxigênio por Winkler e alcalinidade). Participou do Programa Ciências Sem Fronteiras – CNPq/CAPES, indo estudar Engenharia da Energia e do Ambiente na Universidade de Lisboa, com ênfase nas energias renováveis.



Valquíria Villas-Boas é bacharel em Física pela Universidade de São Paulo (1985), mestre em Física da Matéria Condensada pela Universidade de São Paulo (1988) e doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo (1992). Fez seu pós-doutorado no Laboratoire de Magnétisme Louis Néel do CNRS (Grenoble-França). Foi professora do Instituto de Física da USP entre 1995 e 2003. Desde 2003 é professora do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) da Universidade de Caxias do Sul (UCS). Tem sua formação principal na área de Física da Matéria Condensada, com ênfase em Materiais Magnéticos. Atualmente tem trabalhado nas áreas de Aprendizagem Ativa para o Ensino de Física e de Engenharia, de Formação Profissional de Professores de Engenharia e de Formação Continuada de Professores de Ciências e Matemática. É coordenadora dos projetos UCS-PROMOVE: Engenheiro do Futuro e UCS-PROMOPETRO: Novos Desafios para o Engenheiro do Futuro. É professora do Programa de Pós Graduação em Ensino em Ciências e Matemática e do Programa de Formação para Professores da UCS. É membro do Steering Committee do grupo Active Learning in Engineering Education (ALE) do qual foi chairperson de janeiro 2011 a janeiro 2014. É membro do Consultative Committee for the Aalborg Centre for PBL in Engineering Science and Sustainability, do Editorial Board of the European Journal of Engineering Education e do Governing Board da Research in Engineering Education Network.