

AValiação DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A UMA EDIFICAÇÃO URBANA LOCALIZADA EM FLORIANÓPOLIS-SC

Kathlen Schneider (1); Ricardo Rütger (2)

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
kathlenschneider@hotmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, ricardo.rutger@ufsc.br,
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Pesquisa e
Capacitação em Energia Solar, Av. Luiz Boiteux Piaza, 1302, Lotes 114/115, 88056-000, Florianópolis - SC,
Tel.: (48) 3721-4598.

RESUMO

Este artigo busca avaliar o desempenho energético de um sistema fotovoltaico (FV) aplicado a uma edificação urbana localizada em Florianópolis-SC e que não se encontra nas condições de inclinação e orientação consideradas ideais para essa localidade. Foi analisada a possibilidade de aplicação FV em quatro águas de telhado da cobertura da edificação sob análise. Para cada uma delas dimensionou-se quatro sistemas FV idênticos (A1, A2, A3 e A4) e analisou-se o seu desempenho energético por meio de simulação computacional realizada no programa PVSyst. Simulou-se também outro sistema FV com as mesmas características técnicas e elétricas que os anteriores (A_Ideal), porém nas condições de inclinação e orientação consideradas ideais para Florianópolis-SC (27°-Norte). Comparou-se o desempenho de geração energética de cada um desses sistemas FV individualmente e como um todo em três cenários de análise: Sistemas Individuais, Sistema Total e Sistema Ideal. Os resultados mostraram que os sistemas A3 e A4 apresentaram as orientações mais desfavoráveis para o aproveitamento da irradiação solar no plano inclinado, o que representou uma perda de 33% e 25%, respectivamente, no seu potencial de geração energética ao longo de um ano quando comparado com o sistema A_Ideal. As perdas energéticas nos sistemas FV individuais representaram perdas de 17% no potencial de geração energética no Sistema Total quando comparado ao Sistema Ideal. Para casos como esse, pequenas perdas energéticas tornam-se justificáveis uma vez que um sistema FV aplicado nas condições ideais é apenas teórico e não se aplica a realidade da edificação.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica, geração distribuída, integração/aplicação fotovoltaica em edificações

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the energy performance of a photovoltaics (PV) system attached to an urban edification located in Florianópolis-SC. This PV system was designed in the conditions of inclination and orientation considered as non-ideal for PV energy generation in this locality. The possibility of attaching the PV modules was analyzed in four different roof areas. For each of them, four identic PV systems were designed (A1, A2, A3 and A4) and the energy performance of each one was simulated on PVSyst. Another PV system (A_Ideal) with the same technical and electric features as the others, but designed on the ideal conditions for Florianópolis (27° – North), was also simulated. The energy performance of each one of these systems was evaluated individually and as whole in three different scenarios: Individual Systems, Complete System and Ideal System. The results showed that the systems A3 and A4 presented the orientations less favorable for the solar irradiation incidence, which represented a loss of potential energy generation of 33% and 25%, respectively, over an entire year when compared to the system A_Ideal. The energy losses generation on the PV systems evaluated individually represented 17% of energy losses generation in the Complete System when compared to the Ideal System. For cases like this one, small energy losses become justifiable when the ideal PV system condition is just a hypothetical situation and it can not be applied to the reality of the building.

Keywords: photovoltaics solar energy, distributed generation, building integrated/applied photovoltaics.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude do desenvolvimento social e econômico do Brasil, a demanda de energia torna-se cada vez maior, o que impõe o desafio de estabelecer uma infraestrutura energética capaz de atender todo o país. Atualmente as fontes de energia renováveis contribuem em 41,2% da matriz energética brasileira, o que representa um elevado valor em comparação aos 14,3% da média mundial (MME, 2016). Na matriz elétrica, o maior destaque é para a geração hidráulica que corresponde a 64% da oferta interna (EPE, 2016). Porém, grande parte do potencial hidrelétrico nacional está disponível em regiões muito sensíveis, tanto no quesito ambiental como no social.

Adicionalmente, a segurança energética é afetada quando se depende em larga escala de energia gerada por fontes hídricas, dada pela grande variabilidade do regime de chuvas e pela redução da capacidade de estocar a água para a geração posterior de energia. Portanto, a discussão sobre segurança energética exige repensar nesse modelo. É preciso diversificar a matriz elétrica brasileira e uma das soluções se encontra em investir em outras fontes de energia renovável.

Outra vantagem do incentivo a outras fontes de energia renovável é que elas permitem aproximar os centros de produção das áreas de consumo. A geração de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras localizadas próximo ao centro de consumo e conectadas à rede de distribuição é definida como geração distribuída (GD). A existência de pequenos geradores próximos ao consumo pode beneficiar o sistema elétrico de diversas formas. Desses benefícios se destacam a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada, baixo impacto ambiental, diversificação da matriz energética, economia dos investimentos em transmissão e eliminação das perdas por transmissão de distribuição (T&D) da energia elétrica como ocorre com usinas geradoras centralizadas (ANEEL, 2016).

Recentes ações regulatórias (REN 482/2012 e REN 687/2015), que possibilitam a compensação de energia excedente produzida por sistemas de pequeno porte, influenciaram o crescimento da geração distribuída de energia elétrica no Brasil e, em quatro anos, o número de conexões de mini e microgeração de energia superou 7 mil instalações. O número cresceu de 4 conexões registradas em 2012 para 7.658 ligações registradas pela ANEEL em janeiro de 2017. A fonte de geração distribuída mais utilizada é a solar com 7.568 adesões, seguida da eólica com 45 instalações (ANEEL, 2017).

A grande disponibilidade de irradiação solar no Brasil é um fator significativo para o uso da energia solar e aplicação da tecnologia fotovoltaica (FV). Além disso, ainda que os níveis de irradiação solar na superfície terrestre apresentem variações anuais expressivas, a componente de irradiação mais influente na geração fotovoltaica (Irradiação Global Horizontal - GHI) apresenta pequena variação (EPE, 2012), sendo essa uma das características que favorecem a integração da energia solar ao sistema elétrico uma vez que são reduzidas as incertezas quanto à disponibilidade energética da fonte no seu ciclo anual.

A incidência da GHI em um plano inclinado varia em relação ao ângulo de inclinação desse plano e à sua orientação. Para um sistema solar fotovoltaico, a determinação do ângulo de inclinação dos painéis solares é influenciada pela posição da Terra em relação ao longo do ano. No hemisfério sul, para o melhor aproveitamento da incidência de irradiação global, os módulos solares devem estar voltados para o equador (norte geográfico) e a inclinação com o plano horizontal pode ser ajustada para maximizar a produção em determinada estação do ano ou para maximizar a produção média ao longo do ano. Para esse último caso, em geral, a inclinação ideal corresponde a ângulos próximos da latitude do local da instalação (RÜTHER, 2004). Por exemplo, para Florianópolis, que está localizada na latitude 27° Sul, a inclinação e orientação ideais para que um sistema fotovoltaico tenha o seu melhor desempenho de produção ao longo do ano é de 27° voltado para o norte.

Outra grande vantagem das tecnologias geradoras de energia solar fotovoltaica para a aplicação em sistemas de geração distribuída é a possibilidade de aplicá-las e/ou integrá-las ao envelope das edificações. Existem duas maneiras de aplicar um sistema fotovoltaico à uma edificação: integrados ao edifício (BIPV, da sigla em inglês *Building Integrated Photovoltaics*) ou adicionados/anexados ao edifício (BAPV, da sigla em inglês *Building Added/Attached Photovoltaics*). Os componentes de um sistema BAPV requerem um sistema de montagem adicional o que faz com que esses normalmente sejam mais utilizados em casos de *retrofit*. Já os produtos BIPV tornam-se parte da envoltória da edificação o que torna possível a sua utilização a substituição de componentes da envoltória como coberturas, fachadas e janelas (DIDONÉ, WAGNER e PEREIRA, 2014).

Adicionalmente, a significativa queda no custo dos módulos FV vem oferecendo a possibilidade de explorá-los cada vez mais no viés arquitetônico. Porém um dos grandes desafios enfrentados por profissionais da área de engenharia e de arquitetura é o de encontrar o equilíbrio entre função e forma na integração/aplicação de sistemas FV em edificações, buscando um bom desempenho de geração energética aliado à boa aparência do sistema FV instalado no edifício. Segundo Zomer *et al.* (2013) é possível atingir o

compromisso de uma integração agradável e pequenas perdas de energia, sendo que esse fato pode auxiliar a convencer mais os clientes e o público do que sistemas FV com orientação e inclinação ideais que causam impactos negativos na estética de edifícios.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho energético de um sistema FV aplicado a uma edificação urbana, localizada em Florianópolis-SC, em condições consideradas não ideais e comparar a sua performance com a de um sistema FV nas mesmas características, mas com inclinação e orientação ideais para essa localidade (27° - Norte).

3. MÉTODO

3.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é o Casarão Sede do Sapiens Parque S.A., localizado no bairro de Canasvieiras no norte da ilha de Florianópolis-SC, com coordenadas (-27,4312° O, -48, 6444° S). O Sapiens Parque S.A. é definido como um parque de inovação que foi concebido com o intuito de promover o desenvolvimento de importantes segmentos econômicos de Florianópolis, atuando na promoção da ciência, tecnologia, meio ambiente e turismo. Sendo assim, a aplicação de um sistema FV na envoltória do Casarão torna-se uma boa oportunidade para promover o uso dessa tecnologia integrada a edificações urbanas.

A Figura 1(a) mostra uma foto da entrada principal do Casarão e a Figura 1(b) apresenta a sua implantação e orientação.

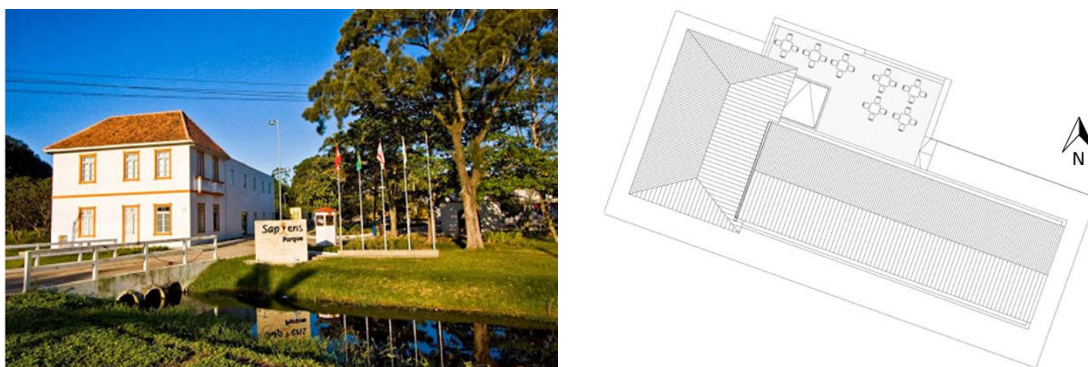


Figura 1 – (a) Entrada principal do Casarão Sede do Sapiens Parque S.A.; (b) implantação e orientação do Casarão

3.2. Áreas de análise para implementação do sistema FV

Para avaliar as áreas de cobertura disponíveis para a implementação do sistema FV foi necessário ter acesso às plantas de cobertura e arquitetônicas da edificação. A cobertura do Casarão é composta por seis águas de telhado e foi analisada a possibilidade de aplicação de sistemas FV em quatro dessas seis águas, conforme indicadas na Figura 2. Essas águas de telhado apresentam a mesma inclinação, mas diferentes áreas e azimutes (Tabela 1), sendo que juntas elas formam uma volta completa em 360°. Optou-se por analisar essas quatro áreas com o intuito de avaliar a influência das diferentes orientações no desempenho dos sistemas FV.

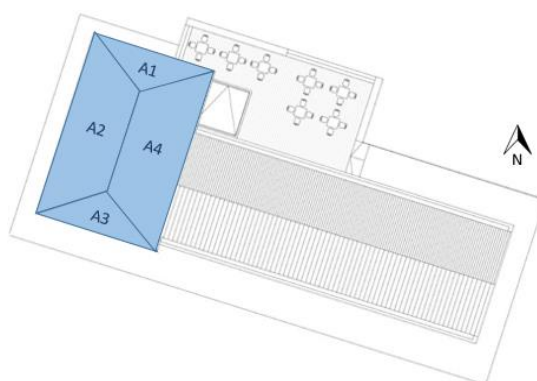


Figura 2 – Áreas de análise para implementação do sistema FV.

Tabela 1 – Áreas de análise de implementação do sistema, suas áreas, inclinações e azimutes.

Área de Análise	Área [m ²]	Inclinação	Azimute
A1	12,24	32°	27°
A2	44,26	32°	-63°
A3	12,24	32°	-153°
A4	44,24	32°	117

3.2.1. Irradiação incidente nas áreas de análise

Com o intuito de avaliar o potencial de geração de energia nas áreas de análise por meio da implementação de um sistema FV, foi necessário identificar os dados de Irradiação Global Horizontal (GHI) para Florianópolis-SC. Esses valores foram obtidos por meio do banco de dados do projeto SWERA (PEREIRA *et al.*, 2006) e os valores de média mensais e anual obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de Irradiação Global Horizontal (GHI) mensais e anual para Florianópolis-SC.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
GHI (kWh/m².dia)	5,84	5,44	4,81	4,04	3,24	2,90	2,84	3,65	3,95	4,87	6,10	5,96	4,47

Com auxílio do programa RADIASOL (GESTE, 2001), versão 2.1, foi possível calcular a irradiação solar no plano inclinado para as inclinações e orientações de cada uma das áreas sob análise. Foi também possível calcular a irradiação na a situação ideal de aproveitamento da irradiação solar incidente num plano inclinado para geração de energia FV em Florianópolis (27° - Norte). A Tabela 3 apresenta os resultados das médias mensais e a média anual de irradiação, em kWh/m².dia, obtidos nesse cálculo.

Tabela 3 – Valores de médias mensais e anual de irradiação incidente no plano das áreas sob análise (kWh/m².dia).

	Jan	Fev	Março	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
A_Ideal	5,59	5,39	5,09	4,66	4,02	3,78	3,27	4,36	4,22	4,92	5,90	5,66	4,74
A1	5,45	5,26	4,96	4,56	3,95	3,72	3,21	4,27	4,13	4,80	5,74	5,51	4,63
A2	5,51	5,21	4,79	4,22	3,51	3,23	2,89	3,86	3,96	4,73	5,78	5,60	4,44
A3	5,45	4,86	4,08	3,13	2,32	1,96	2,06	2,69	3,37	4,31	5,57	5,61	3,78
A4	5,50	5,02	4,38	3,56	2,76	2,41	2,35	3,14	3,61	4,49	5,69	5,64	4,05

3.3. Integração Fotovoltaica

3.3.1. Módulo FV adotado

Foi adotado o módulo de filme fino de telureto de cádmio (CdTe) produzido pela empresa estadunidense First Solar, modelo FS-4122-2 da série 4, com 123Wp de potência nominal. As características técnicas desse módulo estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características técnicas do módulo FV adotado.

Parâmetros Físicos	Valores	Parâmetros Elétricos	Valores
Tecnologia	Filme fino de telureto de cádmio (CdTe)	Pmpp	122,8W
Dimensão do módulo	1200mm x 600mm	Vmpp	69,6V
Espessura	7,0mm	Impp	1,76A
Peso	12,0 Kg	Voc	87,0 V
Vidro frontal	3,2mm reforçado no calor	Isc	1,93A
Vidro traseiro	3,2mm temperado	Fio	2,5mm ² ; 610mm
Moldura	Sem moldura		

Dimensionou-se quatro sistemas FV idênticos para cada área analisada. Para contabilizar a quantidade de módulos FV desses quatro sistemas, foram utilizadas as menores áreas de cobertura (A1 e A3) como base de cálculo. Considerando um espaçamento de 2mm entre os módulos e com o auxílio do programa AutoCAD, calculou-se que é possível instalar 10 módulos FV posicionados em paisagem, totalizando uma potência nominal de 1,23kWp em cada água de telhado analisada.

3.3.2. Inversor FV adotado

Uma vez definida a quantidade de módulos e a potência nominal de cada sistema FV nas quatro áreas de análise, foi possível dimensionar o inversor para cada um desses sistemas individuais. O inversor escolhido foi o modelo Sunny Boy 1.5 da empresa SMA e as suas características técnicas estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características técnicas do inversor adotado.

Características Técnicas	Valores
Dimensões	460mm x 357mm x122mm
Peso	9,2Kg
Potência	1,5 kW
Tensão de Operação	160 - 480V
Eficiência Máxima	97,2%

3.3.3. Cenários de análise

A fim de avaliar desempenho energético de cada sistema FV individual nas áreas A1, A2, A3 e A4; desses sistemas FV individuais como um todo e compará-los com um sistema FV instalado na situação ideal para Florianópolis (27°- Norte), foram simulados três cenários de análise. A geração de energia de cada cenário pelo sistema foi simulada no programa PVsyst (PVSYST SA, 2016), versão 6.43. A Tabela 6 apresenta as características de cada cenário de análise, sendo esses os seguintes:

Sistemas Individuais: simulação da geração energética de cada sistema FV individual: A1, A2, A3 e A4, A_Ideal;

Sistema Total: simulação da geração energética dos sistemas individuais FV nas condições não ideais como um todo: (A1+A2+A3+A4);

Sistema Ideal: simulação da geração energética de um sistema FV com as mesmas características técnicas e elétricas do Sistema Total, mas nas condições de inclinação e orientação ideais (4xA_ideal).

3.3.4. Detalhamento do projeto FV para cada cenário de análise

A Tabela 8 apresenta o detalhamento dos sistemas FV simulados em cada cenário de análise.

4. RESULTADOS

4.1. Aproveitamento da irradiação solar incidente nas áreas de análise

A inclinação ideal para Florianópolis (27°- Norte) foi considerada como base para calcular o aproveitamento da irradiação solar incidente nas áreas de análise e a Tabela 7 apresenta, em percentagem, os valores calculados. Como média anual, as áreas A1 e A2 apresentaram os maiores índices de aproveitamento (98% e 94%, respectivamente), enquanto que as áreas A3 e A4 apresentaram os menores índices (80% e 85%, respectivamente).

Tabela 6 – Cenários analisados na simulação de geração energética do sistema FV proposto

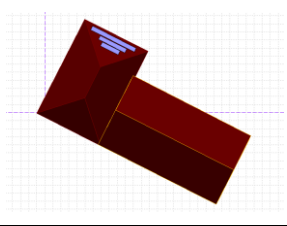
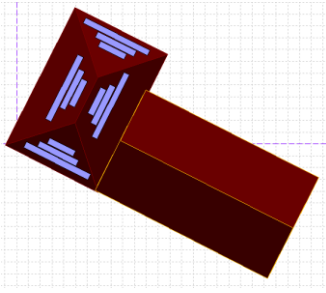
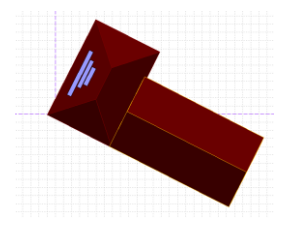
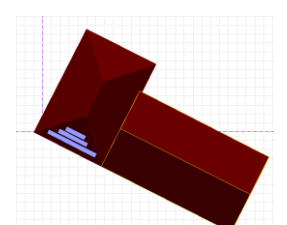
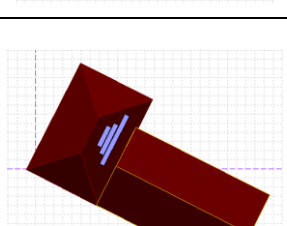
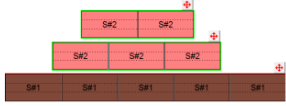


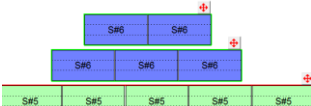
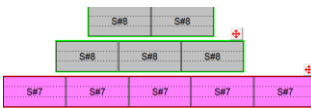
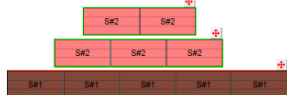




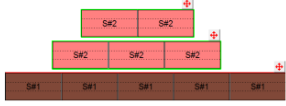

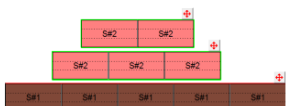
Sistemas Individuais		Sistema Total	Sistema Ideal
Sistema A1 (i=32°; azimute= 27°)		(A1+ A2+ A3 + A4) 	Sistema Ideal para Florianópolis (4 X A_Ideal)
Sistema A2 (i=32°; azimute= -63°)			
Sistema A3 (i=32°; azimute= -153°)			
Sistema A4 (i=32°; azimute=117°)			
Sistema A_Ideal: (i=27°; azimute = 0°)			

Tabela 7 - Valores em porcentagem de aproveitamento de irradiação solar incidente nas áreas de análise em relação à situação ideal.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
A_Ideal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
A1	97%	97%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	97%	97%	98%
A2	99%	97%	94%	91%	87%	85%	88%	89%	94%	96%	98%	99%	94%
A3	97%	90%	80%	67%	58%	52%	63%	62%	80%	88%	94%	99%	80%
A4	98%	93%	86%	76%	69%	64%	72%	72%	85%	91%	96%	100%	85%

Tabela 8 – Detalhamento do sistema FV simulado em cada cenário de análise.

Sistemas Individuais	Sistema Total	Sistema Ideal
<p>Sistema A1</p> <ul style="list-style-type: none"> - 02 Strings; - 05 Módulos em série; - Total: 10 módulos; - 01 Inversor. 	<p>$(A1+A2+A3+A4)$</p> <ul style="list-style-type: none"> - 08 Strings; - 05 módulos em série; - Total: 40 módulos; - 04 Inversores. <p>A1:</p>  <p>A2:</p>  <p>A3:</p>  <p>A4:</p> 	<p>$(4 \times A_Ideal)$</p> <ul style="list-style-type: none"> - 08 Strings; - 05 módulos em série; - Total: 40 módulos; - 04 Inversores. <p>A_Ideal:</p>  <p>A_Ideal:</p>  <p>A_Ideal:</p>  <p>A_Ideal:</p> 
<p>Sistema A2</p> <ul style="list-style-type: none"> - 02 Strings; - 05 Módulos em série; - Total: 10 módulos; - 01 Inversor. 		
<p>Sistema A3</p> <ul style="list-style-type: none"> - 02 Strings; - 05 Módulos em série; - Total: 10 módulos; - 01 Inversor. 		
<p>Sistema A4</p> <ul style="list-style-type: none"> - 02 Strings; - 05 Módulos em série; - Total: 10 módulos; - 01 Inversor. 		
<p>Sistema A_Ideal</p> <ul style="list-style-type: none"> - 02 Strings; - 05 Módulos em série; - Total: 10 módulos; - 01 Inversor. 		

4.2. Geração fotovoltaica

4.2.1. Geração energética estimada

Os resultados de geração energética anual de cada sistema FV avaliado individualmente (A_Ideal, A1, A2, A3 e A4) e as suas respectivas perdas de geração energética em relação à condição ideal estão apresentadas na Tabela 9. Os sistemas A1 e A2 obtiveram os melhores resultados de desempenho em relação ao sistema A_Ideal, com perdas de 1% e 8%, respectivamente. Por outro lado, os sistemas A3 e A4 apresentaram as maiores perdas em relação ao sistema A_Ideal, sendo essas 33% e 25% respectivamente.

Tabela 9 – Geração energética de cada sistema individual e suas respectivas perdas em relação à situação ideal

	A_Ideal	A1	A2	A3	A4
Geração energética (kWh/ano)	1.798	1.773	1.648	1.208	1.343
Perdas em geração (%)	0%	1%	8%	33%	25%

A Figura 3 apresenta o perfil de geração energética mensal de cada sistema analisado. Nota-se que os sistemas A1 e A_Ideal apresentam o melhor desempenho e seus perfis de geração mensal são muito semelhantes entre si. Por outro lado, os sistemas A3 e A4 apresentam o menor desempenho, com perdas consideráveis nos seus potenciais de geração energética nos meses de abril a setembro. Nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro todos os sistemas avaliados apresentaram desempenhos muito semelhantes entre si, com os maiores valores de geração mensal calculados.

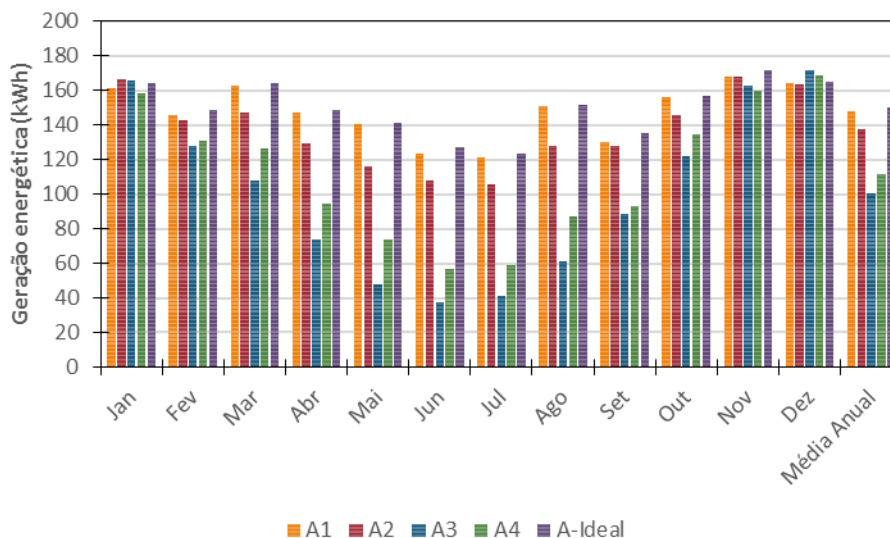


Figura 3 – Geração FV anual dos Sistemas Individuais

A Figura 4 apresenta a geração FV anual do Sistema Total e do Sistema Ideal. O Sistema Total é capaz de gerar 5.973 kWh/ano, o que representa 83% do potencial de geração FV estimada para o Sistema Ideal (7.194 kWh/ano). Ou seja, em relação ao Sistema Ideal, o Sistema Total apresenta perdas de 17% no seu potencial de geração energética. Em termos de médias mensais, o Sistema Total gera aproximadamente 500 kWh/mês, enquanto que o Sistema Ideal gera 600 kWh/mês.

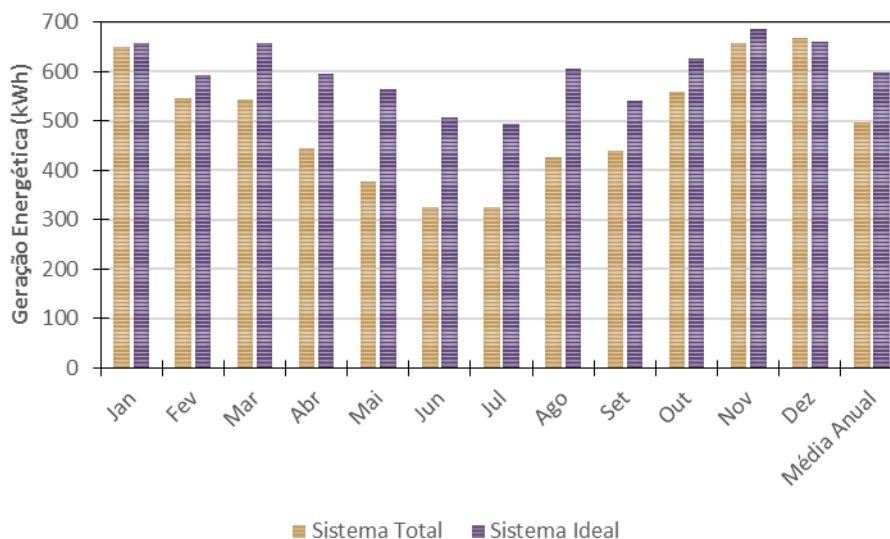


Figura 4 – Geração FV anual do Sistema Total e do Sistema Ideal

4.2.2. Geração energética horária em um Clear Day

Foi observada também a curva de geração horária de cada um dos sistemas sob análise em um *clear day*, que representa um dia de céu limpo e sem nuvens, próximo ao solstício de verão e outro próximo ao solstício de inverno.

A Figura 5(a) apresenta a curva de geração horária dos Sistemas Individuais em um *clear day* próximo ao solstício de verão (06/01). Nota-se que todos os sistemas individuais apresentam padrões de curvatura de geração energética muito semelhantes entre si, porém seus horários de pico de geração são diferentes. Isso se dá pelo fato de que cada sistema está voltado para uma orientação diferente, e, portanto, cada um apresenta maior incidência solar em diferentes horários do dia.

A Figura 5(b) apresenta a curva de geração horária dos Sistemas Individuais em um *clear day* próximo ao solstício de inverno (23/06). Neste caso, as curvas de geração horária dos sistemas variam bastante entre si. Fica notável que o desempenho dos sistemas A3 e A4 é bem menor do que dos sistemas A1 e A2 ao longo de um dia, apresentando picos de geração horária bem menores.

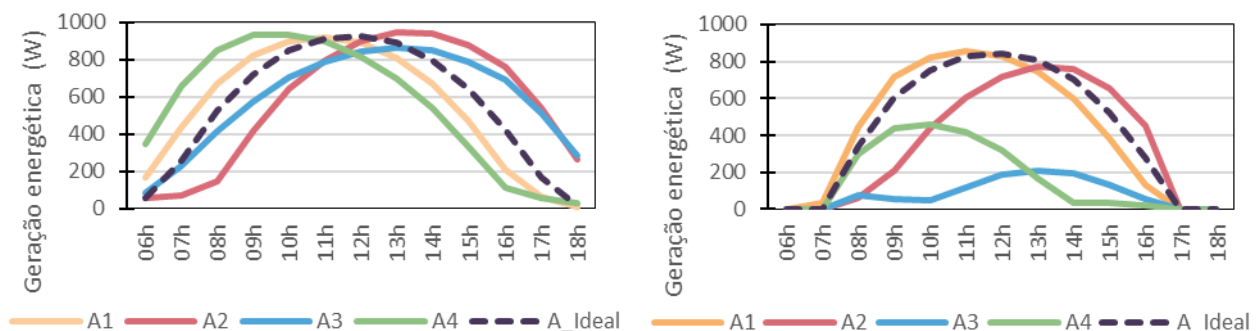


Figura 5 – Geração horária dos Sistemas Individuais em *clear day* próximo ao (a) solstício de verão (b) solstício de inverno

As Figura 6(a) e Figura 6(b) apresentam as curvas de geração horária do Sistema Total e do Sistema Ideal para o solstício de verão e de inverno, respectivamente. Nota-se na Figura 6(a) que os Sistema Total e Ideal apresentam curvas de geração horária em um *clear day* de verão muito semelhantes entre si, sendo que a principal diferença é que o Sistema Total gera um pouco mais de energia nas primeiras horas da manhã e nas últimas horas do dia do que o Sistema Ideal. Além disso, o Sistema Total apresenta um pico de geração um pouco menor que o Sistema Ideal.

Ao observar a Figura 6(b), nota-se que o Sistema Total mostra um pico de geração horária bem menor que o Sistema Ideal em um *clear day* de inverno, apresentando um menor desempenho de geração energética nesse período do ano.

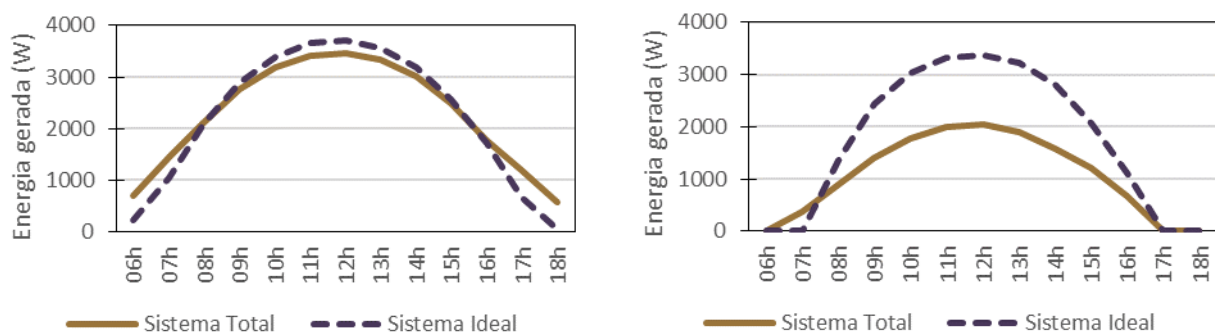


Figura 6- Geração horária do Sistema Total e do Sistema Ideal em um *clear day* próximo ao (a) solstício de verão e (b) solstício de inverno.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou analisar o desempenho energético de sistemas FV em condições de inclinação e orientação consideradas não ideais aplicados a uma edificação urbana localizada em Florianópolis-SC. Foram simulados no *software* PVSyst quatro sistemas FV (A1, A2, A3, A4) com as mesmas características técnicas e elétricas, instalados na mesma inclinação ($i=32^\circ$), mas voltados para diferentes azimutes (27° , -63° ,

-153°, 117°). O desempenho energético desses sistemas foi comparado com um sistema FV (A_Ideal) com mesmas características técnicas e elétricas, mas instalados nas condições consideradas ideais para Florianópolis ($i=27^\circ$, $\text{azimute}=0^\circ$).

Observou-se que os sistemas A3 e A4 foram os que apresentaram o menor aproveitamento da irradiação solar no plano inclinado ao longo do ano, apresentando 80% e 85% de aproveitamento em relação ao sistema A_Ideal. Essa diminuição no aproveitamento da irradiação solar representou uma perda de 33% no potencial de geração energética para o sistema A3 e 25% para o sistema A4. Os sistemas A1 e A2 apresentaram, respectivamente, 98% e 94%, de aproveitamento da irradiação solar ao longo do ano, e esses números representaram uma perda de 1% no potencial de geração energética do sistema A1, e 8% no sistema A2.

Também se notou que, ao longo do ano, os sistemas A1 e A_Ideal apresentam o melhor desempenho e seus perfis de geração mensal são muito semelhantes entre si. Por outro lado, os sistemas A3 e A4 apresentaram perdas consideráveis nos seus potenciais de geração energética nos meses de abril a setembro. Isso se deve ao fato de que nos meses de inverno a trajetória do sol é mais baixa, o que faz com que as superfícies das áreas A3 e A4 apresentem uma menor incidência de irradiação solar no seu plano inclinado devido às suas orientações mais desfavoráveis. O aproveitamento da irradiação solar nas superfícies inclinadas das áreas A3 e A4 variou de 52% a 72% nessa época do ano.

Analisando os sistemas A1, A2, A3 e A4 como um todo (Sistema Total) e comparando-o com o desempenho do Sistema Ideal ($4 \times A_{\text{Ideal}}$), notou-se que as perdas no potencial de geração energética em cada um dos sistemas individuais representaram uma perda total de 17% no Sistema Total. Sabendo que o Sistema Ideal para este estudo de caso é apenas teórico, pois não existe a possibilidade de aplicação de um sistema FV nas condições de inclinação e orientação consideradas ideais na envoltória do Casarão, essa perda energética de 17% torna-se justificável.

Além disso, percebeu-se que a principal desvantagem no desempenho da geração energética de um sistema FV que não esteja nas condições ideais apresentou-se nos meses de inverno, quando o potencial de geração energética do Sistema Total mostrou os menores valores. Porém, esse não seria necessariamente uma grande desvantagem uma vez que a atual legislação brasileira para geração distribuída é adotada no esquema *net-metering*. Portanto, nesse caso, o pior desempenho do sistema FV nos meses de inverno pode ser compensado pelo bom desempenho nos meses de verão. Para obter informações mais conclusivas nesse aspecto, seria necessário conhecer o perfil de consumo da edificação e então avaliar a compensação energética da mesma.

Por fim, conclui-se que sistemas FV aplicados em condições não ideais a envoltória de uma edificação pode ser uma opção tecnicamente viável, uma vez que as perdas energéticas podem se tornar justificáveis pela boa aparência da aplicação do sistema FV na envoltória do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2016.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil ultrapassa 7 mil conexões de micro e minigeração**. Publicado em: 26 jan. 2017. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/brasil-ultrapassa-7-mil-conexoes-de-micro-e-minigeracao/656877>. Acesso em: 03 mar. 2017.
- DIDONÉ, Evelise Leite; WAGNER, Andreas; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 14, p.27-42, jul. 2014.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2012.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano Base 2015**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.
- GESTE. Grupo de Estudos Térmicos e Energética. **RADIASOL, versão 2.1**. UFRGS: 2001.
- MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2015**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2016.
- PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José do Campos (SP): Swera/Inpe [Solar And Wind Energy Resources Assessment/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais], 2006. 60 p.
- PVSYST SA. **PVSyst Photovoltaic Systems Software, versão 6.47**. Disponível em <<http://www.pvsyst.com/en/download>>. Gênbra, 2016.
- RÚTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial de Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas Interligadas à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: Ufsc/Labsolar, 2004.
- ZOMER, Clarissa D. et al. Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 66, p.607-615, nov. 2013. Elsevier BV.