

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS APLICADOS A EDIFICAÇÕES (BAPV) E SISTEMAS IDEALMENTE INSTALADOS PARA MÁXIMA GERAÇÃO ANUAL

Andrigo Filippo Antonioli – andrigofilippo@gmail.com

Alexandre de Albuquerque Montenegro – alexandre.a.montenegro@gmail.com

Clarissa Debiazi Zomer – clazomer@gmail.com

Ricardo Rütther – ricardo.ruther@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

Resumo. *O presente artigo tem por objetivo comparar, através de uma avaliação técnica e econômica, duas situações de sistemas fotovoltaicos (FV) conectados à rede (SFVCR): (i) integração ideal ao envelope construtivo e (ii) máxima geração anual. Na situação (i), os módulos são instalados na mesma orientação e inclinação da água do telhado mais adequada. Já na situação (ii), a mesma potência prevista na situação (i) é instalada na orientação e inclinação ótimas para atingir a maior geração anual. Tal comparação foi feita para 20 unidades residenciais distribuídas ao longo do Estado de Santa Catarina. A avaliação técnica faz a comparação entre a geração estimada dos SFVCR nas situações (i) e (ii), para cada uma das 20 residências. A avaliação econômica considera os resultados encontrados na análise técnica e faz um estudo de retorno do investimento para cinco das vinte residências. Os resultados mostraram que ao comparar os valores de produtividade para a condição BAPV de cada uma das residências com a condição teoricamente ideal, foi possível verificar que, para as casas cujas coberturas têm desvio azimutal de $\pm 90^\circ$, a produtividade foi reduzida em mais de 10%. Para os sistemas BAPV cujo valor do azimute permanece zero, mas a diferença da inclinação em relação ao valor ideal é de -12° a 18° , a influência sobre os valores de produtividade não é tão significativa (redução de 0% a 3%). Mesmo as edificações com situações reais mais desfavoráveis em relação à situação ideal, mostraram-se viáveis para tornarem-se edificações de energia zero.*

Palavras-chave: SFVCR, produtividade, análise econômica

1. INTRODUÇÃO

Dentro da área da construção civil, as edificações consomem energia elétrica desde a etapa de execução da obra. As edificações foram responsáveis por 54% (251,53 TWh) do consumo total de energia elétrica do país em 2013 (463,33 TWh), sendo que o setor residencial consumiu 27% (124,89 TWh) deste total (EPE, 2014).

Desde abril de 2012, quando entrou em vigor a resolução normativa 482 da ANEEL, o consumidor brasileiro pode participar de um sistema de compensação de energia elétrica (SCEE), através do qual é possível gerar energia para consumo próprio diretamente na edificação, e armazenar o excedente na rede pública, para uso posterior. A energia ativa injetada na rede é posteriormente compensada com o consumo de energia ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade de mesma titularidade, desde que ambas possuam o mesmo CPF ou CNPJ. Esse crédito em quantidade de energia ativa (kWh) deveria ser consumido em um período máximo de 36 meses. Em novembro de 2015, houve uma atualização na norma e o consumidor passou a ter 60 meses para usufruir da energia.

Até o final de 2014, o setor residencial acumulou uma potência fotovoltaica (FV) instalada de 3.105 kWp, distribuída entre aproximadamente 245 sistemas FV conectado à rede (SFVCR) (ANTONIOLLI, 2015).

No Brasil, a geração FV integrada a edificações possui um alto potencial devido aos elevados índices de irradiação solar ao longo de todo o território nacional (4,25 kWh/m² a 6,30 kWh/m²) (PEREIRA, 2006). Além disso, é uma geração distribuída consumida diretamente pela edificação de uma forma inteligente e sem a necessidade de uma linha de transmissão ou conexão em subestação.

Neste artigo foram avaliadas 20 residências unifamiliares em Santa Catarina e foi analisada a viabilidade técnica de instalação de SFVCR em diferentes configurações de telhado. Cada SFVCR aplicado à edificação (BAPV, da sigla em inglês *building-applied photovoltaics*) é comparado com um sistema de mesma potência, porém em condições ideais de inclinação e orientação.

Para as duas configurações de SFVCR, são calculados então os valores de produtividade FV (kWh/kWp.ano) – também chamado de *Yield* – e de custo da energia gerada.

2. MÉTODO

O método desenvolvido para realizar este trabalho foi dividido em etapas, conforme mostra o fluxograma da Fig. 1

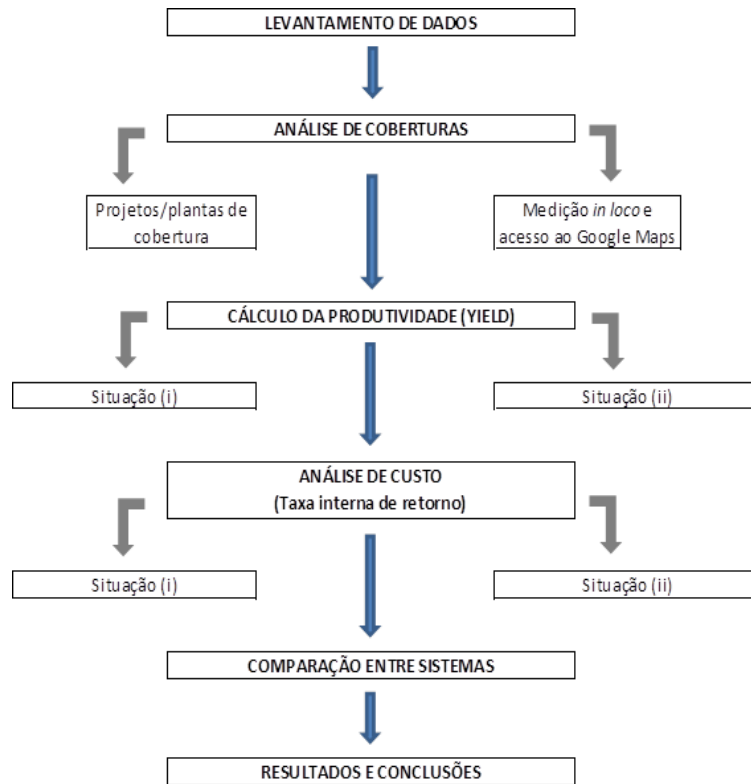


Figura 1 - Método do artigo em forma de fluxograma.

Uma pesquisa inicial foi feita com a finalidade de encontrar voluntários em Santa Catarina dispostos a fornecer informações sobre seus imóveis residenciais.

Foram então obtidos dados de 20 residências distribuídas nas cidades de Florianópolis, Palhoça, Concórdia, Chapecó, Joaçaba, Quilombo, Curitibanos e Palma Sola. A localização de cada cidade, dentro do estado de Santa Catarina, está apresentada na Fig. 2.

Na Tab. 1 estão apresentadas as coordenadas geográficas de cada cidade e os índices de irradiação no plano inclinado (igual à latitude local de cada cidade) e com desvio azimutal zero (orientação norte).

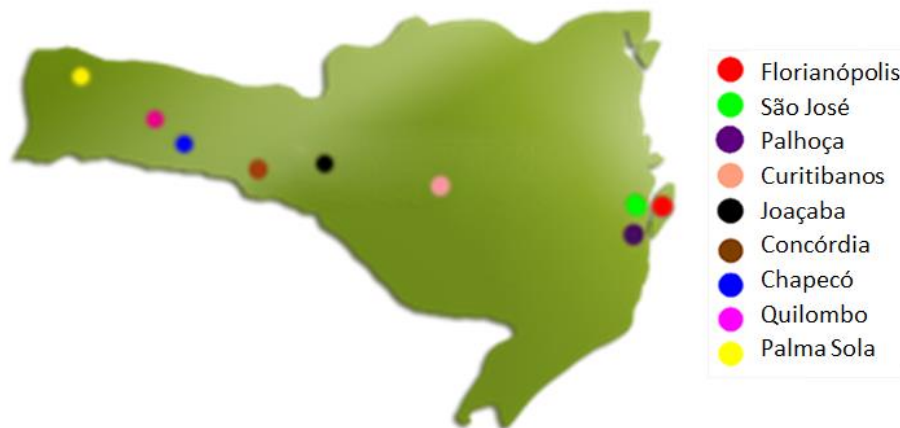


Figura 2 - Mapa de Santa Catarina com indicação das cidades analisadas.

Tabela 1 - Cidades analisadas, suas coordenadas e os índices de irradiação solar inclinada (considerando inclinação igual à latitude local e desvio azimutal zero).

CIDADE	COORDENADAS		(G _{POA}) IRRADIAÇÃO IDEAL (kW/m ² /dia)
	LONGITUDE	LATITUDE	
Chapecó	-52,98	-27,08	5,08
Concórdia	-52,02	-27,23	5,34
Curitibanos	-50,60	-27,30	5,03
Florianópolis	-48,56	-27,58	4,88
Joaçaba	-51,50	-27,17	5,28
Palhoça	-48,66	-27,63	4,88
Palma Sola	-53,26	-26,34	5,37
Quilombo	-52,72	-26,73	5,38
São José	-48,65	-27,63	4,88

2.1 Levantamento de dados

Foram coletados dados e informações relacionados a plantas de cobertura e implantação de residências, inclinação do telhado, desvio azimutal, cidade (latitude e longitude) e índices de irradiação solar para diferentes regiões do estado de Santa Catarina.

O levantamento de dados foi feito com um número de 20 amostras com o objetivo de destacar as diferentes situações reais encontradas durante a instalação de um BAPV, além de avaliar as diferenças de irradiação solar entre as regiões analisadas.

2.2 Análise de coberturas

Neste item foi selecionada a água de telhado de cada residência com orientação mais favorável à geração FV. Para concretizar esta análise, foi necessário ter acesso às plantas de cobertura ou coletar informações *in loco* para as residências que não possuíam projeto arquitetônico.

Para as residências que dispunham de planta de cobertura, foi selecionada através dessa planta, a água que tinha a orientação mais favorável à geração FV, ou seja, com menor desvio azimutal. Foi levantado então as dimensões e a inclinação dessa água.

Para as residências que não tinham plantas de cobertura, foi gerada uma imagem da cobertura via Google Maps, e, através dessa, foi selecionada a água com orientação mais favorável à geração FV (menor desvio azimutal). Depois disso, foi feita uma coleta de informações *in loco*, para medir as dimensões da água, inclinação e para conferir sua orientação.

2.3 Cálculo da produtividade (Yield)

Para o cálculo da produtividade (Y), foram utilizadas as informações de taxa de desempenho (PR) e de irradiação no plano dos módulos (G_{POA}) na Eq. (1).

$$Y = PR \times \frac{G_{POA}}{Irr_{CPT}} \quad (1)$$

Onde:

Y = produtividade do SFVCR [kWh/kWp/ano]

PR = taxa de desempenho (*Performance Ratio*) na base anual = tipicamente 80% (MARION *et al.*;2005; REICH *et al.*;2012; RUTHER *et al.*;2010)

G_{POA} = irradiação no plano dos módulos na base anual [kWh/m²/ano].

Irr_{CPT} = irradiância nas condições padrão de teste = 1 kW/m².

As análises de produtividade (Y) de cada SFVCR foram feitas levando em consideração a taxa de desempenho (PR) da tecnologia de silício policristalino.

Para o cálculo dos valores de G_{POA}, os dados de irradiação global horizontal disponíveis no banco de dados SWERA (PEREIRA, 2006) foram transpostos para valores de irradiação no plano dos módulos via *software* RADIASOL (KREZINGER, 1998), utilizando o modelo matemático de Perez.

A produtividade foi calculada para as situações (i) e (ii). Na situação (i), a G_{POA} foi calculada para a orientação (desvio azimutal e inclinação reais da água de telhado selecionada. Para a situação (ii), a G_{POA} foi calculada para a orientação Norte (desvio azimutal = zero) e inclinação igual à latitude local.

Foram então selecionadas, para dar continuidade nas análises, as cinco residências que apresentaram maior diferença entre os valores de produtividade (Y) das situações (i) e (ii).

2.4 Cálculo da potência necessária para instalação dos sistemas BAPV

Para estimar a potência instalada necessária do sistema BAPV que atende o consumo em cada uma das cinco residências selecionadas, foi utilizada a Eq. (2):

$$P_{FV} = \frac{\text{Consumo}}{Y} \quad (2)$$

Onde:

P_{FV} = potência instalada necessária do sistema BAPV que atende o consumo de cada residência [kWp].

Consumo = consumo anual da residência [kWh/ano].

2.5 Cálculo da área de cobertura necessária para a instalação dos módulos FV

Para estimar a área de cobertura necessária para a instalação dos módulos FV nos sistemas BAPV, em cada uma das cinco residências selecionadas, foi utilizada a Eq. (3):

$$A_{necessária} = \frac{P_{FV}}{Eff_{FV} \times Irr_{CPT}} \quad (3)$$

Onde:

$A_{necessária}$ = área de cobertura necessária para a instalação dos módulos FV nos sistemas BAPV [m²].

Eff_{FV} = eficiência do módulo FV escolhido. Nesse estudo foram utilizados módulos de silício policristalino com eficiência de 15,85%. Ou seja, $Eff_{FV} = 0,1585$.

O valor da área necessária foi comparado então com a área útil disponível, para cada residência analisada, verificando assim a viabilidade de implantação do sistema BAPV.

2.6 Análise econômica

Para a análise da viabilidade econômica dos SFVCR propostos para cada uma das cinco residências selecionadas, nas situações (i) e (ii), foram calculados a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento, adotando as seguintes considerações:

- Fluxo de caixa mensal.
- Toda energia FV gerada é consumida no mesmo mês.
- Não há pagamento de custo de disponibilidade em nenhum mês.
- Não há cobrança de ICMS sobre a energia injetada na rede. Apesar do estado de Santa Catarina ainda cobrar ICMS sobre a energia FV injetada, a tendência é que ocorra isenção desse imposto em breve, pois em 2015 já nove estados (São Paulo, Pernambuco, Goiás, Rio Grande do Norte, Ceará, Tocantins, Bahia, Maranhão e Mato Grosso) e o Distrito Federal isentaram a cobrança desse imposto na energia injetada na rede por micro- e minigeração distribuída (isenção dada pelos Convênios ICMS 16, 44, 52 e 130, todos publicados pelo CONFAZ em 2015).
- Não há cobrança de PIS/COFINS sobre a energia injetada (Lei 13.169, de 7/10/15).
- Tarifa residencial considerada: 0,5868 R\$/kWh. Tarifa residencial cobrada pela concessionária local (CELESC) em setembro/2015, incluindo impostos e adicional bandeira vermelha.
- Potência instalada: P_{FV} calculada conforme a Eq. (2) para cada residência selecionada.
- Produtividade anual para o primeiro ano de operação dos SFVCR: Y calculado pela Eq. (1).
- Redução anual na produtividade: -0,5% ao ano.
- Custo aproximado do kWp instalado para os valores de P_{FV} calculados: 7.000 R\$/kWp (conforme orçamentos com empresas integradoras).
- Investimento inicial: custo do kWp instalado X P_{FV} .
- Vida útil do sistema FV: 25 anos.
- Despesas anuais com O&M: 1% do valor total investido.
- Despesas com reposição (troca dos inversores a cada dez anos): 17% do investimento inicial (conforme orçamentos com empresas integradoras), ao final do ano 10 e ao final do ano 20.
- TMA: 7,27% [Rendimento poupança de 01/12/2014 a 30/11/2015].
- Taxa média de aumento anual da tarifa residencial, ao longo dos 25 anos de operação do SFVCR: 1% a 5% a.a.

3. RESULTADOS

A Tab. 2 apresenta as características do sistema BAPV (situação i) e do sistema FV teoricamente ideal (situação ii) para cada uma das 20 residências analisadas. As diferenças entre as duas situações estão apresentadas para valores de inclinação, azimute e produtividade FV de cada casa.

Ao comparar os valores de produtividade para a condição BAPV de cada uma das residências com a condição teoricamente ideal, foi possível verificar que, para as casas cujas coberturas têm desvio azimutal de $\pm 90^\circ$, a produtividade foi reduzida em mais de 10%. Para os sistemas BAPV cujo valor do azimute permanece zero, mas a diferença da inclinação em relação ao valor ideal é de -12° a 18° , a influência sobre os valores de produtividade não é tão significativa (redução de 0% a 3%).

Tabela 2 - Produtividade BAPV X Produtividade FV em Condição Ideal.
Maiores diferenças estão em tons de vermelho.

CASA	CIDADE	[1] INCLINAÇÃO BAPV [Graus]	[2] INCLINAÇÃO IDEAL (= latitude) [Graus]	Δ INC [1]-[2] [graus]	[3] AZIMUTE BAPV [graus]	[4] AZIMUTE IDEAL [graus]	Δ AZIMUTE [3]-[4] [graus]	MÉDIAS DOS TOTAIS ANUAIS DE PRODUTIVIDADE FV (YIELD) [kWh/kWp/ano]			$\Delta\%$ YIELD ((5)-[6])/[6]
								[5] YIELD BAPV	[6] YIELD IDEAL	Δ YIELD [5]-[6]	
1	Chapécó	15	27	-12	0	0	0	1.470	1.483	-14	-1%
2	Concórdia	35	27	8	90	0	90	1.378	1.561	-183	-12%
3	Concórdia	30	27	3	0	0	0	1.553	1.559	-6	0%
4	Concórdia	25	27	-2	0	0	0	1.559	1.559	0	0%
5	Concórdia	17	27	-10	0	0	0	1.553	1.559	-6	0%
6	Concórdia	35	27	8	0	0	0	1.539	1.559	-20	-1%
7	Curitiba	30	27	3	-90	0	-90	1.329	1.469	-140	-10%
8	Florianópolis	30	27	3	0	0	0	1.425	1.425	0	0%
9	Florianópolis	25	27	-2	90	0	90	1.299	1.425	-126	-9%
10	Florianópolis	35	27	8	0	0	0	1.416	1.425	-9	-1%
11	Florianópolis	45	27	18	0	0	0	1.378	1.425	-47	-3%
12	Joaçaba	25	27	-2	0	0	0	1.542	1.542	0	0%
13	Palhoça	18	27	-9	0	0	0	1.416	1.425	-9	-1%
14	Palhoça	35	27	8	90	0	90	1.256	1.425	-169	-12%
15	Palhoça	35	27	8	0	0	0	1.416	1.425	-9	-1%
16	Palma Sola	15	26	-11	0	0	0	1.556	1.568	-12	-1%
17	Quilombo	15	26	-11	90	0	90	1.466	1.571	-105	-7%
18	São José	15	27	-12	0	0	0	1.407	1.425	-18	-1%
19	São José	40	27	13	0	0	0	1.402	1.425	-23	-2%
20	São José	30	27	3	0	0	0	1.425	1.425	0	0%

Das 20 residências analisadas, cinco apresentaram diferenças significativas na produtividade (marcadas em amarelo na Tab. 2). Portanto, foram selecionadas essas residências para dar continuidade no estudo, conforme método proposto. A Tab. 3 apresenta as características técnicas (área útil de telhado, consumo, potência FV necessária e a área de telhado necessária para o arranjo FV) e econômicas (custo por unidade de potência FV instalada) das cinco residências analisadas, com informação das cidades onde estão situadas.

Tabela 3 - Características técnicas da amostra de cinco residências selecionadas de um conjunto de 20.

CASA	CIDADE	ÁREA COB. ÚTIL (m ²)	CONSUMO (kWh/ano)	POTÊNCIA FV NECESSÁRIA (kWp)	ÁREA COB. NECESSÁRIA (m ²)
1	Concórdia	33,50	4.748	3,5	22
2	Curitiba	80,00	9.040	6,9	44
3	Florianópolis	77,50	4.274	3,3	21
4	Palhoça	50,00	6.255	5,1	32
5	Quilombo	60,00	3.006	2,1	13

Na Tab. 4 são apresentados os valores de TIR para os SFVCR nas cinco residências selecionadas, nas situações (i) e (ii) e na Tab. 5 são apresentados os valores de redução (%) na TIR para a situação (i) BAPV em relação à situação (ii) IDEAL.

Observa-se que, considerando um aumento médio anual na tarifa residencial de 1% a 5% e as variações na produtividade indicadas na Tab. 2:

- para Concórdia, uma redução de 11,7% na produtividade gerou uma variação de -19% a -13% na TIR;
- para Curitiba, uma redução de 9,5% na produtividade gerou uma variação de -16% a -10% na TIR;
- para Florianópolis, uma redução de 8,8% na produtividade gerou uma variação de -15% a -10% na TIR;
- para Palhoça, uma redução de 11,9% na produtividade gerou uma variação de -20% a -13% na TIR, e
- para Quilombo, uma redução de 6,7% na produtividade gerou uma variação de -10% a -7% na TIR.

Tabela 4 - TIR (% a.a.) para os SFVCR nas cinco residências selecionadas, nas situações (i) BAPV e (ii) IDEAL, considerando um período de 25 anos.

SFVCR	TIR (% a.a.)				
	Taxa aumento anual tarifa residencial (% a.a.)				
	1%	2%	3%	4%	5%
Concórdia - SC: SFVCR BAPV	9,4%	10,7%	11,9%	13,1%	14,3%
Concórdia - SC: SFVCR IDEAL	11,6%	12,8%	14,0%	15,2%	16,4%
Curitibanos - SC: SFVCR BAPV	8,9%	10,1%	11,4%	12,5%	13,7%
Curitibanos - SC: SFVCR IDEAL	10,5%	11,8%	13,0%	14,2%	15,3%
Florianópolis - SC: SFVCR BAPV	8,5%	9,8%	11,0%	12,2%	13,4%
Florianópolis - SC: SFVCR IDEAL	10,0%	11,3%	12,5%	13,7%	14,8%
Palhoça - SC: SFVCR BAPV	8,0%	9,2%	10,5%	11,7%	12,9%
Palhoça - SC: SFVCR IDEAL	10,0%	11,3%	12,5%	13,7%	14,8%
Quilombo - SC: SFVCR BAPV	10,5%	11,7%	12,9%	14,1%	15,3%
Quilombo - SC: SFVCR IDEAL	11,7%	12,9%	14,1%	15,3%	16,5%

Tabela 5 - Redução (%) na TIR (% a.a.) para a situação (i) BAPV em relação à situação (ii) IDEAL, para os SFVCR das cinco residências selecionadas.

SFVCR	Variação TIR (%)				
	Taxa aumento anual tarifa residencial (% a.a.)				
	1%	2%	3%	4%	5%
Concórdia - SC	-19%	-16%	-15%	-14%	-13%
Curitibanos - SC	-16%	-14%	-13%	-11%	-10%
Florianópolis - SC	-15%	-13%	-12%	-11%	-10%
Palhoça - SC	-20%	-18%	-16%	-14%	-13%
Quilombo - SC	-10%	-9%	-8%	-8%	-7%

Na Tab. 6 são apresentados os valores de tempo de retorno de investimento para os SFVCR nas cinco residências selecionadas, nas situações (i) e (ii) e na Tab. 7 são apresentados os valores de aumento (%) no tempo de retorno de investimento para a situação (i) BAPV em relação à situação (ii) IDEAL.

Observa-se que, considerando um aumento médio anual na tarifa residencial de 1% a 5% e as variações na produtividade indicadas na Tab. 2:

- para Concórdia, uma redução de 11,7% na produtividade gerou uma variação de 25% a 16% no tempo de retorno de investimento;
- para Curitibanos, uma redução de 9,5% na produtividade gerou uma variação de 22% a 14% no tempo de retorno de investimento;
- para Florianópolis, uma redução de 8,8% na produtividade gerou uma variação de 30% a 12% no tempo de retorno de investimento;
- para Palhoça, uma redução de 11,9% na produtividade gerou uma variação de 41% a 17% no tempo de retorno de investimento, e
- para Quilombo, uma redução de 6,7% na produtividade gerou uma variação de 13% a 8% no tempo de retorno de investimento.

Tabela 6 - Tempo de retorno do investimento (anos) para os SFVCR nas cinco residências selecionadas, nas situações (i) [BAPV] e (ii) [IDEAL].

SFVCR	Tempo de retorno do investimento, fluxo descontado (anos)				
	Taxa aumento anual tarifa residencial (% a.a.)				
	1%	2%	3%	4%	5%
Concórdia - SC: SFVCR BAPV	16,8	15,1	13,8	12,8	12,0
Concórdia - SC: SFVCR IDEAL	13,4	12,3	11,6	10,8	10,3
Curitibanos - SC: SFVCR BAPV	18,2	16,1	14,6	13,4	12,6
Curitibanos - SC: SFVCR IDEAL	14,9	13,6	12,6	11,8	11,1
Florianópolis - SC: SFVCR BAPV	20,6	16,7	15,1	13,8	12,9
Florianópolis - SC: SFVCR IDEAL	15,8	14,3	13,2	12,3	11,5
Palhoça - SC: SFVCR BAPV	22,3	17,8	15,9	14,5	13,5
Palhoça - SC: SFVCR IDEAL	15,8	14,3	13,2	12,3	11,5
Quilombo - SC: SFVCR BAPV	15,0	13,7	12,6	11,8	11,1
Quilombo - SC: SFVCR IDEAL	13,3	12,3	11,4	10,8	10,3

Tabela 7 - Aumento (%) no tempo de retorno do investimento (anos) para a situação (i) BAPV em relação à situação (ii) IDEAL, para os SFVCR das cinco residências selecionadas.

SFVCR	Variação tempo de retorno do investimento (%)				
	Taxa aumento anual tarifa residencial (% a.a.)				
	1%	2%	3%	4%	5%
Concórdia - SC	25%	22%	19%	18%	16%
Curitibanos - SC	22%	18%	16%	14%	14%
Florianópolis - SC	30%	17%	15%	13%	12%
Palhoça - SC	41%	25%	21%	18%	17%
Quilombo - SC	13%	12%	10%	10%	8%

4. CONCLUSÕES

As análises deste artigo foram realizadas para diferentes configurações de telhados residenciais, com inclinações e orientações variadas. Conforme observado na Tab. 2, os BAPVs orientados para o norte (azimute zero), apesar de apresentarem diferentes valores de inclinação, as diferenças em relação à inclinação ideal (latitude local) não foram relevantes a ponto de interferir na produtividade ou economicamente. Já para os BAPVs orientados para leste e oeste (desvio azimutal $\pm 90^\circ$), somados às inclinações típicas de telhados residenciais ($\pm 25^\circ$), as diferenças em relação à condição ideal (azimute zero) interferem diretamente na produtividade, reduzindo-a em até 12%.

Conforme a Tab. 3 que apresenta os cinco sistemas selecionados (não orientados para o norte), pode-se observar que, apesar das condições da cobertura dessas residências não serem favoráveis (azimute zero e inclinação igual latitude), a área necessária para atender à demanda energética através da geração FV é menor que a área útil disponível nas coberturas, o que viabilizaria a implantação de um SFVCR, tornando essas residências em edificações de energia zero.

Apesar disso, foi observado também que as variações percentuais na produtividade têm um impacto percentual ainda maior no retorno do investimento.

REFERÊNCIAS

- ANTONIOLLI, A.F.G. Avaliação do desempenho de geradores solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2015.
- CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina. Fatura residencial de energia elétrica, novembro de 2015.
- EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2014 – ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <www.epe.gov.br/AnuarioEstatísticodeEnergiaElétrica>
- KRENZINGER, A., 1998. RADIASOL – Programa para determinação da radiação solar sob superfícies com diferentes ângulos de inclinação. Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em <www.solar.ufrgs.br/#softwares>.
- MARION et al. - Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. Prepared for the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition 2005, Florida, USA.
- PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. [S.l.], 2006. [www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf]
- REICH, N. H.; MUELLER, B.; ARMBRUSTER, A.; VAN SARK, W. G. J. H. M.; KIEFER, K.; REISE, C. Performance ratio revisited: is PR > 90% realistic Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2012.
- RUTHER, R.; NASCIMENTO, L.; URBANETZ, J.; PFITSCHER, P.; VIANA, T. Long-term performance of the first grid-connected, building-integrated, thin-film amorphous silicon PV installation in Brazil. EUA: Proceedings of the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. New York, 2010.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT BETWEEN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS APPLIED TO BUILDINGS (BAPV) AND SYSTEMS OPTIMIZED FOR MAXIMUM ANNUAL GENERATION

Abstract. *This article aims to compare, through a technical and economic evaluation, two situations of photovoltaic (PV) systems connected to the network: (i) applied to the architecture of the building (BAPV) and (ii) maximum annual generation. In situation (i), the modules are installed in the same orientation and inclination of the most appropriate roof. In the situation (ii), the same nominal PV power for the situation (i) is installed with the azimuth and tilt angle to achieve the highest annual generation. This comparison was made for 20 residential units distributed throughout the State of Santa Catarina, Brazil. The technical evaluation makes a comparison between the estimated generation of the PV systems in situations (i) and (ii) for each of the 20 homes. The economic evaluation considers the results found in technical analysis and make a return on investment study for five of the twenty homes. The results showed that when comparing the productivity values for BAPV condition of each of the residences with the theoretically ideal condition, was possible verify for the houses whose roofs have azimuthal deviation of $\pm 90^\circ$, the productivity was reduced by more than 10%. For BAPV systems whose azimuth value remains zero, but the difference of the ideal value the relative slope is -12° to 18° , the influence on the productivity values is not as significant (reduction of 0% to 3%). Even buildings with more unfavorable real situations in relation to the ideal situation, proved to be viable to become zero energy buildings.*

Key words: BAPV, yield, return on investment.