



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GET/21  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET**

**CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE NA REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E BONIFICAÇÃO OBTIDA NO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA POR UMA EDIFICAÇÃO**

**Marcos A. B. Galhardo(\*)   Edinaldo J. S. Pereira   Wilson N. Macêdo   Heliana M. C. Aguilár   João T. Pinho**  
**GEDAE/UFPA                      GEDAE/UFPA                      GEDAE/UFPA                      GEDAE/UFPA                      GEDAE/UFPA**

**RESUMO**

Este trabalho aborda a avaliação do fornecimento de eletricidade através do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs), considerando a instalação do sistema na cobertura de uma edificação comercial de pequeno porte, situada na cidade de Belém-Pará e pertencente ao subgrupo tarifário B3. Diversos SFCRs de capacidades de geração distintas são analisados quanto ao *payback*, ao custo do SFCR e ao custo evitado na aquisição de eletricidade da concessionária, conforme a resolução 482 da ANEEL, e à pontuação relacionada à bonificação obtida, apresentando-se como parâmetro a economia anual no consumo de energia elétrica da edificação, caso a edificação fosse submetida ao processo de etiquetagem do nível de eficiência energética segundo o RTQ-C do PBE/Inmetro.

**PALAVRAS-CHAVE**

Energia Solar, Conexão à Rede, Edificações, Eficiência Energética, Bonificações

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A preocupação em desenvolver edificações energeticamente eficientes é uma realidade mundial que envolve o uso de equipamentos elétricos de alto desempenho, a utilização de materiais de construção civil e técnicas arquitetônicas que minimizem a necessidade por climatização e iluminação artificiais, e simultaneamente privilegiem a produção local de energia para garantir, o quanto possível, a sua independência energética.

Ademais, a acentuada diminuição dos níveis de reservatórios de água que abastecem grandes centrais hidrelétricas brasileiras, principal fonte de eletricidade no país, promoveu o acionamento de termelétricas, com custo de geração de energia mais elevado, o que afetou toda a cadeia produtiva nacional e os consumidores de energia em geral. Para restituir o gasto com esta ação, aumentos nas tarifas de energia foram autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e um mecanismo de bandeira tarifária foi criado.

Neste sentido, medidas que proporcionem uma oferta de energia elétrica a menor custo, com menores perdas no sistema de distribuição, que minimizem os impactos ambientais e privilegiem o uso racional e eficiente desta, são de vital importância. Assim, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs) apresentam-se como opção para produção de energia elétrica em edificações, pois agregam valores do kWh gerado compatíveis com os praticados pelas concessionárias de energia elétrica do país e, por poderem ser instalados próximos ao local de consumo, reduzem as perdas no sistema de transmissão e distribuição e o consumo de energia elétrica proveniente da rede da concessionária.

(\*) GEDAE – FEE/ITEC/UFPA. Caixa Postal: 6010 – CEP 66.025-972. Belém PA – Brasil  
Tel: (+55 91) 3201-7299 – Fax: (+55 91) 3201-7977 – Email: galhardo@ufpa.br

O acesso à rede de distribuição de energia elétrica por microgeração ou minigeração distribuída (como exemplo, pequenas centrais geradoras solar fotovoltaica) implantada em Unidade Consumidora (UC) é regulamentado pela Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL (1).

Os sistemas fotovoltaicos, em geral, dispensam a criação de novos espaços para a instalação de seus componentes na edificação, pois podem ser aplicados em edificações já existentes, em coberturas e/ou fachadas, servindo não somente como fontes de produção de energia elétrica, mas como elementos de sombreamento (como por exemplo, beirais) e diferencial arquitetônico da própria edificação (2).

## 2.0 - ESTUDO DE CASO: GERAÇÃO E CONSUMO EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL ATENDIDA EM BAIXA TENSÃO

Neste tópico abordam-se as características de consumo e produção de eletricidade em uma edificação hipotética tomada como estudo de caso. Considera-se a produção fotovoltaica na saída do inversor de conexão à rede elétrica e que atende às cargas da instalação elétrica da edificação, a energia excedente (caso a produção for maior que o consumo) é injetada na rede elétrica de distribuição.

### 2.1 Edificação Considerada

Considera-se no presente estudo de caso uma edificação comercial de pequeno porte pertencente ao subgrupo tarifário B3, com o atendimento trifásico da UC e custo de disponibilidade do sistema equivalente a 100 kWh.

A edificação está localizada na cidade de Belém-PA, inserida na zona bioclimática 8, de acordo com a ABNT NBR 15220-3:2005 (3). Diante das características do clima quente e úmido da cidade, verifica-se a necessidade do uso frequente de aparelhos de ar-condicionado durante o horário comercial, visando o conforto térmico dos usuários da edificação. A Figura 1 representa a curva de carga típica da edificação para dias úteis, finais de semana e feriados, com a sobreposição da potência ativa produzida em um dia típico anual por um determinado sistema fotovoltaico de 10 kWp, conforme é explanado adiante.

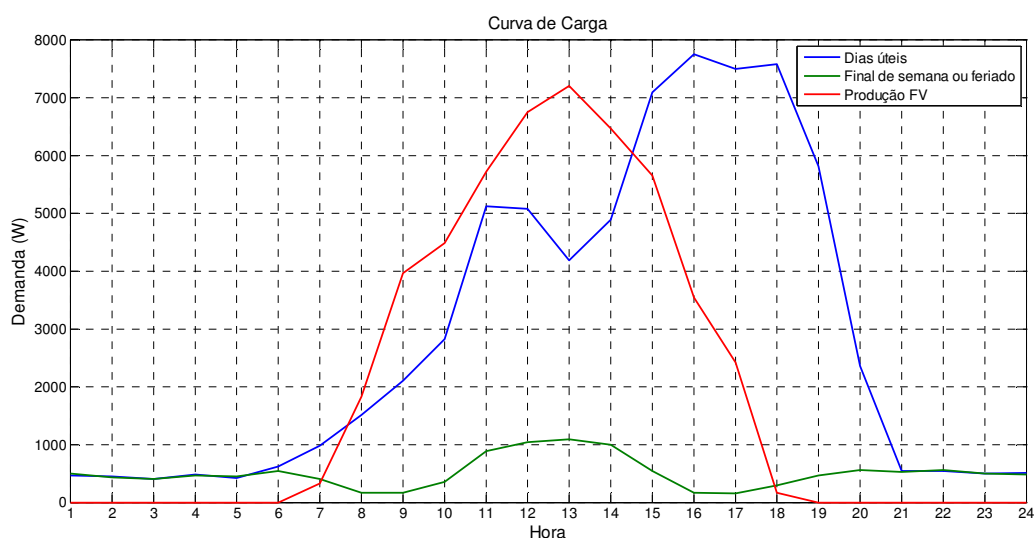


FIGURA 1 – Curva de carga típica (dia úteis; feriados e finais de semana) e produção FV (sistema de 10 kWp) na edificação.

### 2.2 SFCR da Edificação

Os SFCRs considerados neste trabalho foram dimensionados com diferentes capacidades, a fim de avaliar a contribuição dos mesmos na economia de eletricidade na edificação. A estimativa da energia elétrica produzida no lado c.a. do inversor de cada SFCR é feita por meio de simulações numéricas, onde se empregam modelos matemáticos desenvolvidos para o gerador fotovoltaico e inversor. Para a simulação e predição do comportamento do sistema, utiliza-se arquivos climáticos de base horária contendo dados de irradiância no plano do gerador fotovoltaico e temperatura ambiente, a partir da qual estima-se a temperatura de operação da célula fotovoltaica.

Considera-se que o gerador fotovoltaico será instalado na cobertura da edificação, com orientação para o norte geográfico e inclinação de  $10^{\circ}$ . Nestas condições, obteve-se a base de dados horária (de irradiância e temperatura) por meio do programa Meteonorm 6.1 (4) para o local de instalação do SFCR (cidade de Belém-PA).

### 2.2.1 Modelo Matemático para Estimativa da Produção do SFCR

Emprega-se a equação 1 para o cálculo da máxima potência produzida pelo gerador fotovoltaico em uma dada condição de irradiância incidente e temperatura de operação da célula fotovoltaica (5), (6):

$$P_{mp} = P_{n,FV} \cdot \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} \cdot [1 - \gamma_{mp}(T_c - T_{C,ref})] \quad (1)$$

Onde,  $P_{mp}$  é a máxima potência fornecida pelo gerador fotovoltaico em uma dada condição de operação;  $P_{n,FV}$  é a potência nominal do gerador fotovoltaico;  $H_{t,\beta}$  é a irradiância incidente no plano do gerador;  $\gamma_{mp}$  é o coeficiente que relaciona a variação da potência no ponto de máxima potência com a temperatura,  $T_c$  é a temperatura equivalente de operação das células,  $T_{C,ref}$  é a temperatura de referência (25 °C) e  $H_{ref}$  é a irradiância de referência (1.000 W/m<sup>2</sup>).

De posse dos dados da temperatura ambiente pode-se estimar a temperatura equivalente de operação das células pela equação 2.

$$T_c = T_a + \frac{H_{t,\beta}}{800}(TNOC - 20) \cdot 0,9 \quad (2)$$

Onde  $T_a$  é a temperatura ambiente (°C) e  $TNOC$  é a temperatura nominal de operação da célula fotovoltaica (°C). Para obtenção da potência c.c. entregue ao inversor,  $P_{FV}$ , leva-se em consideração as perdas no processo de seguimento do ponto de máxima potência, multiplicando-se a equação 1 pela eficiência do circuito de seguimento. De posse do valor de  $P_{FV}$ , a potência de saída c.a. do inversor é obtida pela solução da equação 3 (7).

$$k_0 - P_{FV} + (1 + k_1)P_{Saída} + k_2 P_{Saída}^2 = 0 \quad (3)$$

Onde, o parâmetro  $k_0$  representa o fator relacionado ao autoconsumo do dispositivo e não depende da potência de saída. Os parâmetros  $k_1$  e  $k_2$  são referentes às perdas por carregamento do inversor. Estes parâmetros são calculados a partir da obtenção da eficiência do inversor em três pontos distintos de carregamento, quais sejam: 10 %, 50 % e 100 % da potência nominal de saída do inversor (5).

Todos os SFCRs foram dimensionados utilizando-se módulos FV policristalinos de 250 Wp de um dado fabricante e considerando inversores de diferentes capacidades e fabricantes. Para uma dada escolha de inversor, dimensionou-se a configuração de gerador fotovoltaico que apresenta maior produtividade anual, seguindo a metodologia descrita em (6), sendo ainda levados em conta a tensão e corrente limite de operação e a tensão e corrente máximas admissíveis na entrada do inversor.

Assim, baseando-se em quatro escolhas de inversores, os sistemas dimensionados foram:

- Sistema de 10 kWp, possuindo um inversor trifásico com potência nominal de 10 kW;
- Sistema de 2,5 kWp, possuindo um inversor bifásico com potência nominal de 2,5 kW;
- Sistema de 1,5 kWp, possuindo um inversor bifásico com potência nominal de 1,2 kW;
- Sistema de 0,75 kWp, possuindo três microinversores bifásicos com potência nominal de 0,24 kW cada.

Todos os inversores considerados realizam a injeção somente de potência ativa na rede elétrica, ou seja, possuem fator de potência unitário.

Como exemplo do resultado da etapa de dimensionamento, a Figura 2 apresenta a curva obtida por simulação da produtividade anual do SFCR em função do fator de dimensionamento do inversor (FDI), para o sistema que utiliza o inversor de potência nominal de 10 kW de um dado fabricante. A produtividade ( $Y_F$ ) indica quanta energia é produzida por cada kWp instalado no SFCR e o FDI é definido como a razão entre a potência nominal do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico. Neste caso particular, apresentado na Figura 2, o ponto que apresenta maior produtividade anual é encontrado para o FDI igual a 1.

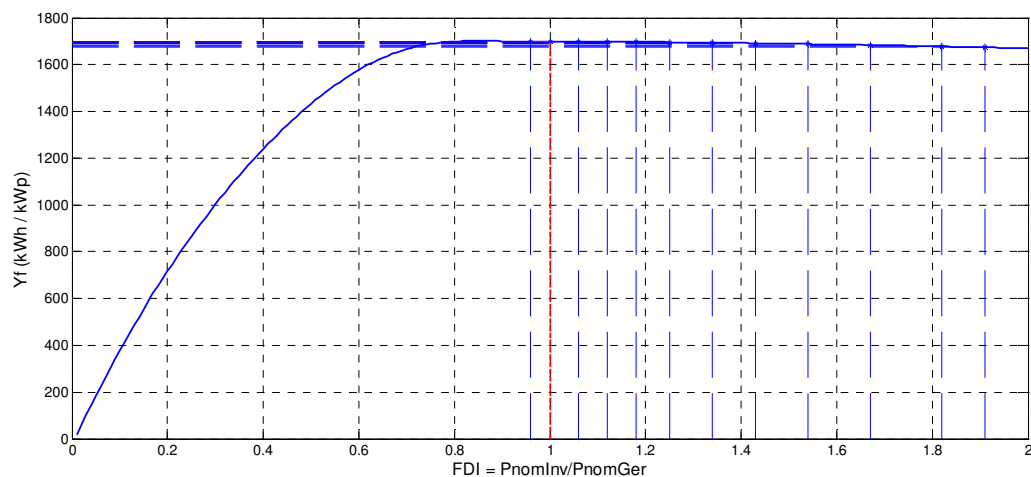


FIGURA 2 - Produtividade versus FDI e indicação (em vermelho) da configuração com maior produtividade anual (Sistema de 10 kWp).

Ainda como exemplo, conforme apresentado na Figura 3, dimensionou-se o SFCR com um inversor de 1.200 W de um dado fabricante com um FDI de 0,8.

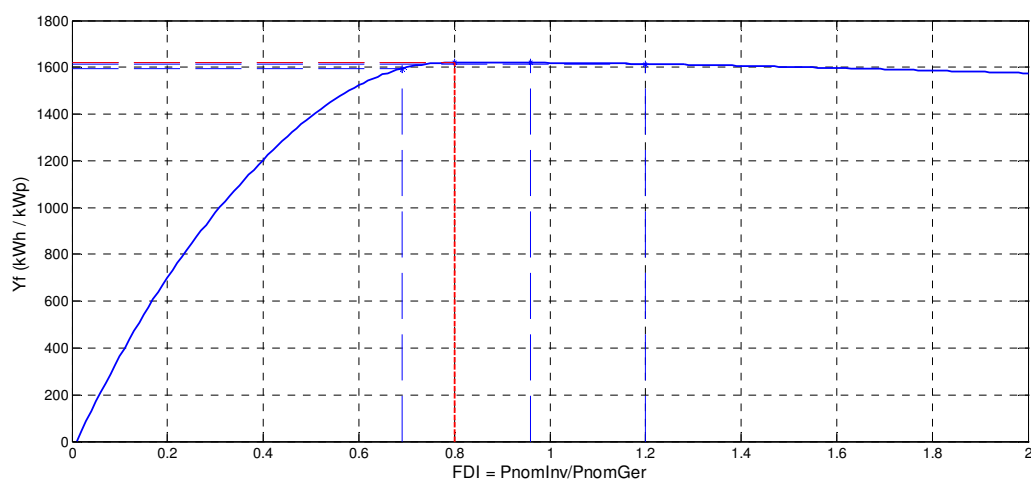


FIGURA 3 - Produtividade versus FDI e indicação (em vermelho) da configuração com maior produtividade anual (Sistema de 1,5 kWp).

Na Tabela 1 apresentam-se três figuras de mérito para verificação do desempenho energético dos SFCRs com diferentes capacidades simuladas: o FDI; a produtividade anual ( $Y_F$ ) e o rendimento global dos sistemas (para o qual considera-se todas as perdas envolvidas no SFCR). O rendimento global (PR) do SFCR é definido como a razão da produtividade pelas horas de sol pleno em um dado período. Este parâmetro é importante para o acompanhamento do desempenho do SFCR ao longo da vida útil do mesmo.

Tabela 1 – Características de alguns sistemas simulados.

Sistema	Pot. Nominal do gerador (kWp)	Área do gerador (m <sup>2</sup> )	Pot. Nominal do inversor (kW)	FDI	$Y_F$ (kWh/kWp)	PR (%)
S-10 kWp	10	66	10	1	1.699,00	80,07
S-2,5 kWp	2,5	16,5	2,5	1	1.661,60	78,30
S-1,5 kWp	1,5	9,9	1,2	0,8	1.620,04	76,35
S-0,75 kWp	0,75	4,95	0,24	0,96	1.644,45	77,50

Para os SFCRs dimensionados, deve-se atentar ainda para a disponibilidade de área e condições estruturais da cobertura da edificação para instalação do gerador fotovoltaico, além de que há a necessidade de alocação de uma maior área do que a informada na Tabela 1, a fim de facilitar a limpeza e eventual manutenção do gerador.

### 2.3 Balanço: Geração x Consumo

A Tabela 2 apresenta o consumo mensal da edificação tomada como estudo de caso e a produção c.a. de cada SFCR considerado. Nas Figuras 4 e 5 mostra-se mensalmente a produção c.a. dos SFCRs de 10 kWp e 0,75 kWp, respectivamente. Adicionado ao gráfico estão também o consumo total de energia elétrica na edificação, o consumo líquido da rede da concessionária (denominado de balanço, obtido pelo consumo da edificação menos a produção c.a. do SFCR) e o valor de referência de 100 kWh. Quando o consumo líquido da edificação for menor que 100 kWh, a UC paga o custo de disponibilidade (valor referente ao consumo de 100 kWh) para a concessionária.

Entre os sistemas simulados, somente o caso com o SFCR de 10 kWp há consumo líquido abaixo de 100 kWh, para os meses de julho a outubro. Para os meses de julho, agosto e outubro há um crédito de energia a ser deduzido da tarifa nos meses subsequentes. Para a contabilização da fatura de energia elétrica, considera-se os mecanismos de tarifação da concessionária de energia elétrica local e o sistema de compensação de energia seguindo a REN 482/2012 da ANEEL.

Tabela 2 – Consumo e produção mensal.

Mês	Consumo Total (kWh)	Produção FV (S-10 kWp) (kWh)	Produção FV (S-2,5 kWp) (kWh)	Produção FV (S-1,5 kWp) (kWh)	Produção FV (S-0,75 kWp) (kWh)
Janeiro	1.697	1.210,42	296,09	173,20	84,55
Fevereiro	1.488	1.076,17	263,29	153,91	74,89
Março	1.866	1.053,40	258,05	150,88	73,39
Abril	1.627	1.010,80	247,52	144,78	70,28
Mai	1.951	1.545,51	377,92	221,18	107,92
Junho	1.904	1.539,78	376,23	220,12	107,39
Julho	1.442	1.586,38	387,63	226,80	110,76
Agosto	1.663	1.784,94	436,07	255,17	124,55
Setembro	1.790	1.728,04	422,18	247,01	120,50
Outubro	1.646	1.684,45	411,57	240,79	117,25
Novembro	1.871	1.403,51	343,19	200,69	97,80
Dezembro	2.036	1.367,66	334,26	195,54	95,49
<b>TOTAL</b>	<b>20.981</b>	<b>16.991,06</b>	<b>4.154,00</b>	<b>2.430,07</b>	<b>1.184,77</b>

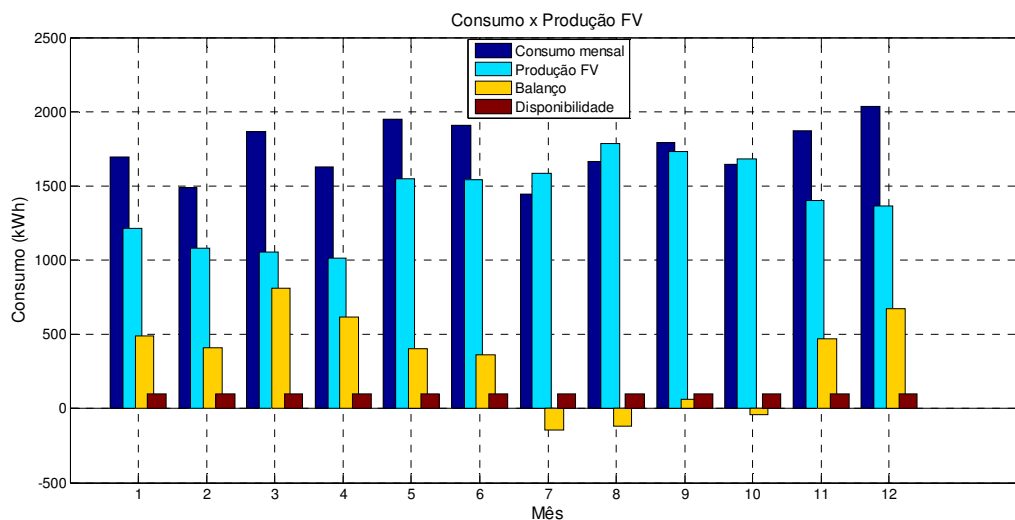


FIGURA 4 – Produção FV (S-10 kWp) e consumo anual.

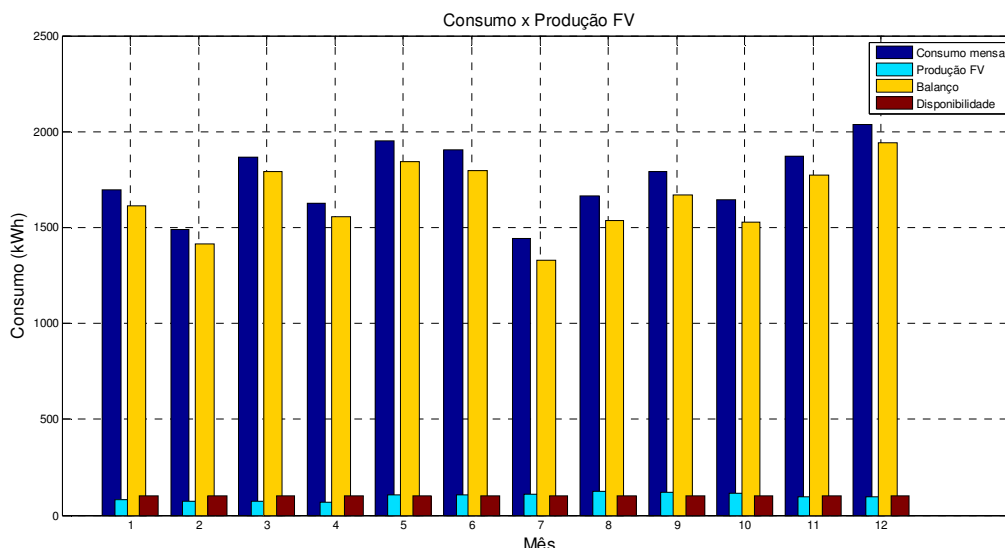


FIGURA 5 – Produção FV (S-0,75 kWp) e consumo anual.

Devido à redução da entrega de potência elétrica ativa proveniente da rede da concessionária para a edificação quando o SFCR está operando, há um impacto dos diferentes sistemas no fator de potência visto pela concessionária. Contudo, a UC pertencente ao grupo B não é cobrada por eventuais excedentes de reativos, conforme estabelecido na REN 569/2013 da ANEEL (8).

### 3.0 - BONIFICAÇÕES NO ÂMBITO DO RTQ-C

Com a alteração dada pela Portaria Inmetro nº 299/2013 (9) ao texto do item 2.2 da Portaria Inmetro nº 372/2010 (10), que trata do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), as edificações comerciais pertencentes ao grupo tarifário B3 podem ser submetidas ao processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) no âmbito do PBE/Inmetro.

Para a obtenção da ENCE Geral da edificação comercial ou parcela da edificação (pavimentos ou conjunto de ambientes) são avaliados o nível de eficiência energética de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Com a obtenção do Equivalente Numérico (número representativo da eficiência) de cada um dos três itens, conforme a metodologia estabelecida no RTQ-C, mais a pontuação das bonificações, reúne-se esses valores em uma equação de classificação do nível de eficiência geral da edificação.

Segundo o item 2.5 do RTQ-C, as bonificações são definidas como iniciativas que aumentam a eficiência da edificação e podem receber até um ponto na classificação geral. Para tanto, essas iniciativas deverão ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada.

Há no RTQ-C bonificação para sistemas ou fontes renováveis de energia utilizados na edificação e para obter um ponto de bonificação, os sistemas que utilizam energia eólica ou painéis fotovoltaicos devem proporcionar economia mínima de 10 % no consumo anual de energia elétrica do edifício.

Para a comprovação da economia gerada o solicitante da etiquetagem da edificação tem que apresentar um projeto especial com o detalhamento do sistema passível de pontuação por bonificação (por exemplo, o projeto do SFCR).

Cabe ressaltar que para sistemas ou fontes renováveis de energia, a verificação da conformidade pelo OIA (Organismo de Inspeção Acreditado) na etapa de inspeção será feita por meio da apresentação do documento fiscal de aquisição dos mesmos e *in loco* serão verificadas as especificações dos sistemas instalados com as especificações declaradas em projeto (11).

No tópico seguinte é apresentada a bonificação que poderia ser obtida pela edificação tomada como estudo de caso, relacionada ao SFCR utilizado para redução do consumo de eletricidade da concessionária.

### 4.0 - ANÁLISE ECONÔMICA

Para a avaliação econômica dos quatro SFCR considerados utiliza-se algumas figuras de mérito, como o Valor Presente Líquido (VPL), o qual ajuda a caracterizar a viabilidade econômica de um investimento. A formulação do VPL é apresentada na equação 4.

$$VPL = -S - C_{fin} + P_{tm} + \sum_{j=1}^N Q_j \quad (4)$$

Onde,  $N$  é número de anos de operação do sistema;  $S$  é o custo inicial do sistema instalado;  $Q_j$  é remuneração líquida no ano  $j$  (deduzidos os custos com operação, manutenção e de reposição de equipamentos/acessórios no período  $j$ );  $C_{fin}$  é o custo com financiamento do sistema; e  $P_{tm}$  é o *salvage* (valor de venda de equipamentos e acessórios) ao final da vida útil do sistema.

Estima-se para cada caso simulado uma perda de produção anual do SFCR (segundo o fabricante do módulo fotovoltaico utilizado nos geradores dos SFCRs dimensionados, há uma perda em torno de 0,8 % na potência produzida a cada ano), com influência direta na remuneração líquida anualmente.

No presente estudo de caso,  $P_{tm}$  e  $C_{fin}$  são iguais a zero, considerando que o SFCR da edificação foi adquirido sem nenhum financiamento e os equipamentos e acessórios não serão vendidos ao fim da vida útil do sistema.

Outra figura de mérito a ser considerada é o *payback*, definido como o tempo necessário para igualar o fluxo de entrada de caixa total e os investimentos e despesas globais. Neste trabalho utiliza-se o *payback* descontado, PBD, pois este corrige no tempo o valor dos fluxos de entrada devidos ao valor da energia produzida e dos gastos com reposição de equipamentos e com a operação e manutenção do sistema (12).

Também calcula-se o Custo do Ciclo de Vida (CCV) do sistema, o qual quantifica o saldo financeiro do sistema, balanço entre receitas e despesas, considerando o valor do dinheiro no tempo para todas as despesas realizadas durante a execução do projeto. As despesas com operação e manutenção e reposição de equipamentos são também corrigidas pela inflação, ao longo da vida útil do sistema.

Considera-se a vida útil do SFCR igual a 25 anos, o tempo de reposição do(s) inversor(es) a cada 10 anos, a taxa de desconto anual de 10 % e inflação anual de 7,7 % (acima do teto da meta estabelecida pelo Governo Federal em 2014), com base no valor acumulado nos últimos 12 meses até fevereiro de 2015. Toma-se ainda como referência os custos dos equipamentos (módulo FV e inversor) em dólar, cuja cotação estava em alta nos primeiros meses de 2015 (assumindo paridade de R\$ 3,10 = US\$ 1,00), aumentando assim o CCV e reduzindo o VPL.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com o cálculo de três indicadores econômicos (VPL, CCV e PBD) e a economia alcançada anualmente com os SFCRs considerados.

Tabela 3 – Avaliação de alguns SFCRs simulados.

Sistema	Economia 1 (%)	Economia 2 (%)	Bonificação obtida	CCV (R\$)	VPL (R\$)	PBD (anos)
S-10 kWp	80,98	52,02	1	114.660,00	56.955,00	10,46
S-2,5 kWp	19,80	12,72	1	28.665,00	13.447,00	10,18
S-1,5 kWp	11,58	7,44	1	15.291,01	8.606,20	10,93
S-0,75 kWp	5,65	3,63	0,56	8.408,70	3.621,70	11,55

O parâmetro denominado de “Economia 1” na Tabela 3 é obtido pela razão entre a produção anual c.a. do SFCR (em kWh) pelo consumo anual total de eletricidade na edificação (kWh). Este parâmetro é utilizado para o cálculo da bonificação com “sistemas ou fontes renováveis de energia”, a ser somada na pontuação final da edificação, caso a mesma seja submetida ao processo de obtenção da ENCE. Quando a produção anual for maior que o consumo, a economia fica limitada a 100 %.

Conforme os mecanismos de tarifação para o cálculo da fatura de energia elétrica com microgeração distribuída, obtém-se o parâmetro denominado de “Economia 2” na Tabela 3, sendo expresso pela razão entre o custo anual evitado na conta de energia elétrica (R\$) devido à utilização do SFCR na edificação e o custo anual da conta de energia elétrica sem a presença de SFCR na edificação (R\$). Para a obtenção deste parâmetro, avalia-se mensalmente o consumo líquido, o custo de disponibilidade, os eventuais créditos utilizados, a bandeira tarifária (considerada para os meses de janeiro a março em 2015), além dos impostos e taxa de iluminação pública inseridos na conta de energia elétrica.

Assim, considerando o valor anual gasto com eletricidade (R\$) e não o balanço energético (kWh) que resulta no consumo líquido de energia da concessionária, a economia na fatura de energia elétrica (monetária) é menor. A bonificação seria menor também se fosse obtida baseada no parâmetro “Economia 2”, para o caso dos SFCRs de 1,5 kWp e 0,75 kWp.

Contudo, os resultados mostram que a viabilidade econômica em SFCRs no Brasil é uma realidade, mas alguns incentivos poderiam ser concedidos ao investidor, na forma de redução de impostos na aquisição dos equipamentos, diminuição no custo final dos materiais importados, equiparando-o com o de outros países. Estas são ações que podem favorecer a implantação de uma indústria nacional na área de sistemas fotovoltaicos, como ocorreu nos países que hoje lideram este mercado.

## 5.0 - CONCLUSÃO

A metodologia apresentada neste artigo pode ser expandida para outras fontes (como eólica e biomassa) empregadas em sistemas com microgeração distribuída, assim como para sistemas híbridos de geração de eletricidade instalados em edificações.

Um critério semelhante de bonificação para uso de fontes renováveis para produção de eletricidade em edificações poderia também ser incluído no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R), a fim de incentivar a produção de energia local com baixo impacto ambiental e redução do consumo de energia elétrica da rede da concessionária.

Verificou-se neste trabalho que o investimento realizado para implantação de um SFCR na edificação é plenamente compensador e caso a mesma seja submetida para obtenção da ENCE do PBE/Inmetro, haverá pontuação adicional (bonificação) na classificação geral, devido à contribuição do SFCR na redução do consumo de eletricidade proveniente da concessionária local, além disso, tem-se que os valores do tempo retorno do investimento encontrados, ainda que consideráveis, são inferiores ao tempo de vida útil do SFCR. Este resultado comprova, portanto, que o uso de SFCRs em edificações com perfil de consumo e tarifação semelhantes ao caso estudado pode ser considerado como uma opção economicamente viável.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012. Brasília – DF, 2012. 4 p.
- (2) PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. (organizadores). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESEB, 2014. 530 p.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-3:2005. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 2005. 30 p.
- (4) METEONORM 6.1. Meteotest Company. Suíça, 2015. Arquivo eletrônico.
- (5) MARTÍN, E.C. Edificios Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica: Caracterización y Análisis. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Departamento de Electrónica Física, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 1998. 200 p.
- (6) ZILLES, R.; MACÊDO, W.N.; GALHARDO, M.A.B.; OLIVEIRA, S.H.F. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 208 p.
- (7) SCHMIDT, H., JANTSCH, M., SCHMD, J., Results of the concerted action on Power conditioning and control, 11nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux, Switzerland, 1992.
- (8) ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n° 569, de 23 de julho de 2013. Brasília – DF, 2013.1 p.
- (9) INMETRO. Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013. 5 p.
- (10) INMETRO. Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). 2010. 89 p.
- (11) INMETRO. Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações (RAC). 2013. 103 p.
- (12) PEREIRA, E.J.S. Análise de Risco de Geração de Eletricidade com Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede usando o Método de Monte Carlo. Tese de Doutorado. PPGEE/UFGA. 2015.

## 7.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Rede de Eficiência Energética de Edificações (R3E) / Eletrobras e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-EREEA).



## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Marcos A. B. Galhardo** nasceu em Belém-PA no ano de 1976. Obteve o grau de engenheiro eletricitista em 2000, o grau de mestre em 2002 e o de doutor em engenharia elétrica em 2006, todos pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é professor adjunto da FEE/ITEC/UFPA, membro e pesquisador do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE/UFPA) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-ERREA). Suas áreas de atuação são: qualidade da energia, energias renováveis, eficiência energética, sistemas de monitoração, instrumentação eletrônica, compensação de harmônicos, modelagem de sistemas não-lineares, telemetria e geração de eletricidade.

**Edinaldo J. S. Pereira** nasceu em Belém-PA no ano de 1963. Obteve o grau de engenheiro eletricitista em 1985, o grau de mestre em 2001 e o de doutor em engenharia elétrica em 2015, todos pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é professor associado da FEE/ITEC/UFPA, vice-diretor da FEE/UFPA, vice-coordenador do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, membro do Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc. membro e pesquisador do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE/UFPA) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-ERREA). Suas áreas de atuação são: energias renováveis, sistemas híbridos para geração de eletricidade, antenas e micro-ondas.

**Wilson N. Macêdo** nasceu em Abaetetuba-PA no ano de 1975. Obteve o grau de engenheiro eletricitista em 2000 pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e o grau de mestre em engenharia elétrica em 2002 pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica também da UFPA. Doutor em Energia pelo Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo em 2006. Atualmente é professor adjunto IV do Instituto de Tecnologia (ITEC) da UFPA, membro e pesquisador do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE/UFPA) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-ERREA). Suas áreas de atuação são: energias renováveis, sistemas fotovoltaicos, sistemas de monitoração e geração de eletricidade.

**Heliana M. C. Aguilár** é arquiteta, nasceu em Concepción-Ant, Colômbia no ano de 1971. Formada em arquitetura pela Universidad Nacional de Colombia, com diploma reconhecido pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é estudante de doutorado e pesquisadora do GEDAE/UFPA e INCT-ERREA. Atuando nas áreas de eficiência energética em edificações, energias renováveis, arquitetura bioclimática e simulação térmica e energética de edificações e sistemas.

**João T. Pinho** nasceu em Belém-PA no ano de 1955. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará – UFPA (1977), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1984) e doutorado em Engenharia Elétrica - Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule/Aachen (1990). Atualmente é bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora, nível 1C, do CNPq, professor titular da UFPA, Coordenador do GEDAE/UFPA e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-ERREA). Foi membro do Comitê de Energia do Programa CYTED e é consultor ad hoc e membro de outros comitês assessores de várias instituições de fomento no Brasil e no exterior. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Energias Renováveis e Aplicações de Eletromagnetismo, atuando principalmente nos seguintes temas: energia eólica, energia solar, energias renováveis, sistemas híbridos e eletrificação rural.