

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO DESEMPENHO OPERACIONAL DO PRIMEIRO ANO DE GERAÇÃO DE UM SFCR INTEGRADO À EDIFICAÇÃO

Fabricio Higo Monturil de Moraes – fabricio@ifpi.edu.br

Instituto Federal do Piauí, Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar (GIPES)

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva – osvaldo.augusto@ifpi.edu.br

Instituto Federal do Piauí, Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar (GIPES)

Fábio da Rocha Barbosa – fabiorocha@ufpi.edu.br

Universidade Federal do Piauí, Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar (GIPES)

Albemerc Moura de Moraes – albemerc@ufpi.edu.br

Universidade Federal do Piauí, Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar (GIPES)

Área 4 - Conversão Fotovoltaica, Sub-área 4.3 – Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados

Resumo. *Este artigo tem como objetivo fazer uma avaliação técnico-econômica de desempenho do primeiro ano de operação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), instalado no campus Floriano do Instituto Federal do Piauí (IFPI), localizado na cidade de Floriano, estado do Piauí. O sistema tem uma potência nominal de 150 kWp. A análise técnica foi feita através da apuração de alguns índices de mérito comumente utilizados na verificação do desempenho de sistemas fotovoltaicos que são: Produtividade do Sistema, Performance Ratio e Fator de Capacidade. Na análise de viabilidade econômica, foram utilizados os conceitos do Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback. Os resultados demonstram que o sistema possui viabilidade técnica, pois apresentou boa geração no seu primeiro ano de operação, com produção superior a sistemas instalados em outras instituições públicas de ensino do Brasil, além disso, demonstrou um saldo positivo no Valor Presente Líquido, entretanto, os custos com manutenção e o desgaste natural do sistema, que não foram considerados, e as incertezas do setor elétrico, refletida nas variações bruscas nos últimos reajustes tarifários podem colocar em cheque sua viabilidade econômica. Assim, tendo em vista a atividade fim da instituição, a instalação do SFCR trará benefícios além da redução do consumo de energia elétrica, se utilizado nas atividades de ensino, pesquisa e extensão.*

Palavras-chave: *Sistema Fotovoltaico, Avaliação Técnico-econômica, Desempenho Operacional.*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica proporciona ao ser humano variadas oportunidades e alternativas para a integração ao desenvolvimento, possibilitando o crescimento econômico, a qualidade de vida e o bem-estar social. Por tais razões, o desenvolvimento socioeconômico, atualmente, não pode prescindir desse tipo de energia (Moraes, 2013). Neste contexto, durante o desenvolvimento da nossa sociedade ficou evidente a carência de energia em todos os possíveis locais da convivência humana, e nas últimas décadas temos visto o apelo de várias vozes que nos mostram o iminente fim dos combustíveis fósseis, o imenso impacto ambiental causado por essas fontes de energia e a insustentabilidade do modo como obtemos a energia que nos move (Sousa 2012). Por conta disso, nos últimos tempos, as fontes de energia renováveis ganharam uma grande importância devido à sua aceitação social a nível mundial e a capacidade de fornecer uma geração de energia sustentável para satisfazer os requisitos mundiais de eletricidade. Com base em inovações tecnológicas recentes e amplas iniciativas de pesquisadores de todo o mundo, a energia solar naturalmente disponível mostrou um imenso potencial para atender às futuras demandas de energia do mundo (Khan e Arsalan, 2016).

De acordo com as estatísticas apresentadas no último relatório da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21, 2017), rede global de políticas de energia renovável que conecta governos, organizações não-governamentais, instituições de pesquisa e acadêmicas, organizações internacionais e indústria, durante o ano de 2016, pelo menos 75 GW de capacidade foi adicionada em todo mundo (48% em relação a 2015), o equivalente à instalação de mais de 31.000 painéis solares a cada hora, totalizando ao fim do ano uma capacidade global de pelo menos 303 GW. Isso se deve, segundo o relatório, em grande parte à crescente competitividade da energia fotovoltaica, bem como ao aumento da demanda eletricidade e à conscientização sobre o potencial desta fonte de energia, na medida em que os países procuram mitigar a poluição e reduzir as emissões de CO², tanto em grande escala quanto na geração distribuída. Assim, em muitos mercados emergentes, a energia solar fotovoltaica agora é considerada uma fonte competitiva para aumentar a produção de eletricidade e para fornecer acesso à energia.

No Brasil, o número de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) vem aumentando, o que foi possibilitado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através da Resolução Normativa (RN) nº 482 de 2012, que incentiva e regulamenta a geração de eletricidade com fontes renováveis de energia em sistemas conectados à rede elétrica de distribuição. A aprovação desta resolução foi um marco no setor energético brasileiro, colocando o Brasil no grupo de países que incentivam e apoiam a autoprodução de energia elétrica por cidadãos, empresas e

instituições que desejam suprir seu consumo de energia a partir de sistemas fotovoltaicos operando em paralelismo com a rede pública (Villalva, 2015). Assim, a resolução permitiu aos consumidores brasileiros o direito de instalar sistemas fotovoltaicos, divididos em duas categorias: micro e minigeração distribuída. No ano de 2015, a RN nº 482 passou por uma atualização através da publicação da RN nº 687 de 2015. Com esta atualização, a potência permitida para a microgeração, que era de até 100 kW, passou a ser 75 kW, e para a minigeração, que era permitida de 100 kW a 1 MW, passa a valer de 75 kW a 5 MW (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

Por outro lado, em fevereiro de 2015, foi publicada a Portaria nº 23/2015 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), que estabelece boas práticas de gestão e uso de energia elétrica e água nos órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dispõe sobre o monitoramento de consumo desses bens e serviços. Através desta Portaria, o Governo determina, entre outras obrigações, que as entidades ligadas à União devem promover ações de eficiência energética e conscientização de usuários nas unidades consumidoras quanto ao uso correto de energia. Dentre as práticas de sustentabilidade em obras e serviços de engenharia presentes e seu Anexo I, que trata das ações relativas à energia elétrica, a portaria estabelece que deve ser priorizada a utilização de sistemas ou fontes renováveis de energia, como energia eólica e painéis fotovoltaicos que proporcionem economia no consumo anual de energia elétrica da edificação (MPOG, 2015).

Neste sentido, este trabalho propõe a avaliação técnico-econômica do primeiro ano de operação do primeiro Sistema Fotovoltaico (SFV) de minigeração do estado do Piauí, instalado no *campus* Floriano, do Instituto Federal do Piauí (IFPI), que vai de junho de 2016 a maio de 2017. No ano de 2016 a Direção Geral do campus decidiu investir na instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) no intuito de atender parte da sua demanda de energia elétrica (Sá *et al.*, 2017). O campus está localizado no município de Floriano-PI, com as coordenadas geográficas Latitude 6°47'21,18" Sul e longitude 43°02'34,43" Oeste e possui mais de vinte anos de existência.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Com o investimento inicial para a aquisição do SFV através de processo licitatório, foi gasto o total de R\$ 1.150.000,00, referentes à elaboração do projeto, fornecimento e instalação do sistema e treinamento. O SFV instalado no *campus* Floriano do IFPI, é classificado como SFCR e, de acordo com as RN nº 482 e nº 687, é enquadrado como sistema de minigeração distribuída, sendo composto por 660 módulos fotovoltaicos policristalinos de potência de 260 Wp que totalizam uma potência instalada de 171,6 kWp. Os módulos instalados, são de modelo Canadian Solar CS6P-260P, certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) como classe A em eficiência energética. Suas características principais estão descritas na Tab. 1.

Tabela 1 – Especificações técnicas do módulo Canadian Solar CS6P-260P para as condições de irradiância 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C e espectro AM 1,5.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Potência Máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	260 Wp
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp})	8,56 A
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp})	30,4 V
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	9,12 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	37,5 V
Coefficiente de Temperatura V_{oc}	-0,34%/°C
Coefficiente de Temperatura I_{sc}	+ 0,065%/°C
Eficiência	16,16 %
Dimensões (C x L x E)	1638 x 982 x 40 mm

Os inversores utilizados são da marca SMA Sunny Tripower, modelos SIW500 ST010 (um), SIW500 ST015 (um) e SIW500 ST025 (cinco), totalizando 7 inversores. Assim, a potência máxima do SFV é limitada pela potência dos inversores utilizados, o que totaliza 150 kWp. As especificações técnicas dos inversores encontram-se na Tab. 2

Tabela 2 – Especificações técnicas dos inversores SMA Sunny Tripower SIW500

MODELO	ST010	ST015	ST025
FAIXA DE TENSÃO DO MPPT	370-800 V	360-800 V	390-800 V
TENSÃO NOMINAL DE ENTRADA	580 V	600 V	600 V
NÚMERO DE MPPTS / STRINGS POR MPPT	2 / 2	2 / A:5, B:1	2 / 2
MÁXIMA CORRENTE / POR STRING	18 / 10 A	40 / 12,5 A	33 / 33 A
POTÊNCIA NOMINAL DE SAÍDA	10.000 W	15.000 W	25.000 W
TENSÃO NOMINAL DE SAÍDA	380 V	380 V	380 V
CORRENTE NOMINAL DE SAÍDA	14,5 A	24 A	36,2 A
EFICIÊNCIA MÁXIMA	98 %	98,2 %	98,3 %

Os módulos fotovoltaicos do SFV encontram-se montados sobre estrutura metálica fixa, orientada para o Nordeste (desvio azimutal de 5°) nos telhados 1, 2, 3 e 4N com inclinação de 15° , e orientada para o Sudoeste (desvio azimutal de 175°) nos telhados 4S e 5 com inclinação de 15° , como mostra a Fig. 2.



Figura 2 – Imagem aérea do SFCR do *campus* Florianópolis do IFPI e disposição dos módulos fotovoltaicos.

O sistema fotovoltaico é composto por cinco arranjos, que estão divididos em dois subsistemas sendo um de 50 kWp, formado pelos arranjos dos telhados 1, 2 e 3, e outro de 100 kWp, composto pelos arranjos dos telhados 4N (Norte), 4S (Sul) e 5. Os conjuntos de módulos ligados em série recebem o nome de *strings*. O arranjo localizado no Telhado 1, contém 34 módulos, e é constituído de duas *strings* de 17 módulos, conectadas no inversor de 10kW; no Telhado 2 tem-se um arranjo de 110 módulos, composto de três *strings* de 20 módulos e duas *strings* de 25 módulos conectadas no inversor de 25 kW; além desses, também está presente um arranjo de 60 módulos, no Telhado 3, com quatro *strings* de 15 módulos conectadas no inversor de 15 kW, perfazendo assim os 50 kWp do Sistema 1. Já o Sistema 2 é composto dois arranjos de 228 módulos, localizados nos Telhados 4N, 4S e 5, distribuídos em 4 inversores de 25 kW, sendo 2 inversores por arranjo. Em cada inversor são conectadas três *strings* de 22 módulos e duas *strings* de 24 módulos. O que perfaz um total de 100 kWp. Para a conexão das *strings* aos inversores são utilizadas *string-box* de uma entrada e uma saída, de duas entradas e uma saída e de três entradas e uma saída como mostra o diagrama unifilar descrito na Fig. 3.

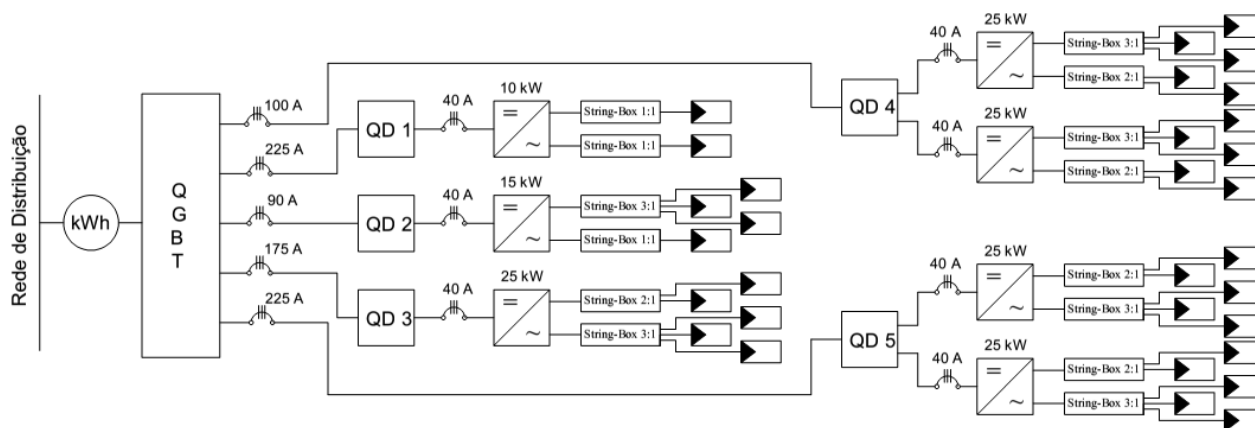


Figura 3 – Diagrama Unifilar do SFCR instalado no *campus* Florianópolis do IFPI.

3. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto, foi analisado o consumo energético do referido *campus* e a produção de energia do sistema fotovoltaico no período considerado. Afim de se mensurar o consumo energético foram utilizadas as faturas de energia do *campus* relativas ao primeiro ano de operação do sistema. Os dados de geração foram obtidos através do *software* de monitoramento Sunny, próprio dos inversores instalados. Com o intuito de comparar sua produção com relação aos índices de insolação local, foram coletados dados de irradiação solar para o local de instalação através de consulta ao banco de dados SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), que reúne dados de irradiação solar de qualquer lugar do mundo, informados por diversas fontes.

A análise do desempenho operacional, foi feita através da apuração de alguns índices de mérito comumente utilizados que são a Produtividade do Sistema, o Rendimento Global do sistema ou *Performance Ratio* e o Fator de

Capacidade. Segundo Benedito (2009), esses índices permitem verificar se um determinado sistema fotovoltaico está produzindo energia de forma otimizada ou se deve ser reconfigurado para aproveitar ao máximo o recurso solar disponível. De acordo com Nakabayashi (2015), a produtividade do sistema “ Y_f ”, é a relação entre a energia “ E ” gerada pelo sistema e a potência nominal “ P_0 ” do sistema fotovoltaico, e é dada em kWh/kWp. Segundo Benedito (2009), este índice representa o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia entregue no período analisado pode ser encontrado através da Eq. (1).

$$Y_f = \frac{E}{P_0} \quad (1)$$

O Rendimento Global de um SFV ou *Performance Ratio* (PR), dado em porcentagem, é definido como a relação entre o desempenho real do sistema e seu desempenho máximo teórico possível (Pinho e Galdino, 2014) no período de análise, e que segundo Benedito (2009), representa a real capacidade do sistema em converter em eletricidade, a energia solar disponível no plano dos painéis e pode ser determinada através da Eq. (2), onde H_t é o total da irradiação no plano do arranjo, dada em kWh/m², no período considerado, e G_{ref} é a irradiância nas condições padrão, e vale 1 kW/m². Os dados de radiação no plano dos módulos foram obtidos através do *software* Radiasol, utilizando-se dos dados obtidos no banco de dados SWERA.

$$PR = \frac{Y_f}{H_t / G_{ref}} \quad (2)$$

De acordo com Nakabayashi (2015), outra figura de mérito utilizada é o Fator de Capacidade (FC), que representa o nível de atividade de uma usina em um determinado período, ou seja, é a energia efetivamente produzida por uma usina “ E ” dividida pela produção “ P_0 ” que a mesma teria funcionando em sua capacidade nominal durante um período de “ T ” horas. Segundo Benedito (2009) pode ser determinado através da Eq. (3).

$$FC = \frac{E}{P_0 \cdot T} \quad (3)$$

Para a avaliação financeira foram utilizados os conceitos do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* (PB), ou tempo de retorno sobre o investimento, afim de analisar a viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico. O VPL dos investimentos que nada mais é do que a diferença entre os benefícios gerados pelo projeto (R\$ 0,33/kWh, determinado pela média dos nove últimos valores cobrados por cada kWh no horário fora-ponta, após a mudança de contrato para a tarifa verde) e seus custos, onde os fluxos de caixa são trazidos a valor presente, descontados a uma determinada taxa de desconto. Se o VPL for positivo, as receitas do projeto superam o valor investido somado às despesas do projeto, caso em que é considerado economicamente viável (Nakabayashi, 2015). A expressão para o cálculo do VPL é mostrada na Eq. (4), em que F_{ct} é o fluxo de caixa no período t considerado, r é a taxa de desconto, n é o horizonte de vida útil do projeto e I_0 é o investimento inicial do projeto.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{F_{ct}}{(1+r)^t} - I_0 \quad (4)$$

A TIR em suma é uma taxa intrínseca do projeto e, dependendo apenas dos fluxos de caixa projetados, é a taxa que remunera o investimento e que torna nulo o VPL. Se a TIR for maior do que a Taxa de Desconto, o projeto pode ser aceito (Silva *et al.*, 2016). A Eq. (5), demonstra a relação entre a TIR e o VPL.

$$VPL = \frac{F_{C1}}{(1+TIR)^1} + \frac{F_{C2}}{(1+TIR)^2} + \frac{F_{C3}}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{F_{Cn}}{(1+TIR)^n} - I_0 = 0 \quad (5)$$

O tempo de retorno de um investimento, ou *Payback* (PB), é número de períodos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo, isto considerando que este fluxo é do tipo em que o investimento é realizado no primeiro período e as receitas estão nos anos seguintes (Nakabayashi, 2015), e pode ser calculado através da Eq. (6), em que R_e são as receitas fixas obtidas em um determinado período fixo que pode ser semanal, mensal, anual ou outro intervalo de interesse.

$$PB = \frac{I_0}{R_e} \quad (6)$$

Segundo Carvalho (2014) na análise econômica de um sistema fotovoltaico, as entradas mais importantes são o custo inicial do sistema e a quantidade de energia que será fornecida ao longo da vida útil do sistema, que nesta pesquisa foi considerado como sendo de 25 anos, tempo de garantia do módulo considerado contra perda de potência limitada a 80% da sua capacidade original, dado pelo fabricante. Dessa forma, segundo Silva *et al* (2016) a determinação do VPL, da TIR e do PB pressupõe a existência da projeção de um Fluxo de Caixa, que é a diferença entre as entradas e as saídas de capital em cada período, e a determinação de uma Taxa de Desconto, que foi determinada através da diferença entre os valores médios da variação anual da Taxa Selic, definida pelo Banco Central do Brasil (BCB) como a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais; e do reajuste das tarifas de energia, informadas pela Aneel, observadas nos últimos dez anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 4 mostra a variação do recurso solar na cidade de Floriano-PI ao longo dos meses do ano. Foi escolhida a base de resolução moderada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e obtidos os dados para a Irradiação Global Horizontal para todos os meses do ano. Os valores perfazem uma média anual de 5,682 kWh/m²/dia, mas destaca-se que o período de vai de agosto a outubro apresenta valores de irradiação solar sempre acima das médias anuais.

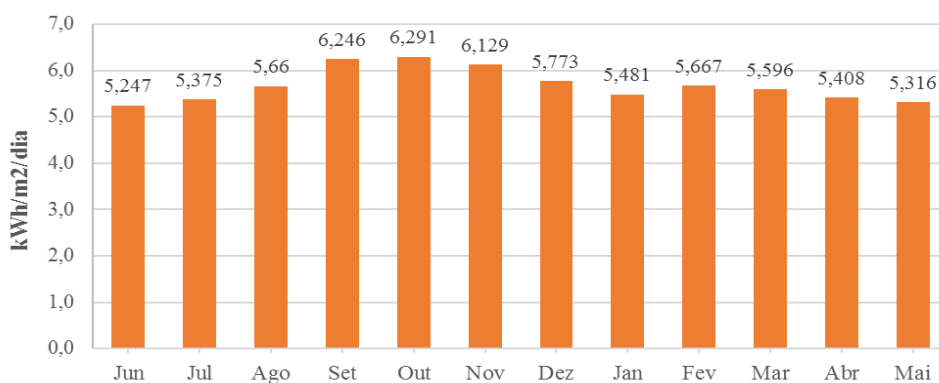


Figura 4 – Valores de Irradiação Global Horizontal, em kWh/m².dia.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de SWERA, 2017.

Analisando os valores de irradiação solar descritos na Fig. 4 pode-se inferir que a cidade de Floriano-PI possui condições favoráveis para a geração de energia solar fotovoltaica. Magalhães, Soares e Lira (2016) afirmam que o Estado do Piauí tem um grande potencial para obtenção de energia através de fontes renováveis. Esse potencial se deve à grande presença de rios na extensão do seu território, à sua localização próxima ao Equador, o que o torna uma região privilegiada de radiação solar, e às altas velocidades de vento no Sul e no litoral do Piauí. Assim, analisando a mais recente publicação do Atlas Brasileiro de Energia Solar, verifica-se que a cidade de Floriano se situa na região do estado do Piauí onde os valores médios anuais de irradiação solar global horizontal encontram-se entre 5,500 e 5,750 kWh/m²/dia, com médias mensais que podem facilmente ultrapassar a marca dos 6,0 kWh/m²/dia. (Pereira *et al.*, 2017).

O consumo mensal do *campus* e a produção mensal do SFV encontram-se descritos na Fig. 5. Destacam-se no gráfico apresentado os meses de setembro e outubro de 2016 que tiveram o maior e o menor consumo de energia, respectivamente, e os meses de outubro de 2016 e fevereiro de 2017, com a maior e a menor geração de energia fotovoltaica, respectivamente. Ademais, destaca-se novamente o mês de outubro de 2016 além do mês de abril de 2017, cuja geração de energia foi maior que o consumo do *campus*, em decorrência das férias escolares que, conforme será mostrado, impacta na diminuição do consumo de energia.

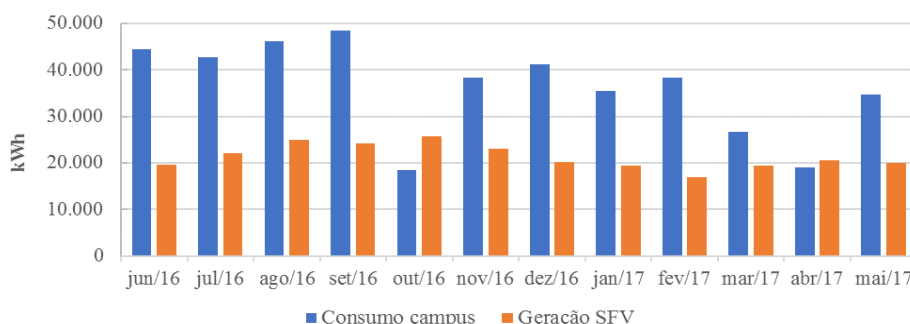


Figura 5 – Consumo e Geração mensal no *campus* Floriano do IFPI no primeiro ano de funcionamento do SFCR.

O consumo médio de energia foi de 36.183 kWh e o consumo mensal é mais elevado em alguns meses, o que se justifica com a análise da Fig. 4. Como pode ser observado, o período que vai de agosto a outubro, é o mais quente do ano, fato justificado pelos altos índices de irradiação solar. Este fato propicia um aumento na temperatura ambiente fazendo com que o consumo de determinados equipamentos elétricos, como os equipamentos de ar condicionado, aumente por conta da necessidade de mantê-los em funcionamento por mais tempo para compensar este aumento, pois, segundo Souza *et al.* (2013), a temperatura do ar é a variável climática mais importante que afeta o consumo de energia. Uma mudança de temperatura influencia as condições de conforto térmico de determinada região produzindo assim mudanças de comportamento do consumidor e, portanto, mudanças no consumo de energia. Além da temperatura, outras variáveis climáticas, como a umidade e a velocidade dos ventos, também influenciam a refrigeração e sensação de conforto térmico.

Viana *et al.* (2012) afirma que o ar condicionado, nos dias de verão, é o maior responsável individual pela ocorrência de pontas de demanda de energia elétrica em instalações comerciais. No período da tarde, quando o ar condicionado é mais necessário, para manter temperaturas confortáveis, este aumento da demanda de energia soma-se à demanda causada pela iluminação, equipamentos, computadores, entre outros. Segundo Lamberts *et al.* (2014) o consumo clássico de um prédio público, mostra que 48% da energia consumida por eles é utilizada pelos Sistemas de Climatização e outros 24% são utilizados pelo Sistema de Iluminação, cabendo o restante do consumo às bombas d'água e elevadores e às tomadas de uso geral. Porém, analisando o mês de outubro, que se encontra dentro do período mais quente do ano, verifica-se que neste mês o *campus* apresentou o mais baixo consumo. Em consulta ao calendário acadêmico do *campus*, disponível no site da instituição, verifica-se que no mês outubro de 2016, entre os dias 03 e 27, aconteceram as férias letivas entre os períodos letivos 2016.1 e 2016.2. Situação semelhante aconteceu nos meses de março e abril de 2017, pois neste período ocorreram as férias que marcam o encerramento do ano letivo de 2016, justificando-se também o baixo consumo de energia elétrica nestes meses, pois no *campus* permaneceram em funcionamento apenas os seus setores administrativos e a iluminação noturna.

O sistema fotovoltaico gerou no seu primeiro ano de operação uma média mensal de 21.351 kWh com o período de maior produção tendo ocorrido nos meses de julho a novembro com valores sempre acima da média. Observa-se que dentro deste período, a produção mais alta ocorreu nos meses de agosto a outubro, período com os índices de irradiação mais elevados, pois segundo Villalva (2015), a quantidade de energia produzida por um sistema fotovoltaico depende da insolação do local onde é instalado. Esta produção está alinhada com a teoria apresentada por Pinho e Galdino (2014) que afirma que um gerador fotovoltaico tem suas características elétricas dependentes basicamente da irradiância e da temperatura nos módulos. A influência da irradiância solar é muito mais significativa do que a da temperatura. A irradiância pode variar significativamente em curtos intervalos de tempo (da ordem de segundos), especialmente em dias com nuvens, mas a variação da temperatura é amortecida pela capacidade térmica dos módulos. Vale a pena ressaltar que a produção total nos 365 dias relativos ao primeiro ano de operação do sistema foi de 256.217 kWh o que nos dá uma produção diária média de 702 kWh de energia.

Utilizando-se do *software* Radasol, foram encontrados os valores médios de irradiação solar no plano dos módulos, descritos na Figura 6. Os valores encontrados perfazem uma média anual de 5,763 kWh/m²/dia.

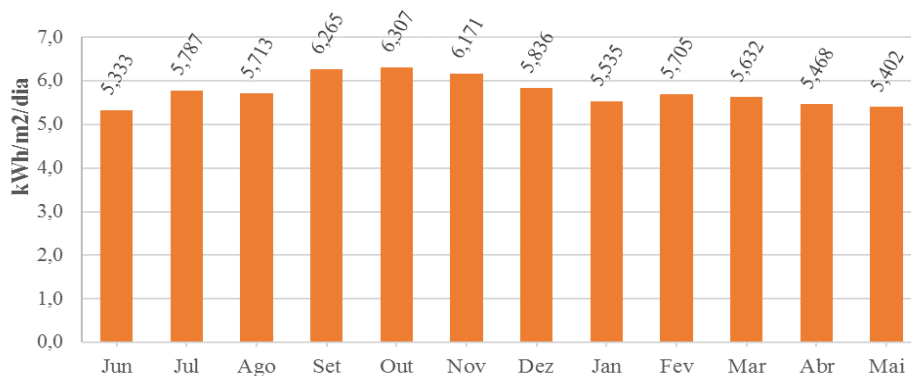


Figura 6 – Irradiação Solar no plano dos módulos fotovoltaicos.

Com base nos dados apresentados é possível calcular as figuras de mérito para a análise do SFV, descritas anteriormente. O Fator de Carga (FC) obtido ao longo dos 365 dias (8760 horas) de operação do SFV a partir da energia total produzida (256.217 kWh) e da potência nominal (150 kWp), foi de 19,5%. A produtividade (Y_p) do SFV nestas condições foi de 1708,11 kWh/kWp. Tendo como base o valor total anual de irradiação solar no plano dos módulos para (2.103,5 kWh/m²), obtido através do seu valor médio multiplicado pela quantidade de dias do período em análise (365 dias), foi calculado o Rendimento Global (PR) do SFV, encontrando-se o valor de 81,20%. A Tab. 3 mostra um comparativo entre o SFV do *campus* de Florianópolis do IFPI e outros SFV instalados em outras instituições públicas de ensino de locais distintos do Brasil estudados por Urbanetz Junior *et al.*, (2014), Gomes *et al.*, (2015) e Buiatti *et al.* (2016), com relação aos seus índices de mérito.

Tabela 3 – Comparativo entre SFV instalados em locais distintos do Brasil.

SFV	IFPI - Florianópolis	UTFPR - Curitiba	UFU - Uberlândia	IFRN – Natal
Potência Instalada (kWp)	150	2,1	2,16	56,4
Período de Operação	2016-2017	2013	2014	2014
Produtividade (kWh/kWp)	1.708,11	1.077,14	1.454,21	1.648
Fator de Carga (%)	19,5	12,26	16,26	Não calculado
Performance Ratio (%)	81,20	68,66	69,18	66,47

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Urbanetz Junior *et al.*, (2014), Gomes *et al.*, (2015) e Buiatti *et al.* (2016).

Analisando a tabela verifica-se que o SFV instalado no *campus* Florianópolis do IFPI apresenta desempenho satisfatório e superior aos demais SFV mencionados na tabela. Juntamente com o sistema instalado na Reitoria do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) na cidade de Natal, apresentam os maiores valores de produtividade, o que pode ser justificado pelo fato de se localizarem na região brasileira com maiores índices de radiação solar, mostrados na Fig. 4(a). Quando comparado com o sistema instalado no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, localizada na região Sul do país que, como mencionado anteriormente, recebe os menores índices de radiação solar durante o ano, demonstra níveis de produtividade bem superiores. Ademais, quando comparado a sistema instalado na Universidade Federal de Uberlândia, apresenta Fator de Carga superior, também pelo fato de apresentar índices de irradiação solar superior a esta região.

A decisão de investir em um SFV pode ser definida através de uma análise quantitativa (numérica) ou qualitativa (não-numérica). Nessa última abordagem a aprovação de um projeto decorre da manifestação de poder de uma pessoa ou de um grupo sem, necessariamente, considerar os custos e benefícios da implantação, mas refletindo a estratégia da organização, suas políticas, a estrutura de mercado em que está inserida, seus pontos fortes e fracos, bem como possíveis ameaças ao seu negócio (Silva *et al.*, 2017b). Já a análise quantitativa, pressupõe o cumprimento de todos os pré-requisitos para a elaboração de um bom Projeto de Investimento: Identificação do projeto (Título, Descrição, Projeto Básico, Memorial Descritivo, Memória de Cálculo, Especificações Técnicas e Lista de Materiais); Orçamentação (identificação dos Custos Diretos e Indiretos decorrentes de sua implantação, conforme metodologia específica); Cronograma físico-financeiro (identificação das tarefas a serem executadas, identificando os pré-requisitos, atividades que são decisivas para a execução de outras, e superposições, atividades que podem ser executadas concomitantemente, além dos momentos de impacto no Fluxo de Caixa); Benefícios do projeto (estimativa da economia de energia decorrente da execução do projeto, com base no desempenho de projetos semelhantes ou em índices conhecidos); Projeção do fluxo de caixa (apresentação das entradas e saídas de capital e a sua periodicidade, considerando a Taxa de Desconto); Análise econômico-financeira (apuração de métricas) (Frezatti, 2008).

Importante destacar ainda que, mesmo possuindo viabilidade técnico-econômica o projeto deve possuir aderência estratégica, avaliando se o mesmo foi desenvolvido para atender ou não às estratégias do plano da entidade, em especial os de longo prazo e, conseqüentemente, está alinhado a sua missão e visão. Analisando-se o último plano de desenvolvimento institucional (PDI) do IFPI, pôde-se concluir que o SFCR do campus de Florianópolis possui aderência estratégica (IFPI, 2014), com o resumo da análise de viabilidade econômica do sistema implantado em Florianópolis-PI mostrado na Tab. 4. Com base nessa análise, o projeto se pagará em 15 anos (*payback*) e após os 25 anos a instituição terá lucrado R\$ 657.996,88 (VPL após vida útil do projeto), somente com a geração e energia do sistema, uma vez que na análise econômica, deixar de gastar é o mesmo que lucrar. Importante destacar que nessa análise não se considerou os custos de manutenção e se considera que o sistema funcionará perfeitamente durante toda a sua vida útil com a geração e energia seguindo os mesmos parâmetros desse primeiro ano em toda a sua vida útil, fato que não deve acontecer.

Tabela 4 – Análise de viabilidade econômica do SFV de Florianópolis.

DADOS DA ANÁLISE	VALOR
Potência Instalada (kWp)	150
Investimento Inicial (R\$)	R\$ 1.150.000,00
Economia de Energia Anual (kWh)	256.217
Economia de Energia Anual (R\$)	R\$ 84.551,61
Taxa Básica de Juros Anual	10,93%
Reajuste Anual da Tarifa de Energia	9,69%
Taxa de Desconto	1,24%
Vida Útil	25 anos
Valor Presente Líquido (R\$)	R\$ 657.996,88
Relação Custo Benefício	1,75
<i>Payback</i>	15 anos

Ademais, considerou-se como taxa de desconto a diferença entre o reajuste médio da SELIC (10,93%) e o reajuste médio da tarifa de energia da concessionária (9,69%) nos últimos dez anos, parâmetros que variam anualmente, conforme pode ser visto na Fig. 7, e refletem a decisões políticas, como o que ocorreu em 2012 quando as tarifas foram mantidas artificialmente baixas, sem o reajuste necessário para manter a saúde financeira das concessionárias, e o que ocorre em 2017 com a possibilidade de privatização da Eletrobrás que traz mais incertezas ao setor. Para Yang *et al.* (2007), essas análises, baseadas na interpretação desses indicadores determinísticos, são largamente utilizadas por setores tradicionais da economia. Entretanto, esta metodologia não pode quantificar totalmente os riscos e incertezas, relacionadas ao preço da energia, na política dos governos sobre as alterações climáticas, no regime internacional no mecanismo de mudança climática e representam incertezas para o investimento do setor de energia, principalmente, quando se trata de projetos de alta complexidade ou quando o Fluxo de Caixa for por um período mais extenso.

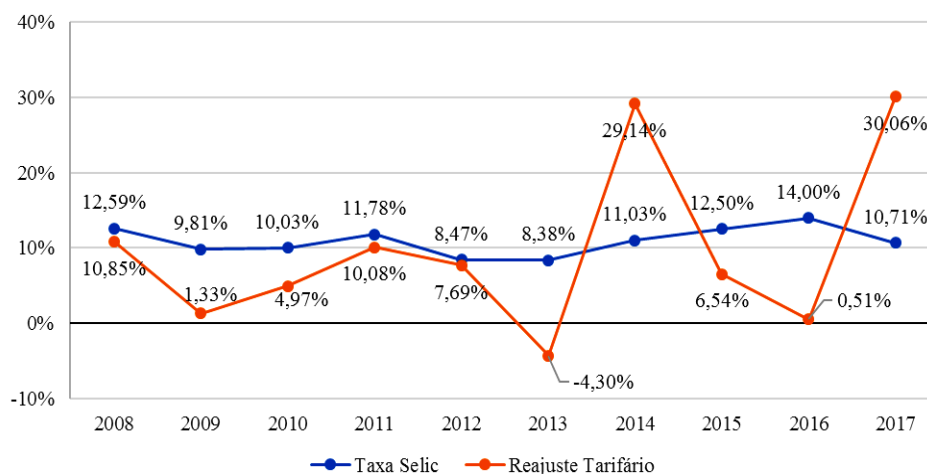


Figura 7 – Variação da Taxa SELIC e do reajuste da Tarifa de Energia no Piauí.

Analisando-se todos esses fatores, questiona-se a viabilidade econômica desse sistema com os resultados obtidos, sobretudo ao analisar-se outros estudos de viabilidade econômica que envolvem redução do consumo de energia através de ações de eficiência energética que também se enquadram no estabelecido pela Portaria nº 23/2015 do MPOG, em instituições de ensino do estado do Piauí que se demonstram muito mais viáveis por terem uma relação custo-benefício bem menor. Como exemplo tem-se o estudo de Silva *et al.* (2017a) que visava a eliminação das perdas evitáveis (decorrentes do atraso no pagamento das faturas, energia reativa excedente e demanda de ultrapassagem) no *campus* Teresina-Central (CATCE) do IFPI (da mesma instituição do sistema estudado), com o *Payback* em menos de um ano, cujos resultados encontram-se descritos na Tab. 5.

Tabela 5 – Viabilidade Econômica das perdas evitáveis no CATCE do IFPI

DADOS DA ANÁLISE	IFPI – Eliminação de perdas evitáveis
Investimento inicial	R\$ 6.000,00
Economia Anual	R\$ 55.222,65
Vida útil	5 anos
Inflação Anual	8,26%
Reajuste Anual das tarifas	9,49%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 270.053,14
<i>Payback</i>	0,17 anos
Relação Custo Benefício	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Silva *et al.* (2017a)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de viabilidade do sistema fotovoltaico instalado no *campus* Floriano do Instituto Federal do Piauí demonstra que esta cidade possui viabilidade técnica para a instalação de sistemas fotovoltaicos. A cidade apresenta valores de irradiação solar superiores a países como a Alemanha, país onde a utilização de SFV já está consolidada. Por conta disso, ao analisar a geração do primeiro ano de instalação do SFV, verificou-se que o sistema apresenta uma excelente performance, com índices de rendimento superiores a outros sistemas instalados em regiões diferentes do país, inclusive da região Nordeste. Ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados onde se possa verificar a

influência da temperatura dos módulos, e uma análise do sombreamento causado pela orientação e posicionamento destes módulos e pela própria volumetria do telhado e dos demais blocos que compõem o *campus* na produtividade do sistema, tendo em vista que também são fatores determinantes na quantidade de energia produzida.

Além de fatores técnicos, para a análise de viabilidade econômica da implantação de Sistemas Solares Fotovoltaicos, deve-se considerar: o investimento inicial, o potencial de geração de energia elétrica, os custos de manutenção, a tarifa de energia elétrica (valores e tipos) e da taxa de desconto (diferença entre a taxa básica de juros e o reajuste anual da tarifa de energia elétrica). Os resultados apresentados nesse trabalho colocaram em cheque a viabilidade econômica desse sistema que, mesmo possuindo aderência estratégica por estarem alinhados com a missão e a visão da instituição, e apresentando um lucro de R\$ 657.996,88, possui uma RCB igual a 1,75, muito maior que outras ações de eficiência energética propostas para algumas instituições de ensino do Piauí, com o retorno do investimento inicial de R\$ 1.150.000,00 devendo vir somente no ano de 2031 (15 anos após sua instalação), ainda que se tenha excluído os custos de manutenção e considerado que o SFCR manterá os mesmos níveis de geração durante toda a sua vida útil (25 anos), o que não deve ocorrer devido ao desgaste natural do sistema.

Com base nessa análise pôde-se concluir através de uma análise quantitativa que o Sistema Solar Fotovoltaico instalado no Campus Floriano do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí não possui viabilidade econômica, o que pôde ter sido causado pelo alto custo de implantação ou pelo baixo retorno financeiro, devendo ser objeto de pesquisas posteriores. Entretanto, limitar os benefícios relacionados a Sistemas Solares Fotovoltaicos apenas à redução dos gastos com a energia pode conduzir a decisões erradas, uma vez que os co-benefícios para o meio ambiente ou para as atividades de ensino, pesquisa e extensão, considerando a atividade fim da instituição, podem ser tão relevantes quanto, mesmo não sendo tão facilmente mensurados. Ademais, conclui-se que a análise quantitativa de viabilidade econômica, mesmo sendo importante, nem sempre é determinante para a implantação desses sistemas, uma vez que esse sistema está em pleno funcionamento a mais de um ano.

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em set/2017.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em set/2017.
- BCB – Banco Central do Brasil. 2017. Histórico das taxas de juros. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp#notas>> Acesso em: set 2017.
- Benedito, R. S., 2009. Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório, Dissertação de Mestrado, PPGE, USP, São Paulo.
- Buiatti, G. M. *et al.*, 2016. Desempenho de micro e mini usinas fotovoltaicas no Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Belo Horizonte – Minas Gerais. VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Frezatti, F., 2008. Gestão da Viabilidade Econômico-financeira dos Projetos de Investimento, Atlas.
- Gomes, H. S., *et al.*, 2015. Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos: Estudo de caso de UFV de 2,16 kWp instalada na Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU. Campina Grande – Paraíba. XI CBQEE – Conferência Brasileira de Qualidade de Energia Elétrica.
- IFPI, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia., 2014. PDI 2015-2019 – Plano de Desenvolvimento Institucional.
- Khan, J., Arsalan, M. H., 2016. Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, pp. 414–425.
- Lamberts, R. *et al.*, 2014. Eficiência energética na arquitetura, Eletrobras/Procel.
- Magalhães, A. L. C., Soares, G. F., Lira, M. A. T., 2016. Evolução Histórica do Potencial de Energia Renovável do Piauí. Foz do Iguaçu – Paraná. CONTEC - Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia.
- Moraes, A. M., 2013. Energia solar fotovoltaica no Piauí: Barreiras e potencialidades, Edufpi.
- MPOG, Ministério De Estado Do Planejamento, Orçamento E Gestão. 2015. Portaria nº 23, de 12 de fevereiro de 2015. Disponível em: < http://www.tst.jus.br/documents/10157/12455710/MPOG+-+PORTARIA+N%C2%BA%2023_2015,%20DE+12_2_2015>. Acesso em: set/2017.
- Nakabayashi, R., 2015. Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica. Nota Técnica. IEE-USP. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>. Acesso em: set 2017.
- Pereira, E. B., *et al.*, 2017. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. INPE.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Cepel-Cresesb.
- REN21 - Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2017. *Renewables 2017. Global Status Report*. Disponível em: < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Op_t.pdf> Acesso em set/2017.
- Sá, F. N. *et al.*, 2017. Análise ambiental e econômica do primeiro ano de operação do sistema fotovoltaico de uma instituição federal de ensino no Brasil. San Juan – Argentina. XL Reunión Asades – Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.

- Santana, F. P. S., Andrade, V. S., 2014. Dimensionamento e análise de viabilidade de um sistema fotovoltaico para o prédio de ensino de uma instituição de ensino em Governador Valadares. Belo Horizonte – Minas Gerais. V ComGeA – Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.
- Silva, O. A. V. O. L. *et al.*, 2016. Feasibility of Energy Efficiency in universities classrooms: a Case Study in UFPI, BRAZIL. *Espacios*. v. 37, n. 10. pp. 10.
- Silva, O. A. V. O. L. *et al.*, 2017a. Use of Energy Bills for Energy Management in Multicampi Universities. *Revista Espacios*, vol. 38, n.12, p. 20.
- Silva, O. A. V. O. L. *et al.*, 2017b. Viabilidade técnico-econômica da eficiência energética em edificações, *Prismas*.
- Souza, L. F. S. *et al.*, 2013. A influência da temperatura no comportamento da carga elétrica de curto prazo e na precisão de sua previsão. Fortaleza – Ceará. XI SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente.
- Sousa, R. D., 2012. Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaicas: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares, Bluesol.
- SWERA - Solar and Wind Energy Resource, 2017. Swera (beta release). Disponível em; <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=Hj0X2R%255Bv%255D%3Dt&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=-5.055463979126611%2C-42.80140399932861&zL=16>> Acesso em set/2017.
- Urbanetz Junior, J. *et al.*, 2014. Análise do desempenho de dois anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR. Recife – Pernambuco. V CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Viana, A. N. C., *et al.* 2012. Eficiência energética: Fundamentos e Aplicações. Elektro, UNIFEI, Excen, FUPAI.
- Villalva, M. G., 2015. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações, Érica.
- Yang, M. *et al.*, 2007. Modeling Investment Risks and Uncertainties with Real Options Approach. Working Paper for: IEA – International Energy Agency. Climate Policy Uncertainty and Investment Risk.

TECHNICAL-ECONOMIC EVALUATION OF THE OPERATIONAL PERFORMANCE OF THE FIRST YEAR OF GENERATION OF A SFCR INTEGRATED TO BUILDING

Abstract. *This article aims to make a technical-economic evaluation of the performance of the first year of operation of a SFCR, installed in the Floriano campus of the Federal Institute of Piauí (IFPI), located in the city of Floriano, state of Piauí. The system has an nominal power of 150 kWp. The technical analysis was done through the calculation of some merit indexes commonly used in the verification of the performance of photovoltaic systems which are: System Productivity, Performance Ratio and Capacity Factor. In the economic viability analysis, the concepts of Net Present Value, Internal Rate of Return and Payback were used. The results show that the system has technical feasibility, since it presented a good generation in its first year of operation, with production superior to systems installed in other public institutions of education of Brazil, in addition, it showed a positive balance in the Net Present Value, however, the maintenance costs and the natural wear and tear of the system, which were not considered, and the uncertainties of the electricity sector, reflected in the abrupt changes in the last tariff readjustments can put in check its economic viability. Thus, in view of the institution's final activity, the installation of SFRC will bring benefits beyond the reduction of electric energy consumption, if used in teaching, research and extension activities.*

Key words: *Photovoltaic System, Technical-Economic Evaluation, Operational Performance.*