

# ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UNIDADE CONSUMIDORA NO AEROPORTO DE TERESINA NO ESTADO DO PIAUÍ.

Dionatas Rayron da Silva Alves – dionatasralsves@gmail.com  
Marcos Antônio Tavares Lira – marcoslira@ufpi.edu.br  
Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica

## 7.2 - Impactos Sociais, Econômicos e Ambientais de Energias Renováveis

**Resumo.** Este artigo tem como objeto o estudo da viabilidade de implantação da geração de energia elétrica através de placas fotovoltaicas. Como reduzir custos em energia elétrica, otimizando investimentos aplicados, diante o cenário de reajustes tarifários e limitação da matriz elétrica de geração nacional? A hipótese foi dimensionar e orçar o sistema de geração fotovoltaico compatível com o histórico de demanda e consumo mensal da unidade em estudo, de forma a possibilitar análise comparativa dos cenários de consumo, geração, compensação, redução mensal no faturamento, taxa e tempo de retorno do investimento. O objetivo foi analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição da concessionária local. O método utilizado foi a pesquisa bibliográfica, normativa, levantamentos em bases de dados específicas para obtenção das variáveis envolvidas e o estudo de caso em unidade consumidora do Aeroporto de Teresina/Senador Petrônio Portella em Teresina-PI. O referencial teórico utilizado foi do CRESESB. O resultado do estudo foi o dimensionamento de um gerador solar com potência de 62.422,75 Wp, 25 anos de vida útil, para atendimento pleno ao consumo mensal, com a previsão de investimentos no valor de R\$ 449.691,26, tempo de retorno do investimento entre 5,7 a 8,10 anos com percentual de redução mensal da fatura de energia na faixa de 58,71% a 69,65% para o cenário mais crítico e de 83,32% a 98,85% para o cenário mais favorável, considerando futura redução da alíquota de ICMS na geração. Concluiu-se que a implantação da fonte alternativa de energia solar na unidade em estudo na cidade de Teresina-PI, representa uma favorável oportunidade de ganho real do investimento, aliado a redução de custos no consumo de energia elétrica mensal durante a vida útil do sistema.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Fotovoltaico, Geração.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo apresentado neste artigo refere-se à implantação, em unidade consumidora, da tecnologia de geração de energia elétrica através do aproveitamento da luz solar. O interesse por tal tema aconteceu face a necessidade de avaliar oportunidades de redução de custos ao consumidor final, através da implantação de outras fontes alternativas renováveis de geração de energia elétrica, considerando o atual contexto de significantes reajustes tarifários no valor da energia elétrica no estado do Piauí e o cenário de limitação vivenciado pela matriz de geração elétrica brasileira (Cruz, 2013), motivada principalmente pela instabilidade dos índices pluviométricos nas regiões onde estão instaladas as plantas de geração.

Como solução alternativa à limitação da geração hidroelétrica e crescente evolução na oferta de energia elétrica (BEN, 2015), diante do cenário de crise hídrica, a matriz elétrica brasileira utiliza a tecnologia de geração termoeletrica como complementação do suporte energético às demandas solicitadas (ONS, 2015). Contudo, devido a concepção operacional do sistema termoeletrico maiores custos são praticados no processo de geração e conseqüentemente transferidos ao valor do produto final, gerando reajustes tarifários no preço do kWh de energia elétrica consumido e/ou mudança no modelo de tarifação visando equilíbrio financeiro no mercado de energia elétrica.

Dentro dessa abordagem, é possível visualizar que a matriz elétrica nacional carece de maior diversificação do seu parque de geração. Viabilizar tal alteração na matriz significa prover condições para incrementos de fontes alternativas que possibilite melhor representatividade quando comparadas a geração hidroelétrica, reduzindo assim, a predominância de um modelo associado com redução de custos e aumento na disponibilidade de cargas para o suporte energético demandado (Cruz, 2013).

Fontes alternativas de geração, através de energias renováveis, como energia solar e eólica apresentam-se com características tecnológicas consolidadas e favoráveis perante a solução técnica necessária para diversificação da planta de geração e redução dos fatores propulsores do atual cenário de dificuldades no sistema elétrico brasileiro. Fatores

relacionados a localização geográfica do Brasil e a diversidade climática potencializam e tornam mais competitivas tais alternativas de geração para a matriz elétrica nacional (SWERA, 2015).

Consoante ao contexto relatado e objetivando encaminhamento da proposta de solução para a problemática identificada neste artigo, a análise da viabilidade de implantação da geração de energia solar fotovoltaica foi considerada em função dos altos índices de irradiação solar durante todo o ano no estado do Piauí (Pereira, 2006), especificamente na cidade de Teresina, onde está localizada a unidade consumidora em estudo neste artigo e principalmente devido os altos reajustes das tarifas de energia elétrica repassados pela distribuidora local, que conforme dados da ANEEL foi de aproximadamente 51% o valor do reajuste acumulado para o fornecimento em baixa tensão no período de agosto de 2014 a maio de 2015.

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede de distribuição da concessionária local com a compensação de créditos da energia elétrica gerada em excesso. Como objetivos específicos, o estudo se propõe a realizar levantamento dos valores de irradiação solar na localização geográfica da unidade consumidora em estudo, dimensionar o gerador solar fotovoltaico adequado para atender a previsão de consumo, levantar o histórico de consumo de energia elétrica mensal durante o ano, realizar comparativo dos cenários de faturamento com e sem a implantação da geração solar e calcular os fatores determinantes da viabilidade econômica do investimento.

O desenvolvimento deste artigo está subdividido em tópicos que, através de pesquisas bibliográficas e da legislação vigente, visam fundamentar e introduzir as informações que compõem o processo de construção do estudo proposto.

## 2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – GD

A necessidade constante de mitigar custos nos processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, considerando aspectos essenciais como qualidade e disponibilidade do sistema, durante o fornecimento de energia elétrica ao consumidor final, tem levado o setor energético a envidar enormes esforços objetivando o gerenciamento e otimização das perdas de energia, custos ambientais e busca por investimentos em alternativas de geração de energia elétrica cada vez mais próximo aos consumidores de maneira a realizar o balanceamento da equação custo benefício entre as partes. (INPE, 2017).

Dentro desse ponto de vista definimos a geração distribuída (GD) com o conceito de gerar energia elétrica de forma descentralizada e próximo aos centros de carga onde a conexão da fonte geradora ocorre diretamente na rede de distribuição de energia elétrica ou diretamente a carga consumidora, onde inclui-se: pequenas centrais hidrelétricas – PCHs; geradores fotovoltaicos; co-geradores; geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo; geradores de emergência; geradores para operação no horário de ponta; geradores eólicos, etc. Fig. 1.

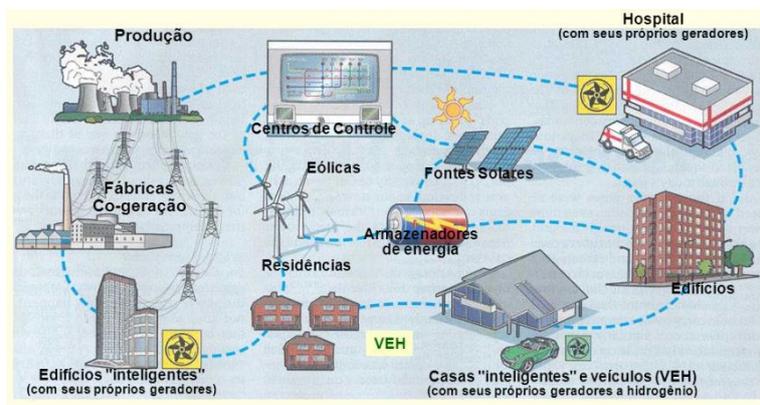


Figura 1: Representação da geração distribuída; Fonte: ONS.

A GD é capaz de aliviar a sobrecarga e o congestionamento do sistema de transmissão e de manter a tensão em níveis adequados, especialmente quando posicionada ao longo de redes de grande extensão, proporcionando maior confiabilidade ao sistema ao reduzir as quedas de tensão e os *blecautes*. Por fim, entre os aspectos que a indicam, a GD é tendência mundial devido à redução dos custos das tecnologias de geração de menor escala, ao recente conceito de *smartgrids* e também por causa das restrições ambientais impostas às fontes convencionais extremamente emissoras de gases de efeito estufa (GEEs) (Cruz, 2013).

### 2.1 Micro e mini geração distribuída

De acordo com o Art. 2º da resolução normativa Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 da ANEEL (atualizado através da Resolução Normativa no. 687 de 24 de novembro de 2015), classifica-se como micro e mini geradores as centrais com as seguintes fontes e potências instaladas:

*“I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*

*II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. ”*

Em conformidade àquilo disposto no normativo específico para geração distribuída da ANEEL, resolução 482/2012, a geração de energia elétrica pelo próprio consumidor através de fontes renováveis está regulamentada inclusive com a possibilidade de fornecer o excedente gerado à rede de distribuição de sua localidade.

A produção de energia elétrica excedente é fornecida à rede de distribuição da concessionária local a título de crédito, que posteriormente será utilizada para abater o consumo final. A resolução 482/2012 não prevê a conversão do crédito de energia, produzido em função do saldo positivo na geração, em dinheiro, mas prever a possibilidade de utilização desse crédito para abater o consumo em outro posto tarifário (ponta e ou fora ponta), outra unidade consumidora de mesma titularidade até o prazo de 60 meses.

Para sistemas de geração conectados à rede de distribuição o consumidor pagará o valor equivalente a disponibilidade do sistema elétrico:

*“Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Em situação análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura será zerada, sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.” (Aneel, Res. 482/2012).*

### **3. CONJUNTURA DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL**

De acordo com o banco de informações de geração da ANEEL (2018) o Brasil possui aproximadamente cerca de 193MW de capacidade de geração solar fotovoltaica instalada, valor muito pequeno quando comparado ao total de 135 TW de toda matriz elétrica nacional. Do ponto de vista estratégico, o Brasil dispõe de favoráveis características naturais com altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade que possibilitam vantagens competitivas no desenvolvimento de uma indústria nacional de produção de células e módulos solares. (MME,2009).

Produzido no âmbito do projeto SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*, sob coordenação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, o atlas brasileiro de energia solar atualmente é a principal base de dados solarimétrico que consolida as disponibilidades de radiação solar nas diversas regiões do Brasil. Conforme dados apresentados no Atlas, identifica-se que apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, é possível verificar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global – 6,5 kWh/m<sup>2</sup> - ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. A menor irradiação solar global – 4,25 kWh/m<sup>2</sup> – ocorre no litoral norte de Santa Catarina.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados. (INPE, Atlas Brasileiro de Energia solar, 2017).

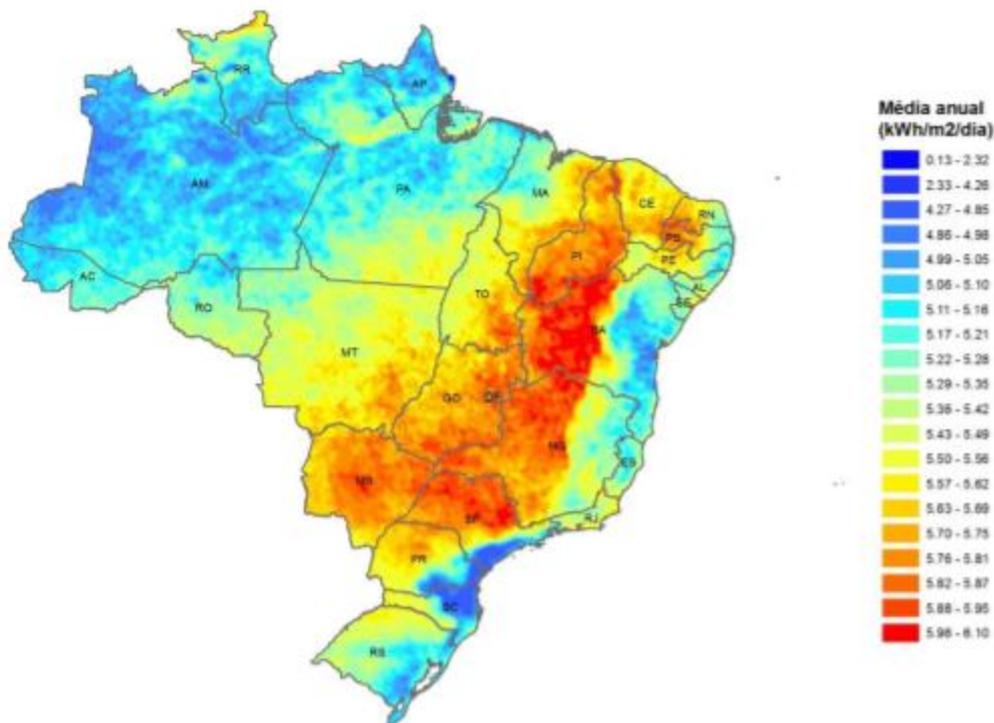


Figura 2: Média anual da Irradiação total em plano inclinado igual a latitude do local no território brasileiro.  
 Fonte: GT COGEN solar, inserção da energia solar no Brasil, 2012: 36.

Quando comparado a países europeus onde a tecnologia de geração solar está bem difundida, o Brasil dispõe de relativo potencial de geração bem acima desses países, citamos como exemplo Alemanha com nível de irradiação máxima de 3,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia enquanto que no Brasil esse nível médio de irradiação está entre 4 a 6 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Fig. 2.

Para os valores referenciais dos custos de implantação da geração solar no Brasil, de acordo com estudos realizados para três padrões de instalações (residencial, comercial e usina) respectivamente 3kW, 30kW e 30MW considerando os custos de aquisição e implantação sem intermediários foi obtido como resultado os valores de 7,12 R\$/W para instalações residenciais, 6,27 R\$/W para instalações comerciais e 5,37 R\$/W para usinas de 30MW. A partir de uma parametrização definida para custos do sistema fotovoltaico, custo fixo de O&M, vida útil, taxa de desconto anual, eficiência global de conversão e perda de eficiência dos módulos o estudo estendeu-se ainda indicando o resultado dos custos médio da geração fotovoltaica por kWh para cada localidade do Brasil (COGEN, 2012: 42)

Como principais instrumentos que compõem a regulação da geração distribuída, para tecnologia fotovoltaica no Brasil, citamos as resoluções normativas da ANEEL nº 482 de 17 de Abril de 2012, nº 687 de 24 de novembro de 2015 e nº 517 de 11 de Dezembro de 2012, nas quais estabelecem as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, as condições para conexão e uso ao sistema de distribuição e define os critérios técnicos e operacionais, requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes e aos existentes.

Tendo em vista o favorecimento das condicionantes naturais para a implantação em grande escala da energia solar no Brasil, cabe ao governo avaliar dentro do planejamento da matriz elétrica nacional, o melhor cenário para viabilizar a construção de condições favoráveis ao desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil, seja através do fomento à pesquisa científica, por incentivo na desoneração fiscal através do ICMS, seja por criação de linhas de créditos com financiamentos compatíveis com o tempo de retorno do investimento necessário ou através do incentivo ao desenvolvimento tecnologia e da indústria local na fabricação dos componentes participantes do processo de geração proporcionando preços mais atrativos na comercialização das soluções.

#### 4. METODOLOGIA

O estudo em questão foi desenvolvido em unidade consumidora do aeroporto de Teresina considerando período de consumo de janeiro a dezembro de 2014, através de pesquisa documental das faturas de energia elétrica, pesquisa de campo, pesquisa bibliográfica a partir de livros, periódico, normativos e resoluções visando identificar a contextualização do campo de estudo e fundamentar os aspectos tecnológicos relacionados ao desenvolvimento do projeto do gerador solar fotovoltaica e conseqüentemente o estudo dos indicadores de viabilidade econômica. A metodologia consistiu nas seguintes etapas:

**Etapa 1:** definição do campo de pesquisa e levantamento da pesquisa documental, esta etapa foi realizada através da pesquisa documental das faturas de energia elétrica de forma a possibilitar o levantamento das demandas de consumo de energia elétrica mensal e anual e limitação do campo de estudo a ser pesquisado.

**Etapa 2:** levantamento das informações geográficas e potencial solar, esta etapa foi realizada mediante o levantamento da localização geográfica, os dados solarimétricos na cidade de Teresina e no estado do Piauí que possibilitou o estudo do potencial solar na unidade de consumo em estudo.

**Etapa 3:** pesquisa bibliográfica, desenvolvimento do projeto do gerador solar e pesquisa de campo, foram desenvolvidos através da pesquisa em livros, periódicos, normativos e resoluções que possibilitaram a fundamentação teórica do estudo e conjuntamente as informações obtidas nas etapas 1 e 2 possibilitando o desenvolvimento do projeto do gerador solar fotovoltaico e previsão de geração anual. Finalizando a etapa, de posse da potência do gerador foi possível realizar a pesquisa de campo com orçamentação no mercado local dos custos de implantação.

**Etapa 4:** Análise dos resultados e conclusões, foi desenvolvida através da consolidação das informações obtidas nas etapas anteriores através do estudo comparativo da previsão de geração fotovoltaica anual do gerador projetado e a demanda de consumo anual obtida na etapa 1, possibilitando a identificação dos cenários de compensação de créditos e débitos. Por último, diante das previsões de geração anual e possíveis compensações foi possível realizar análise dos indicadores de viabilidade econômica e a conclusão final do estudo.

## 5. RESULTADOS

Conforme registrado no mapa solarimétrico nacional (Fig. 2) identificou-se que o estado do Piauí apresenta um dos melhores potenciais em geração solar no Brasil, justificado pelas altas médias anuais de irradiação solar (5,43 a 6,10 kWh/m<sup>2</sup>/dia) e por apresentar 5,43h/dia como quantidade mínima de horas de sol pleno diária, valor acima da média nacional de 5h/dia. Dentro desse cenário, foi desenvolvido o estudo de caso com toda mensuração e especificação das variáveis que compõe o estudo de viabilidade técnica e econômica das oportunidades de ganhos e redução de custos que a implantação do projeto de geração solar poderá proporcionar a unidade consumidora no Aeroporto de Teresina.

### 5.1 Localização geográfica e o potencial do recurso solar

Os valores encontrados para a localização geográfica da unidade consumidora foram obtidos através de equipamento GPS, marca/modelo: Garmin/ GPSmap 60CSx: Latitude: 5° 3'41.27"S ; Longitude: 42°49'15.71"O.

Através da inserção da localização geográfica na base de dados do CRESESB obtém-se as informações relativas a irradiação solar diária média mensal no plano horizontal e no plano inclinado igual a latitude para um ponto de referência mais próximo. Para este estudo de caso, foram identificados os dados de irradiação solar em um ponto de referência 7,2 km de distância da edificação. Ver Fig. 3.

#### Cálculo no Plano Inclinado

			Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
#	Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,00	4,86	4,78	4,72	5,00	5,28	6,08	6,56	6,11	6,39	5,67	5,39	5,49	1,84
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	5° N	4,86	4,78	4,77	4,80	5,17	5,52	6,36	6,75	6,15	6,30	5,51	5,21	5,52	1,98
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	7° N	4,79	4,74	4,76	4,82	5,23	5,61	6,46	6,82	6,15	6,26	5,44	5,13	5,52	2,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	4° N	4,89	4,80	4,78	4,78	5,14	5,48	6,30	6,72	6,14	6,32	5,55	5,25	5,51	1,94

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Teresina–Teresina, PI–BRA

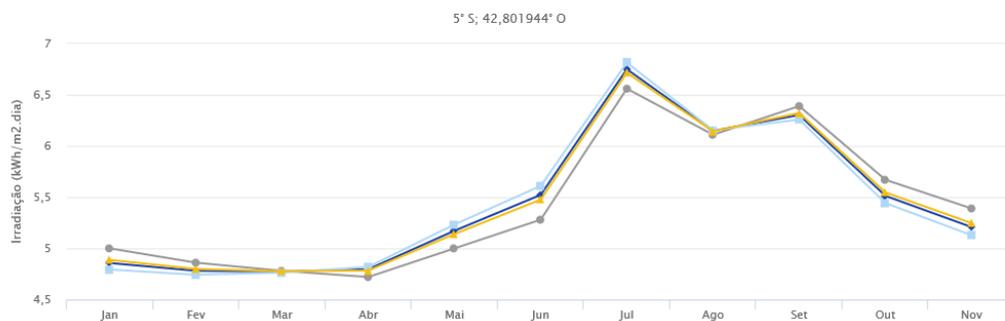


Figura 3: Irradiação solar média mensal (kWh/m<sup>2</sup>.dia); Fonte: CRESESB.

Para efeitos de cálculos no dimensionamento do gerador fotovoltaico necessário para prover a energia elétrica demandada pela edificação, foi considerado as informações obtidas na base de dados do CRESESB para análise do ângulo

de instalação mais favorável e utilizado a irradiação obtida na base de dados SWERA tendo em vista que apresenta os valores no local exato da edificação e considerados ainda os valores de irradiação média diária anual. Ver Fig. 4.

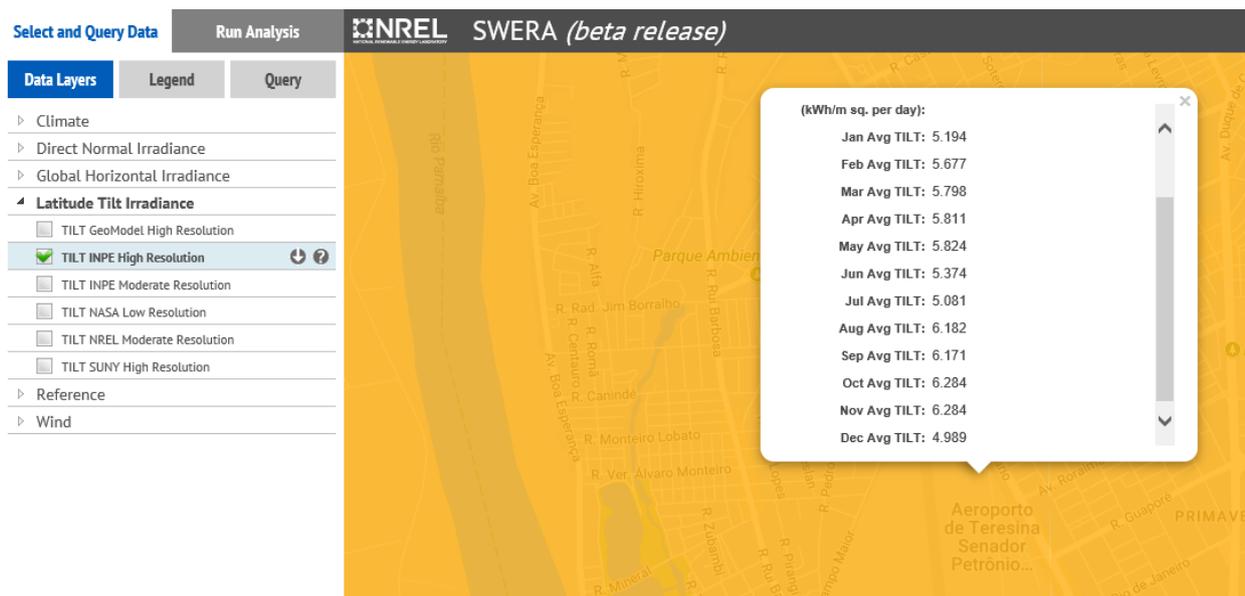


Figura 04: Irradiação média diária anual no local da edificação; Fonte: SWERA.

## 5.2 Projeto do gerador solar fotovoltaico

Após levantamento da irradiação no local da edificação, definiu-se a potência de geração fotovoltaica necessária para suprir o consumo médio diário da planta. Para o dimensionamento foi utilizado metodologia de cálculo disponível no manual de engenharia fotovoltaica, 2014 do CRESESB.

$$P_{FV}(Wp) = \frac{(E / TD)}{HSP_{M}} \tag{1}$$

Onde:  $P_{FV}(Wp)$  - Potência de pico do Painel fotovoltaico;  $E(Wh/dia)$  – Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste;  $HSP_{M}(h)$  – Média diária anual das horas de sol pleno incidente no plano do painel fotovoltaico;  $TD$  (adimensional) – Taxa de desempenho (CRESESB, 2014).

O consumo diário médio anual da edificação de 265.967,74 Wh/dia foi obtido através da análise do histórico de consumo do ano de 2014, Tab. 1, descontados mensalmente o valor mínimo de 100kWh a ser pago pela disponibilidade do sistema elétrico para unidades com geração distribuída conectadas a rede trifásica, conforme REN 482/2012 ANEEL.

Tabela 1: Histórico de consumo, ano 2014.

Mês	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Consumo (kWh)	7980	7920	8160	8070	8220	8610	8850	8430	8490	8670	8400	8340

Fonte: Produzido pelo próprio autor

Através da base de dados SWERA (Fig. 4), foi possível obter o valor de 5,681kWh/m<sup>2</sup>.dia para a irradiação média diária anual no local de instalação dos painéis solares. Considerando que para obtenção de  $HSP_{M}(h)$  faz-se necessário realizar a relação direta do valor obtido na base SWERA com a constante de irradiação solar de 1kW/m<sup>2</sup>. Assim o valor obtido é 5,681h. Ainda foi considerado o valor de 0,75 para a taxa de desempenho (TD) ou Performance Ratio, tendo em vista que tal valor representa todas as perdas envolvidas sob condições de operação numa relação entre o desempenho real sobre o desempenho máximo teórico possível de um sistema fotovoltaico.

Assim, de posse das variáveis envolvidas, utilizando a eq. (1), o gerador fotovoltaico é dimensionado com a potência de 62.422,75 Wp.

## 5.3 Previsão de geração de energia elétrica anual

Para obtenção da previsão anual da geração de energia elétrica a ser produzida mês a mês pelo gerador fotovoltaico, é necessário além da potência do gerador, anteriormente definida, que tenha os dados relativos a previsão de irradiação solar, taxa de desempenho e números de dias para cada mês. Aplicando tais valores na eq. (2) é possível obter os resultados previstos para a energia elétrica a ser gerada, conforme apresentado na Tab. 2.

$$\text{Energia Gerada (kWh)} = \text{Potência (kWp)} \times \text{Irradiação (kW/m}^2\text{/dia)} \times \text{TD} \times \text{Número de dias.} \quad (2)$$

Fonte: Adaptado do CRESESB, 2014: 329.

Tabela 2: previsão de geração fotovoltaica.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Irradiação ( kW/m <sup>2</sup> /dia)	5,194	5,677	5,798	5,811	5,824	5,374	5,081	6,182	6,171	6,284	6,284	4,989
Nº Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Previsão Geração mensal (kWh)	7538,20	7441,85	8414,81	8161,62	8452,54	7547,85	7374,20	8972,12	8667,24	9120,15	8825,95	7240,68
Previsão anual de geração de energia elétrica (kWh)									97757,21			

#### 5.4 Cenário de compensação de energia elétrica

Inicialmente é necessário conhecer as informações do fornecimento de energia elétrica, onde tem-se a Concessionária: Eletrobrás Distribuição Piauí; Classe/subclasse: Empresa pública Federal; Ligação: Trifásica; Forma de faturamento: Normal; Forma de medição: Em baixa tensão 380/220V; Custo de disponibilidade do sistema elétrico: 100kWh/Mês.

Para efeitos de visualização da previsão mensal de compensação da energia elétrica gerada, foi utilizado o histórico de consumo do ano de 2014 da unidade consumidora em estudo. Assim a consolidação das informações de consumo, geração, créditos gerados, créditos acumulados e valores compensados estão apresentados na Tab. 3:

Tabela 3: previsão de geração fotovoltaica; Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Mês	Consumo (kWh)	Geração solar (kWh)	Diferença líquida do mês: Consumo - Geração solar (kWh)	Créditos Gerados (kWh)	Créditos Acumulados (kWh)	valores líquidos dos créditos acumulados (-kWh)	Valor total a pagar para concessionária (kWh)
Janeiro	7980	7538,20	441,80	0,00	0,00	441,80	441,80
Fevereiro	7920	7441,85	478,15	0,00	0,00	478,15	478,15
Março	8160	8414,81	-254,81	254,81	254,81	-254,81	100,00
Abril	8070	8161,62	-91,62	91,62	346,42	-346,42	100,00
Mai	8220	8452,54	-232,54	232,54	578,96	-578,96	100,00
Junho	8610	7547,85	1062,15	0,00	0,00	483,19	483,19
Julho	8850	7374,20	1475,80	0,00	0,00	1475,80	1475,80
Agosto	8430	8972,12	-542,12	542,12	542,12	-542,12	100,00
Setembro	8490	8667,24	-177,24	177,24	719,36	-719,36	100,00
Outubro	8670	9120,15	-450,15	450,15	1169,51	-1169,51	100,00
Novembro	8400	8825,95	-425,95	425,95	1595,46	-1099,32	100,00
Dezembro	8340	7240,68	1099,32	0,00	496,14	-496,14	100,00

Consoante aos resultados obtidos diante os dados apresentados, observa-se uma previsão de geração maior que o consumo nos meses de março, abril, maio, agosto, setembro, outubro e novembro. Enquanto que nos demais meses é possível identificar o consumo maior que geração solar e nos meses de junho e dezembro há previsão de compensação dos créditos gerados em meses anteriores. Como resultante dos créditos acumulados durante o ano, o valor residual de 496,14 Kwh poderá ser utilizado na compensação de energia elétrica nos meses do ano seguinte ou ainda dentro do prazo de 36 meses, conforme prevê a REN 482/2012 da Aneel.

#### 5.5 Resultados relacionados a viabilidade econômica.

O estudo de viabilidade econômica do investimento para implantar o sistema de geração solar foi inicialmente realizado a partir da simulação de dois cenários limites, nos quais possibilitaram prever as economias anuais geradas, mediante o comparativo das previsões de faturamentos mensais considerando as contribuições da geração distribuída. Além disso, possibilitando visualizar os efeitos da carga tributária em cada cenário. Ao final do estudo, foi apresentado comparativamente os resultados dos cálculos relativos a taxa de retorno do investimento (TIR), valor presente líquido (VPL) e tempo de retorno do investimento (*Payback* descontado).

#### Cenário 1.

Tabela 4: previsão de geração fotovoltaica; Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Simulação do cenário mais crítico para o consumidor onde a geração solar aconteceu em momento distinto do consumo.							
Tarifa (R\$/kWh). sem imposto.	Tarifa (R\$/kWh). com imposto.	ICMS (25%)	PIS/CONFINs (0,81+3,73)%	Mês de referência: MAIO de 2015			
0,47303	0,671345444	0,25	0,0454	Bandeira tarifária : Vermelha			
MÊS	Diferença em kWh pagar para concessionária após compensação	Valor a pagar para distribuidora, sem impostos.	Valor dos impostos a pagar	Valor da fatura de energia a ser paga com GD	Valor da fatura de energia a ser paga sem GD	Percentual de Redução mensal e anual	
Janeiro	441,80	R\$ 208,98	R\$ 1.582,56	R\$ 1.791,54	R\$ 5.357,34	66,56%	
Fevereiro	478,15	R\$ 226,18	R\$ 1.570,66	R\$ 1.796,84	R\$ 5.317,06	66,21%	
Março	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.618,25	R\$ 1.665,56	R\$ 5.478,18	69,60%	
Abril	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.600,41	R\$ 1.647,71	R\$ 5.417,76	69,59%	
Mai	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.630,15	R\$ 1.677,46	R\$ 5.518,46	69,60%	
Junho	483,19	R\$ 228,56	R\$ 1.707,50	R\$ 1.936,06	R\$ 5.780,28	66,51%	
Julho	1.475,80	R\$ 698,10	R\$ 1.755,09	R\$ 2.453,19	R\$ 5.941,41	58,71%	
Agosto	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.671,80	R\$ 1.719,10	R\$ 5.659,44	69,62%	
Setembro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.683,70	R\$ 1.731,00	R\$ 5.699,72	69,63%	
Outubro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.719,39	R\$ 1.766,70	R\$ 5.820,57	69,65%	
Novembro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.665,85	R\$ 1.713,15	R\$ 5.639,30	69,62%	
Dezembro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 1.653,95	R\$ 1.701,25	R\$ 5.599,02	69,62%	
Valores totais		R\$ 1.740,24	R\$ 19.859,31	R\$ 21.599,55	R\$ 67.228,53	67,87%	
<b>Economia ANUAL:</b>					<b>R\$ 45.628,98</b>	<b>67,87%</b>	

A economia anual prevista para o cenário 1, Tab. 4, representa o pior cenário possível em que a unidade consumidora estará submetida, onde os impostos a serem pagos incorrem sobre todo o consumo realizado, desconsiderando os quantitativos de energia elétrica compensados com a geração distribuída ocorrida em momento distinto do consumo.

## Cenário 2.

Tabela 5: previsão de geração fotovoltaica; Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Simulação do cenário onde a geração solar acontece no mesmo momento do consumo ou considerando a desoneração de impostos sobre a soma da energia elétrica injetada na rede de distribuição com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora em meses anteriores.							
Tarifa (R\$/kWh). sem imposto.	Tarifa (R\$/kWh). com imposto.	ICMS (25%)	PIS/CONFINs (0,81+3,73)%	Mês de referência: MAIO de 2015			
0,47303	0,671345444	0,25	0,0454	Bandeira tarifária : Vermelha			
MÊS	Diferença em kWh pagar para concessionária após compensação	Valor a pagar para distribuidora, sem impostos.	Valor dos impostos a pagar	Valor da fatura de energia a ser paga com GD	Valor da fatura de energia a ser paga sem GD	Percentual de Redução mensal e anual	
Janeiro	441,80	R\$ 208,98	R\$ 87,62	R\$ 296,60	R\$ 5.357,34	94,46%	
Fevereiro	478,15	R\$ 226,18	R\$ 94,82	R\$ 321,00	R\$ 5.317,06	93,96%	
Março	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.478,18	98,77%	
Abril	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.417,76	98,76%	
Mai	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.518,46	98,78%	
Junho	483,19	R\$ 228,56	R\$ 95,82	R\$ 324,39	R\$ 5.780,28	94,39%	
Julho	1.475,80	R\$ 698,10	R\$ 292,67	R\$ 990,77	R\$ 5.941,41	83,32%	
Agosto	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.659,44	98,81%	
Setembro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.699,72	98,82%	
Outubro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.820,57	98,85%	
Novembro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.639,30	98,81%	
Dezembro	100,00	R\$ 47,30	R\$ 19,83	R\$ 67,13	R\$ 5.599,02	98,80%	
Valores Totais		R\$ 1.740,24	R\$ 729,59	R\$ 2.469,83	R\$ 67.228,53	96,33%	
<b>Economia Anual:</b>					<b>R\$ 64.758,70</b>	<b>96,33%</b>	

O valor anual economizado no cenário 2, Tab. 5, representa a melhor situação para o consumidor, onde todo o quantitativo de energia elétrica gerada é deduzido do consumo, por serem realizados no mesmo momento, e os impostos são aplicados sobre a diferença de consumo e geração ou acima do custo de disponibilidade do sistema elétrico, quando a geração é maior que o consumo. A análise de tal cenário aplica-se ainda sobre a possível desoneração do ICMS sobre o quantitativo de energia elétrica solar gerado ou acumulado pela geração excedente da própria unidade consumidora em

meses anteriores ao faturado, a exemplo daquilo já praticado nos estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo, através do convênio ICMS nº 16 de 27 de abril de 2015 autorizado junto ao Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ.

A orçamentação para implantação do projeto em estudo aconteceu através de consultas a empresas especializadas no mercado local, onde o preço estimado do investimento foi definido a partir da média das propostas recebidas, considerando todas as variáveis envolvidas. De posse do valor a ser investido e dos valores deduzidos em cada cenário, foi possível calcular os valores referentes ao tempo de retorno, taxa de retorno e previsão e ganho com o investimento, conforme apresentados na Tab. 6.

Tabela 6: Comparativo de análise para investimento realizado em ambos os cenários;

Comparativo de Resultados	Economia Anual (R\$)	Investimento (R\$)	Valor Presente Líquido (R\$)	TIR (%)	Payback descontado (anos)
Cenário 1	R\$ 45.628,98	R\$ 449.691,26	R\$ 938.985,32	10,76%	8,10
Cenário 2	R\$ 64.758,70	R\$ 449.691,26	R\$ 1.521.180,99	15,88%	5,70

Para o cálculo da TIR (taxa interna de retorno do investimento), VPL (valor presente líquido) e *Payback* descontado foi considerado a vida útil da instalação de 25 anos, inflação anual de 6,4% e os valores de 25%, 15%, 10% respectivamente para a previsão de reajuste tarifário nos três primeiros anos e 8% para o restante do período até o fim da vida útil.

Os valores obtidos para o cenário 1 retratam o pior contexto para a unidade consumidora, conforme correlação do momento de consumo e geração. Porém, havendo possibilidade de evolução para o cenário 2, mais favorável, mediante alteração no horário de consumo e/ou desoneração da carga tributária sobre a geração distribuída, proporcionando melhor taxa de retorno, redução no tempo de reposição do valor aplicado e maior atratividade ao investimento.

## 6. CONCLUSÃO

Após análise dos dados relativos a irradiação solar média no local da unidade consumidora observou-se excelente disponibilidade de recurso solar para prosseguimento das ações visando implantação do projeto de energia solar. Por oportuno, importante registrar ainda que expandindo os limites desta pesquisa, foi possível identificar que tal excelência na disponibilidade de recurso solar confere a todo o estado do Piauí, tendo em vista os aspectos relacionados a localização geográfica, distribuição da irradiação solar durante todo o ano, valores médios anuais de irradiação solar e boa capacidade de geração de energia solar em todos os meses do ano, fato que confere a viabilidade técnica de implantação da solução em estudo neste artigo.

A respeito da análise econômica para a unidade de consumo em estudo, observa-se nos cenários avaliados que a viabilidade é favorável a médio prazo no período entre 5,7 a 8,10 anos para o retorno do investimento inicialmente realizado na implantação do sistema geração solar. A partir desse prazo, até o fim da vida útil do sistema (25 anos), toda a energia gerada mês a mês pelo sistema fotovoltaico representará uma previsão efetiva de redução mensal da fatura de energia que ficará na faixa de 58,71% a 69,65% para o cenário mais crítico e de 83,32% a 98,85% para o cenário mais favorável (considerando futura redução da alíquota de ICMS).

As taxas internas de retorno (TIR) e o valor presente líquido do investimento (VPL) encontrados para cada cenário estudado, representam, quando comparadas, os limites de atratividade do investimento ao longo do tempo de retorno do investimento e durante o período de real redução de custos do faturamento mensal.

Apesar da visão ambiental não ter obtido abordagem direta no tema aqui estudado, podendo oportunamente ser melhor analisado em estudo dedicado, identificou-se diante a problemática central desse artigo que a implantação da energia solar representa uma solução de excelente viabilidade ambiental, visto a quase inexistência de impactos ambientais no processo de geração quando comparados as demais fontes de maior representatividade da matriz elétrica nacional, cito hidroelétrica e termoeletrica.

Por fim, os objetivos específicos deste trabalho foram atendidos quando do dimensionamento do gerador solar e do cálculo da previsão da geração mensal e anual de energia elétrica para a avaliação dos cenários econômicos apresentados. Assim, de posse dos valores encontrados, conclui-se que a implantação da fonte alternativa de energia solar na unidade consumidora em estudo, representa uma favorável oportunidade de ganho real do investimento aliado com redução de custos no consumo de energia elétrica durante a vida útil do sistema.

### Agradecimentos

Agradecemos a superintendência da INFRAERO no Aeroporto de Teresina pela disponibilidade dos dados utilizados no desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2015.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 517 de 11 de dezembro de 2012. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2012.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2015.
- CRUZ, José Luiz Cardoso. Geração Distribuída. Revista o setor elétrico, São Paulo, 93.ed, out. 2013.
- COGEN, Associação da Indústria de Cogeração de Energia. Inserção da Energia Solar no Brasil. São Paulo, 2012.
- CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo. Energia Solar Princípios e Aplicações, Rio de Janeiro, 2006.
- CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 12 mai. 2015.
- CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 12 mai. 2015.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional - BEN, ano base 2015, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em: 17 nov. 2016.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Nota técnica sobre Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira, Rio de Janeiro, 2012.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª edição, São Paulo, 2017.
- MME, Ministério de Minas e Energia. Relatório Técnico 37 - Perfil do Quartzzo, 2009. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27\\_RT37\\_Perfil\\_do\\_Quartzzo.pdf/3ea3802c-8da9-4012-a246-c722d750de1f](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27_RT37_Perfil_do_Quartzzo.pdf/3ea3802c-8da9-4012-a246-c722d750de1f)>. Acesso em: 12 mai. 2016.
- NEO SOLAR ENERGIA. Loja Virtual. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>> Acesso em: 12 mai. 2016.
- ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em <<http://www.ons.com.br/>>. Acesso em 10 mai. 2015.
- PORTAL SOLAR. Disponível em: <[www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html](http://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html)> Acesso em: 12 mai.2015.
- SWERA, Solar and Wind Energy Resource Assessment. Disponível em: <<http://maps.nrel.gov/swera>>. Acesso em 11 mai. 2015.

### STUDY OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY FOR IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN UNIT CONSUMER AT THE TERESINA AIRPORT IN THE STATE OF PIAUÍ.

**Abstract.** *This article has as object the study of the viability of implantation of the electric energy generation through of photovoltaic panels. How to reduce costs in electric energy, optimizing applied investments, scenario of tariff readjustments and limitation of the national generation electric matrix? The hypothesis was to size and budget the photovoltaic generation system compatible with the monthly demand and consumption history of the unit under study, comparative analysis of consumption, generation, compensation, monthly billing, rate and time of return on investment. The objective was to analyze the technical and economic viability of implementation of a photovoltaic system connected to the distribution network of the local utility. The method used was the bibliographical research, normative, surveys in specific databases to obtain the variables and the case study in the consumer unit of the Teresina / Senator Petrônio Portella Airport in Teresina-PI. The theoretical reference used was CRESESB. The result of the study was the design of a solar generator with a power of 62,422.75 Wp, 25 years of useful life, for full service to the monthly consumption, with the investment forecast in the amount of R \$ 449,691.26, time to return the investment between 5.7 and 8.10 years with percentage reduction in the monthly energy bill in the range of 58.71% to 69.65% for the most critical scenario and 83.32% to 98.85% for the more favorable scenario, considering future reduction of the ICMS rate in generation. It was concluded that the implementation of the alternative source of solar energy in the unit under study in the city of Teresina-PI, represents a favorable opportunity for real gain of the investment, together with the reduction of costs in the consumption of monthly electricity over the life of the system.*

**Key words:** Solar Energy, Photovoltaic, Generation.