

# ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM PRÉDIOS PÚBLICOS DE SOBRAL-CE

**Cleiton Galvão de Mesquita Furtado** – cleitongmfurtado@gmail.com

**Audelis de Oliveira Marcelo Júnior** – audelisjr@yahoo.com.br

**Teomar Filho de Brito Ramos** – teomar\_filho@hotmail.com

Universidade Estadual Vale do Acaraú, Curso de Engenharia Civil

**Enio Pontes de Deus** – epontes@ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

**Resumo.** *Embora se trate de uma fonte promissora que tem crescido no mundo inteiro, o uso da tecnologia fotovoltaica no abastecimento energético de prédios públicos brasileiros ainda está muito aquém do potencial de geração existente no país. Assim, o objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de sistemas de energia solar fotovoltaica para abastecimento do consumo energético de prédios públicos de Sobral, no Ceará. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o funcionamento e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos; em seguida, a partir dos dados referentes ao consumo mensal médio dos prédios, foram simulados quatro sistemas fotovoltaicos com distintas faixas de potência. Por meio de pesquisa de mercado, foram estimados os preços médios dos componentes dos sistemas, gerando orçamentos preliminares para cada sistema proposto. Foi possível constatar que a implantação dessa tecnologia é vantajosa, proporcionando grandes economias mensais à administração municipal. Os sistemas do Grupo B apresentaram payback de aproximadamente 4 anos e Taxa Interna de Retorno (TIR) média de 28%. Já os sistemas do Grupo A, apresentaram payback de 7 anos e TIR média de 14%. Ademais, enquanto os sistemas do Grupo A só conseguirão abater cerca de 50% do valor da fatura energética em reais, os sistemas do Grupo B conseguirão abater mais de 95%. Com isso, conclui-se que, de modo geral, o investimento em sistemas do Grupo B é mais vantajoso que em sistemas do Grupo A. Além da redução de custos, o uso da energia solar fotovoltaica em prédios públicos de Sobral permitirá uma considerável diminuição das emissões de dióxido de carbono, podendo tornar a iniciativa uma referência para os demais municípios do Brasil.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar Fotovoltaica, Viabilidade Econômica, Administração Pública.*

## 1. INTRODUÇÃO

A constante evolução da demanda por eletricidade e a escassez dos recursos naturais utilizados em sua geração têm conduzido a sociedade a repensar a matriz elétrica mundial. Nesse contexto, o investimento em energias renováveis afirma-se como uma urgência.

A energia solar fotovoltaica é aquela obtida diretamente a partir da conversão da luz solar em eletricidade. Com elevado tempo de vida útil, rápido retorno do investimento e preços cada vez mais acessíveis, é uma fonte limpa que tem crescido no mundo inteiro, configurando-se como uma solução extremamente eficaz para redução de custos. Com valores de insolação diária entre 4.500 e 6.000 Wh/m<sup>2</sup>, o Brasil poderá tornar-se um dos líderes mundiais no emprego dessa tecnologia. (Villalva, 2012).

No Brasil, as despesas com energia elétrica têm considerável impacto nas contas públicas, variando de acordo com sua utilização e distribuição. Com a redução da geração hidráulica, recorrente em períodos de seca, faz-se necessário o acionamento de usinas termelétricas para suprimento energético, elevando, assim, as tarifas de energia elétrica. Na maioria dos municípios brasileiros, a inexistência de estudos e programas de eficiência energética nas edificações públicas também ajuda a elevar os custos com eletricidade. Isso pode apresentar-se extremamente dispendioso para a administração pública, limitando, e muitas vezes impedindo, investimentos em outras áreas também prioritárias.

Embora a Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tenha tornado mais viável financeiramente a produção da própria energia, o uso de energia solar para abastecimento dos prédios públicos brasileiros ainda está muito aquém do potencial de geração existente no país. Dados da ANEEL apontam que a geração distribuída de energia solar fotovoltaica nos prédios públicos brasileiros encerrou o ano de 2018 com 16,88 MW de potência instalada, correspondendo apenas a menos de 3% da potência total produzida no país. Embora o Ceará seja o sexto estado do país com maior potência instalada (25,29 MW), apenas 5,24% dessa energia é destinada ao poder público. (ANEEL, 2019).

Desse modo, o principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de sistemas fotovoltaicos para abastecimento do consumo energético de prédios públicos de Sobral, no Ceará.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Recurso Solar e Conversão Fotovoltaica

A estimativa do recurso solar é o principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Para isso, sugere-se a consulta a calculadoras solares e mapas de insolação, organizados a partir de dados obtidos por estações meteorológicas em diversas localizações do globo terrestre. Os projetos de sistemas fotovoltaicos geralmente exigem uma insolação diária de no mínimo 3 a 4 kWh/m<sup>2</sup>, valores estes disponíveis para quase todas as áreas entre os trópicos. (Pinho *et al.*, 2008).

O elemento fundamental para a conversão da radiação solar em eletricidade é a célula fotovoltaica. Elas são compostas por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior. As células possuem ainda uma camada de material antirreflexivo, fundamental para evitar a reflexão e aumentar a absorção de luz pela célula. (Villalva, 2015).

Uma vez que a tensão e a corrente de saída em uma célula fotovoltaica são ínfimas, é necessário que várias células sejam agrupadas para que os valores obtidos se adequem às aplicações demandadas. Essa associação de células origina os módulos fotovoltaicos. A combinação destes módulos, em série e/ou em paralelo, forma os painéis fotovoltaicos.

A principal característica elétrica de um módulo fotovoltaico é sua potência de pico. Expressa em Wp (Watt-pico), seu valor representa a máxima potência que o módulo pode fornecer sob determinadas condições padrão de teste.

É importante ressaltar que o projeto de um sistema fotovoltaico deve verificar o local em que este será instalado, identificando eventuais obstáculos que possam sombrear os módulos e reduzir a geração do sistema.

Outro fator a ser observado é o posicionamento dos módulos. Para instalações localizadas no hemisfério Sul, a melhor geração de energia ocorre quando a face dos módulos está apontada para o Norte Verdadeiro, com inclinação obedecendo à latitude do local. Essa inclinação garante que os raios solares incidam perpendicularmente na superfície dos módulos.

Os sistemas conectados à rede elétrica, também conhecidos como *on-grid*, são aqueles que possuem conexão ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Esses sistemas geram energia para abastecimento próprio, podendo reduzir ou zerar o consumo da rede pública e até mesmo injetar nesta eventuais excedentes.

### 2.2 Regulamentação Vigente

A Geração Centralizada é o principal modo pelo qual se produz energia elétrica no Brasil. Essa modalidade caracteriza-se pelo uso de grandes usinas, que, por necessitarem de áreas estratégicas, são construídas em locais distantes dos consumidores. A Geração Distribuída, por seu turno, é definida pelo uso de geradores descentralizados, instalados nas próprias unidades consumidoras ou em suas proximidades. Essa modalidade permite a produção de eletricidade em locais onde não seria possível a instalação de uma usina geradora convencional.

Em 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa (RN) nº 482, estabelecendo as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Foi estabelecido ainda o sistema de compensação de energia elétrica, também conhecido como Net Metering, no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Assim, essa inovação permitiu ao consumidor brasileiro a geração de sua própria energia, acumulando créditos de energia nos períodos em que a geração for maior do que o consumo. Para isso, o ponto de instalação e o ponto de consumo devem estar situados na mesma área de concessão ou permissão. (ANEEL, 2012).

Essa resolução foi revisada com a publicação da Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, que trouxe inovações imprescindíveis para a viabilidade dos sistemas propostos neste trabalho. Com isso, foram reduzidos alguns entraves regulatórios, e a produção da própria energia passou a ser mais viável financeiramente. Para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, essa resolução apresenta duas classificações: microgeração distribuída, caracterizada por uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW; e minigeração distribuída, caracterizada por uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada entre 75 kW e 5 MW.

Além disso, essa alteração introduziu ainda o chamado autoconsumo remoto. Com ele, os créditos gerados por uma unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída podem ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades consumidoras (distantes do ponto de geração) de titularidade de uma mesma Pessoa Física ou Jurídica. Isso possibilita, por exemplo, que residências urbanas sem telhado instalem sistemas de geração fotovoltaica em terrenos remotos. A RN ANEEL 687/2015 trouxe ainda a geração compartilhada, possibilitando que diversos consumidores, por meio de consórcio ou cooperativa, utilizem a energia gerada por micro ou minigeração distribuída

para abatimento no consumo dos consorciados ou cooperados. Outra inovação foi a geração em condomínio, na qual a energia gerada pode ser dividida entre os moradores de um condomínio em cotas por eles estabelecidas.

## **2.2 Tarifação**

As unidades consumidoras do Ambiente de Contratação Regulada podem ser classificadas em dois grupos tarifários: A e B. Composto por unidades consumidoras atendidas em tensão acima de 2300 V, o Grupo A possui tarifa binômica (em função do consumo e da demanda faturável). Enquadram-se nesta classificação unidades como grandes comércios, indústrias, hospitais, universidades, entre outros. O Grupo B é composto por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2300 V, apresentando tarifa monômica (em função apenas do consumo). Neste grupo, estão as residências e pequenos comércios.

A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL regulamenta os postos tarifários, importantes para que se permita a contratação e o faturamento da energia e da demanda de potência diferenciada ao longo do dia. No Estado do Ceará, esses postos tarifários são: ponta, de 17:30 às 20:29; fora ponta, de 21:30 às 16:29; e intermediário, de 16:30 às 17:29 e de 20:30 às 21:29. Assim, por ser um período em que há alta demanda por eletricidade, o posto tarifário ponta possui uma tarifação bem maior que os demais. (ANEEL, 2010).

Quanto à compensação elétrica, para unidades consumidoras do Grupo A, a energia injetada deverá ser utilizada prioritariamente para abater o consumo mensal no mesmo período (ponta ou fora ponta). Caso haja excedentes, esse saldo será utilizado para abater o consumo no outro posto tarifário, aplicando-se um fator de ajuste em função dos valores das tarifas de ponta e fora ponta. Esses valores, como mencionado, apresentam enorme disparidade, limitando consideravelmente o fator de ajuste. Desse modo, como praticamente não há geração no período de ponta, a compensação nesse posto tarifário é menos viável, pois será necessária uma enorme geração complementar que, quando submetida ao fator de ajuste, consiga atender o consumo desejado. (ANEL, 2016).

Ressalta-se que, para consumidores do Grupo B, mesmo que a energia injetada na rede seja superior à energia consumida, deverá ser pago o custo de disponibilidade, valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico), 100 kWh (trifásico). Analogamente, para consumidores do Grupo A, deverá ser paga a parcela correspondente à demanda contratada. (ANEEL, 2016).

## **3. METODOLOGIA**

A partir das informações apresentadas no Referencial Teórico, foi realizada a coleta dos dados necessários para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos que possam suprir o consumo energético de prédios da Prefeitura de Sobral, no Ceará. Foram avaliados parâmetros como o recurso solar do município, o histórico de consumo dos prédios e o preço de componentes de sistemas fotovoltaicos.

Este trabalho optou por setorizar o consumo de energia elétrica de prédios da gestão municipal, simulando quatro sistemas com distintas finalidades (escolas, mercado público, entre outros), faixas de potência e conseqüentemente investimentos. Dessa maneira, será possível traçar uma análise dos aspectos de cada sistema, apontando a opção mais adequada à disponibilidade orçamentária da Prefeitura.

### **3.1 Avaliação do Recurso Solar**

O cálculo da irradiação solar diária média do local de instalação do sistema foi feito por meio do software SunData 3.0, desenvolvido pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB).

Em Sobral, no Ceará, os valores aproximados de latitude e longitude são, respectivamente, 03°41'10" S e 40°20' 59" W. Inserindo-se esses dados na ferramenta SunData, é obtida uma irradiação solar diária média mensal para a inclinação de 4° equivalente a 5,50 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Isso significa dizer que, para um espaço de 1 m<sup>2</sup>, a energia dos raios solares de Sobral é de 5,50 kWh em um dia.

### **3.2 Histórico de Consumo**

Por se tratar de uma experiência pioneira na administração pública do município, este trabalho optou por uma setorização em quatro sistemas, priorizando segmentos estratégicos para a Prefeitura de Sobral.

Os Sistemas I e II são compostos por unidades consumidoras do Grupo B. O Sistema I abrange as unidades consumidoras do Mercado Público, vinculado à Secretaria Municipal de Trabalho e Desenvolvimento Econômico. O Sistema II contempla 21 escolas da rede municipal de ensino em diversos bairros e distritos.

As unidades consumidoras dos Sistemas III e IV são pertencentes ao Grupo A. O Sistema IV abrange o Palácio Municipal.

A Tabela 1 apresenta o consumo energético anual de cada um dos sistemas propostos.

Tabela 1 – Consumo anual dos sistemas propostos (2018)

SISTEMA	SETOR	UCs	GRUPO	CONSUMO (KWH)		VALOR FATURADO	INVESTIMENTO
				PONTA	FORA PONTA		
I	Mercado Público	4	B	255.733		R\$ 192.311,67	R\$ 723.956,00
II	Educação	21	B	623.960		R\$ 497.736,60	R\$ 1.774.005,00
III	Centro de Convenções	1	A	23.313	211.700	R\$ 179.037,27	R\$ 600.752,00
IV	Palácio Municipal	1	A	87.845	725.271	R\$ 558.078,48	R\$ 2.069.672,50

### 3.3 Escolha do Módulo Fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema, verificaram-se alguns dos principais módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil (Tab. 2). Os critérios adotados para a escolha dos módulos foram potência, eficiência e preço.

Tabela 2 – Módulos fotovoltaicos pesquisados

FABRICANTE	MODELO	POTÊNCIA (WP)	EFICIÊNCIA (%)	PREÇO
BYD	BYD 335PHK-36	335	17,00	R\$ 806,99
Canadian Solar	CS3U-360P	360	18,15	R\$ 895,99
QCELLS	Q.POWER L-G5 330	330	16,90	R\$ 760,00
QCELLS	Q.PEAK L-G5.0.G 365	365	18,80	R\$ 938,00
Trina	TSM-DE15MII-400W	400	19,70	R\$ 997,50

O módulo Trina TSM-DE15MII-400W apresentou a maior relação custo-benefício entre os modelos pesquisados. Este produto tem seu desempenho aprovado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e está em conformidade com o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Com isso, pode-se calcular a geração mensal de cada módulo por meio da seguinte equação:

$$Gm = I * \eta * A * (1 - f) * d \quad (1)$$

Em que:

- $Gm$  é a geração média mensal, em quilowatts-hora (kWh);
- $I$  é a irradiação média mensal na região, em quilowatt-hora por metro quadrado a cada dia (kWh/m<sup>2</sup>.dia);
- $\eta$  é a eficiência do módulo;
- $A$  é a área de um módulo, em metros quadrados (m<sup>2</sup>);
- $f$  são as perdas do sistema;
- $d$  é a quantidade de dias por mês.

De acordo com a folha de especificações do módulo adotado, sua área é de 2,03 m<sup>2</sup>. Serão considerados 20% de perdas na geração. Esse percentual é estimado a partir de fatores como perdas na conversão de energia, aumento da temperatura dos módulos, acúmulo de sujeira, perdas nos inversores e no cabeamento, entre outros.

Assim, a geração mensal de um módulo será igual a 52,78 kWh.

### 3.4 Dimensionamento dos Sistemas

O dimensionamento dos sistemas é dado a partir dos valores de consumo energético obtidos na Tabela 1 e da geração mensal por módulo.

A determinação dos arranjos deu-se a partir de consulta às especificações técnicas dos inversores e dos módulos, respeitando-se a quantidade máxima de módulos que podem ser associados em série e em paralelo para cada inversor.

Deve-se ressaltar que, embora a energia gerada supere a energia consumida, o custo de disponibilidade ainda deverá ser pago em sistemas do Grupo B. Assim, esse valor (em kWh) geralmente é descontado no dimensionamento. Entretanto, este trabalho optou por manter o referido valor, de modo a estabelecer uma projeção de consumo.

Como já exposto, unidades consumidoras do Grupo A possuem limitações na compensação do consumo em horário de ponta. Desse modo, os sistemas desse grupo serão dimensionados de modo a abater apenas o consumo no posto tarifário fora de ponta, que corresponde a cerca de 90% do consumo total.

Tabela 3 – Potências e Arranjos Propostos

SISTEMA	POTÊNCIA (KWP)	MÓDULOS	INVERSORES	ARRANJO
I	163,20	408	4 WEG SIW500H - ST036 de 36 kW	6 arranjos ligados em paralelo compostos por 17 módulos em série
II	396,00	990	6 WEG SIW500H - ST060 de 60 kW	11 arranjos ligados em paralelo compostos por 15 módulos em série
III	134,40	336	2 WEG SIW500H - ST060 de 60 kW	12 arranjos ligados em paralelo compostos por 14 módulos em série
IV	462,00	1155	7 WEG SIW500H - ST060 de 60 kW	11 arranjos ligados em paralelo compostos por 15 módulos em série

Os sistemas deverão ser instalados preferencialmente em terrenos da gestão municipal que se adequem às condições necessárias. Há também a possibilidade de firmarem-se termos de cooperação com outras entidades, estabelecendo a cessão de áreas mediante cotas da energia produzida pela Prefeitura.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Orçamentos Preliminares

Após a definição dos modelos e das quantidades de módulos e inversores que compoem os geradores fotovoltaicos, foi realizada uma pesquisa de mercado que permitiu estimar o custo de implantação de cada sistema proposto.

Atualmente, para sistemas com potência superior a 100 kWp, os gastos com cabos, proteções, sistemas de fixação e outros componentes equivalem a cerca de R\$ 0,78/Wp, enquanto o custo com projeto e instalação é de aproximadamente R\$ 0,65/Wp. (Ideal, 2018).

Tabela 4 – Orçamentos Preliminares

SISTEMA	CUSTO TOTAL
I	R\$ 723.956,00
II	R\$ 1.774.005,00
III	R\$ 600.752,00
IV	R\$ 2.069.672,50

Embora não tenham sido considerados os custos com manutenção, salienta-se que os componentes de um sistema fotovoltaico só atingirão a vida útil estimada se houver a devida manutenção periódica e preventiva. Além disso, este trabalho optou por não considerar as trocas dos inversores, que, de acordo com os fabricantes, possuem vida útil estimada de 10 anos.

### 4.2 Payback

O Payback (ou tempo de retorno) é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento em que o fluxo de caixa zera, passando a gerar lucros.

Para os Sistemas I e II, pertencentes ao Grupo B, foi adotada uma tarifa inicial de R\$ 0,76/kWh. Para os Sistemas III e IV, pertencentes ao Grupo A, a tarifa fora de ponta equivale a R\$ 0,39778/kWh; e a tarifa ponta, R\$ 1,77068/kWh. Para todos os sistemas, foi considerado um aumento tarifário de 2% ao ano. Foi considerada ainda uma depreciação de 0,8% por ano na geração dos módulos fotovoltaicos escolhidos.

Para cada sistema, a economia gerada será somada ao fluxo de caixa, que começou negativo. Em seguida, esse fluxo de caixa segue crescendo, até que o investimento inicial seja pago e o sistema passe a gerar lucros.

A Figura 1 apresenta graficamente o desempenho de cada sistema proposto ao longo de 25 anos.

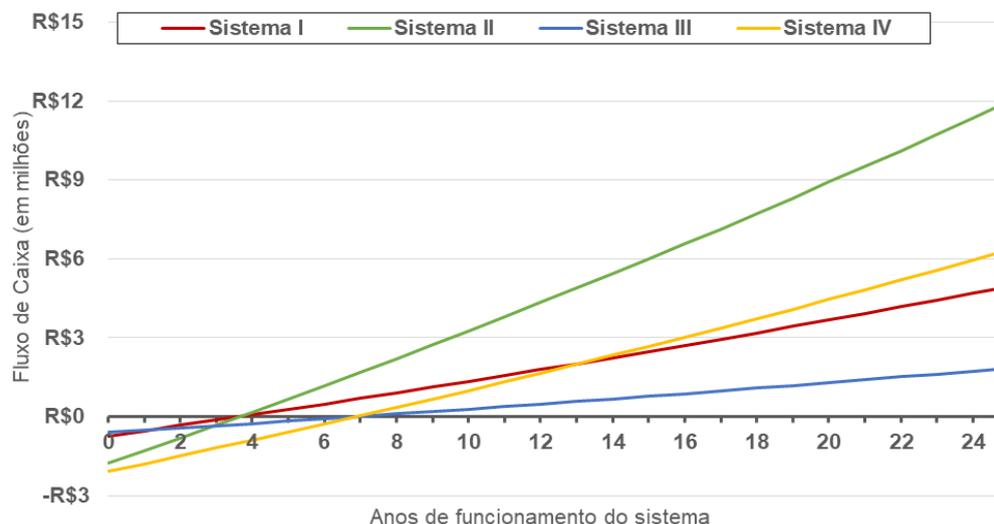


Figura 1 – Fluxos de Caixa dos Sistemas Propostos

A análise da figura permite constatar que o tempo de retorno do investimento dos Sistemas I e II é de cerca de 4 anos. Para os Sistemas III e IV, que possuem tarifa inferior, o *payback* é de aproximadamente 7 anos.

Assim, de acordo com o sistema compensação de energia elétrica vigente, o Sistema I gerará uma economia mensal inicial de R\$ 16.366,02; o Sistema II, R\$ 39.711,67; o Sistema III, R\$ 7.054,26; e o Sistema IV, R\$ 24.249,03.

Pode-se constatar ainda que os sistemas do Grupo B conseguirão abater mais de 95% do total da fatura energética em reais, sendo pagos apenas os valores referentes aos custos de disponibilidade. Os sistemas do Grupo A, por sua vez, só conseguirão abater cerca de 50% do total em reais da fatura energética, pois sua tarifação é binômica (em função do consumo e da demanda) e não permite a compensação da energia consumida em horário de ponta.

#### 4.3 Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno

O Valor Presente Líquido (VPL) é um método que tem como objetivo calcular o valor presente de uma série de pagamentos futuros, descontando uma taxa de custo de capital estipulada. Esse cálculo é fundamental para determinar a viabilidade de um investimento, pois, naturalmente, o dinheiro recebido no futuro não tem o mesmo valor que no tempo presente. Um VPL positivo indica que o projeto é financeiramente viável, enquanto um VPL negativo indica que o investimento não é viável. Seu cálculo é dado por:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{Rt}{(1 + TMA)^t} - I_0 \quad (2)$$

Em que:

- $I_0$  é o investimento inicial;
- $Rt$  é a receita líquida anual do investimento, neste caso a economia anual gerada pelos sistemas;
- $n$  é o tempo de duração do sistema, que é de 25 anos;
- $TMA$  é a Taxa Mínima de Atratividade, que significa uma taxa mínima de juros anual que um investimento deve obter.

Neste trabalho, será considerada uma TMA de 12% ao ano. Por ser superior à média da Taxa Selic nos últimos 5 anos, esse valor conferirá mais segurança ao investimento.

Outro importante método de análise de viabilidade é a Taxa Interna de Retorno (TIR). Esse valor indica a taxa de desconto para a qual o VPL iguala-se a zero. Assim, para que o investimento seja viável, a TIR deverá ser superior à TMA. Caso contrário, o projeto será considerado inviável.

A fórmula da TIR é:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Rt}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (3)$$

Por meio de planilhas eletrônicas foi possível calcular os VPL e as TIR dos sistemas propostos, que se mostraram economicamente viáveis (Tab. 5).

Tabela 5 – Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno

SISTEMA	VALOR PRESENTE LÍQUIDO	TAXA INTERNA DE RETORNO
I	R\$ 948.449,09	28,24%
II	R\$ 2.284.036,77	27,97%
III	R\$ 120.106,37	14,66%
IV	R\$ 408.278,16	14,62%

#### 4.4 Aspectos Ambientais

A geração de eletricidade é uma das atividades que mais emitem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no Brasil. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, a média do fator de emissão no Sistema Interligado Nacional (SIN) nos últimos cinco anos foi de aproximadamente 0,1017 kg/kWh. Assim, por meio da multiplicação do consumo pelo fator de emissão, é possível estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> atualmente emitida e, consequentemente, a quantidade de CO<sub>2</sub> evitada após a implantação de cada sistema fotovoltaico proposto (Tab. 6).

Tabela 6 – Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas

SISTEMA	MÉDIA ANUAL DAS EMISSÕES EVITADAS	EMISSÕES EVITADAS AO FINAL DOS 25 ANOS
I	23.905,62 kg	597,64 toneladas
II	58.006,29 kg	1.450,16 toneladas
III	19.686,98 kg	492,17 toneladas
IV	67.674,01 kg	1.691,85 toneladas

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados revelaram que a implantação dos sistemas propostos em Sobral-CE é vantajosa, gerando grandes economias mensais à administração municipal.

Os sistemas do Grupo B apresentaram payback de aproximadamente 4 anos e Taxa Interna de Retorno (TIR) média de 28%, superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12% ao ano. Já os sistemas do Grupo A apresentaram payback de 7 anos e TIR média de 14%, também superior à TMA adotada. Ademais, enquanto os sistemas do Grupo A só conseguirão abater cerca de 50% do valor da fatura energética em reais, os sistemas do Grupo B conseguirão abater mais de 95%. Com isso, conclui-se que, de modo geral, o investimento em sistemas do Grupo B é mais vantajoso que em sistemas do Grupo A.

Contudo, embora possua um rápido tempo de retorno, o elevado investimento inicial ainda é um entrave para a consolidação dessa fonte na administração pública. Desse modo, além da conscientização dos gestores, a implementação de iniciativas dessa natureza exigirá incentivos que possibilitem seu financiamento.

Além da redução de custos ao erário, a implantação de sistemas fotovoltaicos gerará inúmeros benefícios ambientais, pois é uma fonte limpa e abundante. Essa tecnologia permitirá uma considerável redução das emissões de dióxido de carbono, amenizando os impactos ambientais negativos e garantindo ao município de Sobral a possibilidade de obtenção de certificações ambientais.

Por fim, cabe mencionar que a adesão dessa tecnologia pela Prefeitura de Sobral proporcionará oportunidades de pesquisa para as instituições de ensino locais, podendo também despertar interesse nos demais municípios do Ceará.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2016. Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2ª ed. – Brasília: ANEEL.
- ANEEL, 2019. Relatórios de Unidades Consumidoras com Geração Distribuída.
- ANEEL, 2010. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010
- ANEEL, 2012. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012
- ANEEL, 2015. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015
- Instituto Ideal, 2018. O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A. (Organizadores), 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL – CRESESB.
- Villalva, M. G., 2015. Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede.

### TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN SOBRAL-CE PUBLIC BUILDINGS

**Abstract.** *Although it is a promising source that has grown worldwide, the use of photovoltaic technology in the energy supply of Brazilian public buildings is still far short of the existing generation potential in the country. Thus, the general objective of this work is to analyze the technical, economic and environmental feasibility of implementing photovoltaic solar energy systems to supply the energy consumption of Sobral public buildings in Ceará. For this, a literature review was performed on the operation and sizing of photovoltaic systems; Then, based on the data on the average monthly consumption of the buildings, four photovoltaic systems with different power ranges were simulated. Through market research, the average prices of the system components were estimated, generating preliminary budgets for each proposed system. It was found that the implementation of this technology is advantageous, providing large monthly savings to the municipal administration. Group B systems had paybacks of approximately 4 years and an average Internal Rate of Return (IRR) of 28%. Group A systems had a 7-year payback and an average IRR of 14%. In addition, while Group A systems will only be able to slaughter about 50% of the energy bill in reais, Group B systems will be able to slaughter more than 95%. As a result, it is concluded that investment in Group B systems is generally more advantageous than in Group A systems. In addition to the cost savings, the use of photovoltaic solar energy in Sobral public buildings will allow a considerable reduction of carbon dioxide emissions, which may make the initiative a reference for other cities in Brazil.*

**Key words:** *Photovoltaic Solar Energy, Economic Feasibility, Public Administration.*