

## ESTUDO DE REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR – CÂMPUS CURITIBA

*Larissa Barbosa Krasnhak<sup>1</sup>, Jair Urbanetz Junior<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> PPGEC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, [larissabarbosakrasnhak@gmail.com](mailto:larissabarbosakrasnhak@gmail.com)

<sup>2</sup> PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, [urbanetz@utfpr.edu.br](mailto:urbanetz@utfpr.edu.br)

### RESUMO:

Este trabalho apresenta uma proposta de redução de consumo de energia no bloco I-J do campus Curitiba da UTFPR com a substituição de alguns equipamentos utilizados atualmente no sistema de iluminação. O estudo também apresenta a expectativa de geração de energia de um sistema solar fotovoltaico integrado ao bloco I-J, o qual é capaz de gerar energia elétrica com a utilização de módulos fotovoltaicos, contribuindo com a eficiência energética do edifício.

**Palavras chave:** energia solar fotovoltaica, eficiência energética, construções sustentáveis.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2018, o Brasil gerou 587.962 GWh de energia em 2017, acréscimo de 1,6% em relação ao ano de 2016. Desse total de geração, 832 GWh advindos da geração fotovoltaica, que apresentou um acréscimo de 875% em relação ao ano anterior, o maior percentual de aumento entre as fontes energéticas [1].

Até o final do século passado, a predominância da capacidade fotovoltaica mundial instalada era proveniente dos sistemas isolados. As aplicações no Brasil visavam atender sistemas remotos viabilizados através de programas federais como o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) e posteriormente o LUZ PARA TODOS [2]. Porém, ao longo da última década, a redução de custos e programas de incentivo, possibilitou a inserção em sistemas conectados à rede, de forma que em 2012 cerca de 99% da potência acumulada total correspondia a este tipo de aplicação. Destes, mais de 60% são de sistemas distribuídos [3].

A expectativa é que essa tendência de crescimento continue e conforme a projeção da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a capacidade fotovoltaica distribuída instalada no Brasil até o ano de 2050 será 75 GWp [3].

A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo. Com a distribuição da energia ocorrem perdas que ocasionam

o aumento nos custos de produção e causam danos às concessionárias e ao meio ambiente. Devido a esses fatores, uma boa estratégia para solucionar alguns dos problemas enfrentados pelas concessionárias e pelo meio ambiente é aumentar a eficiência energética, pois ela reduz a taxa de crescimento de demanda por energia sem diminuir os bens e serviços fornecidos [4].

#### 1.1. Sistemas de iluminação artificial

O desempenho nas atividades, o estado emocional e o bem-estar das pessoas está diretamente relacionado com a qualidade da luz nas edificações. Porém, alguns estudos realizados no Brasil indicam que existem problemas frequentes nos sistemas de iluminação artificial, dentre eles: iluminação em excesso, falta de aproveitamento da iluminação natural, uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa, falta de comandos nas luminárias, ausência de manutenção e hábitos de uso inadequados [5].

A Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo realizada por [6] identificou os percentuais de cada sistema no consumo de energia das Instituições de Ensino. O sistema de iluminação artificial representa 26% desse consumo e por apresentar grande parte do consumo de energia, possui grande potencial para aumentar a eficiência nessas edificações, Figura 1 [6].

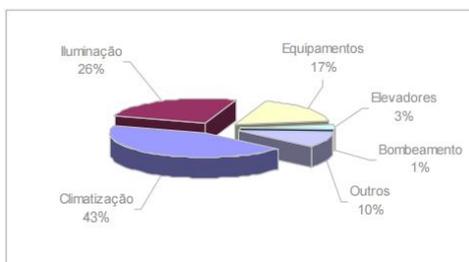


Figura 1: Consumo de energia em Instituições de Ensino

Fonte: [6]

A eficiência dos sistemas de iluminação artificial está diretamente ligada às características técnicas, ao rendimento e eficiência de um conjunto de elementos, dentre eles: lâmpadas, luminárias, reatores, circuitos de distribuição e controle, iluminação natural, cores das superfícies internas e mobiliário [5].

## 1.2. Sistemas fotovoltaicos

Sistema Fotovoltaico (SFV) é um conjunto de elementos necessários para converter diretamente energia solar em energia elétrica. O processo de conversão ocorre pelo efeito fotovoltaico, no qual as células fotovoltaicas, dispositivos fabricados com um material semicondutor, recebem os fótons despertando os elétrons. O movimento dos elétrons, presente no material semicondutor, gera corrente elétrica e consequentemente eletricidade [7]. O processo ocorre de modo silencioso, sem emitir gases, sem necessidade de um operador no sistema e somente a componente luminosa da energia solar (fótons) é utilizada na conversão fotovoltaica [8].

Os SFVs podem ser classificados em duas categorias principais: Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI) e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR). Nos dois casos pode operar com apenas uma fonte energética ou mais de uma fonte, denominado sistema híbrido. Para definir qual sistema será utilizado, deve ser feito um estudo levando em consideração qual a aplicação, a disponibilidade de recursos, as restrições de cada projeto (investimento inicial, custo de manutenção, área ocupada pelo SFV, etc.), entre outros [7].

Os SFVIs são normalmente instalados em locais que não possuem acesso à rede elétrica e necessitam de um elemento que armazene energia elétrica. Os equipamentos básicos do sistema são: painel

fotovoltaico, controlador de carga, bateria e inversor [9].

Atualmente, os SFVCRs correspondem, em escala global, a mais de 95% do total de FV instalados [10]. Os SFVCRs são basicamente constituídos pelo painel FV, inversor e medidores, Figura 2. Segundo [9], a rede elétrica da concessionária é vista como elemento armazenador, pois toda a energia gerada é inserida em paralelo com a energia da rede. O sistema apresenta diversas vantagens, sendo as principais: elevada produtividade (toda energia gerada é utilizada) e ausência de baterias, que são consideradas um elo frágil no SFVI devido à baixa vida útil se comparada aos módulos FV e aos inversores.

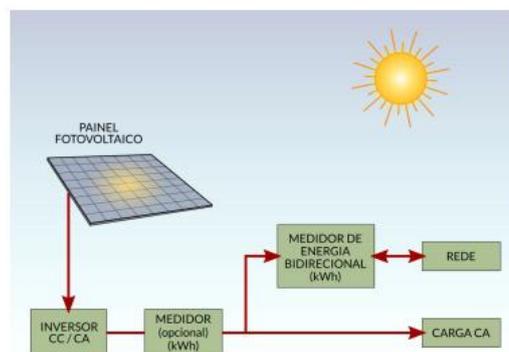


Figura 2: Esquema de um SFVCR

Fonte: [11]

## 2. OBJETIVO

Reduzir o consumo de energia do sistema de iluminação artificial do bloco I-J da sede Ecoville, campus Curitiba, da UTFPR. Também elaborar o pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica na sede da Universidade.

## 3. MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho foi dividida em dois casos de estudos, um referente ao sistema de iluminação e outro a geração fotovoltaica, descritos nos itens 3.1 e 3.2.

A escolha do bloco I-J deu-se pelo fato da edificação ser utilizado pelos alunos e professores do Departamento de Construção Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UTFPR. A edificação possui 4.646 m<sup>2</sup> de área construída e foi inaugurada em 2011, possui salas e laboratórios

multidisciplinares, salas para os professores, salas de aula e um terraço agradável.

### 3.1. Caso de estudo no sistema de iluminação

Os pontos de destaque para atender o objetivo de reduzir o consumo no sistema de iluminação foram:

- Identificar e quantificar os equipamentos de iluminação artificial existentes na edificação;
- Identificar problemas recorrentes;
- Sugerir o *retrofit* em equipamentos que reduzam o consumo de energia;
- Proporcionar um fluxo luminoso similar ao atual.

Com a leitura e interpretação dos projetos e um levantamento visual e fotográfico *in loco*, foi possível a identificação dos principais equipamentos de iluminação utilizados atualmente. Verificou-se que o bloco segue um padrão de iluminação. Dentro desse padrão, identificou-se a presença em todas as salas e áreas de circulação do bloco a luminária de sobrepor para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W com refletor e aletas refletivas fabricados em alumínio, sendo a luminária mais utilizada. O conjunto que compõe a luminária de sobrepor possui 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 com potência nominal de 32W e um reator eletrônico. O conjunto consome 69W, conforme especificação dos fabricantes, e o fluxo luminoso corresponde a 4.700 lm, Figura 3.



Figura 3: Luminária de sobrepor

Fonte: Os autores

Os refletores orientáveis estão presentes nos laboratórios multidisciplinares, dispostos na altura indicada de 4 metros, Figura 4. Cada refletor é composto por uma lâmpada de vapor metálico com potência de 250W e por um reator. O conjunto consome 264W e possui fluxo luminoso de 18.000 lm.



Figura 4: Refletor

Fonte: Os autores

Em todos os banheiros, a luminária circular de embutir com 2 lâmpadas fluorescentes compactas está presente, Figura 5. As lâmpadas fluorescentes compactas utilizadas nesta luminária possuem potência de 20W e fluxo luminoso igual a 1.200 lm.



Figura 5: Luminária circular

Fonte: Os autores

A partir das luminárias e equipamentos auxiliares especificados anteriormente, foi possível elaborar a Tabela 1, que apresenta a quantidade de luminárias existentes na edificação e a potência total instalada.

Tabela 1: Quantidade e potência das luminárias

	Quantidade	Potência unitária* (W)	Potência total (W)
Luminária de sobrepor	579	69	39.951
Refletor	38	264	10.032
Luminária circular	22	40	880

\*Potência das lâmpadas mais reator

Fonte: Os autores

Com a quantificação dos principais equipamentos de iluminação, chegou-se ao número total de luminárias existentes e a carga instalada. Com a identificação das principais características do sistema de iluminação artificial, iniciou-se a pesquisa para encontrar soluções que reduzam o consumo de energia.

A fim de tornar o presente estudo mais prático e identificar a redução de consumo que o *retrofit* proporcionaria, foi criado um cenário de utilização do sistema de iluminação, pois não se teve acesso ao

consumo real da edificação, e o tempo para realização do estudo não foi suficiente para realizar esse tipo de medição. O cenário orienta que as salas de aula, demais salas e área de circulação utilizam 10 horas de iluminação diária e os laboratórios e banheiros 6 horas diárias. A consideração também define o uso em dias úteis, de segunda a sexta-feira e 22 dias úteis mensais.

Para as lâmpadas fluorescentes tubulares utilizadas nas luminárias de sobrepor, encontrou-se disponível no mercado lâmpadas LED que se encaixam perfeitamente na luminária e ainda, não necessitam de reator para o acionamento e nem alteração no sistema. A lâmpada LED, Figura 6, é mais eficiente que as lâmpadas fluorescentes utilizadas atualmente. O fluxo luminoso passaria de 4.700 para 4.200 lm, podendo ser similar, porém necessita estudos para avaliar [12].



Figura 6: Lâmpada tubular de LED

Fonte: [12]

O atual sistema consome 69W e com a substituição das lâmpadas por LED, o sistema consumiria 40W. Com redução de 42% no consumo de energia, a substituição por lâmpadas LED mais eficientes, além de ganho em durabilidade (as LED têm duração especificada em 40.000 horas e as fluorescentes 16.000 horas), garantem uma redução de 3,09 MWh no consumo mensal de energia.

Outra pesquisa foi realizada a fim de encontrar um equipamento que substitua os refletores utilizados, sendo a tecnologia LED mais adequada para a situação novamente. O refletor de LED encontrado, Figura 7, apresenta menor consumo de energia e fluxo luminoso de 19.500 lumens, superior ao fornecido pelo sistema atual, que é 18.000 lumens. Além disso, a durabilidade da lâmpada de vapor metálico varia de 5.000 a 20.000 horas, já para o refletor a estimativa são 50.000 horas [13]. A substituição traz uma economia de 321 kWh/mês e redução de 24% no consumo de energia.



Figura 7: Refletor de LED

Fonte: [13]

A lâmpada escolhida para substituição das lâmpadas das luminárias circulares presentes nos sanitários é de LED. A lâmpada fluorescente compacta utilizada atualmente possui 1.200 lm, porém, pelo fato da lâmpada de LED ser muito superior, considerou-se como substituta uma lâmpada de LED com potência de 9W e 900 lm, Figura 8 [14].



Figura 8: Lâmpada de LED

Fonte: [14]

A proposta de *retrofit* definida anteriormente propõe a substituição dos sistemas utilizados atualmente pela tecnologia LED. A Tabela 2 resume as diferenças de consumo de energia para o cenário estimado no sistema atual e na proposta de *retrofit*.

Tabela 2: Consumo de energia estimado

	Consumo estimado (kWh/mês)	
	Situação atual	Proposta de retrofit
Luminária de sobrepor	7.374	4.275
Refletor	1.324	1.003
Luminária circular	116	52
<b>Total</b>	<b>8.814</b>	<b>5.330</b>
<b>ECONOMIA:</b>	<b>3.484 kWh/mês</b>	<b>- 39%</b>

Fonte: Os autores

A estimativa é economizar aproximadamente 3.484 kWh/mês, uma redução de 39% no consumo de energia comparado ao sistema utilizado atualmente na edificação.

Além da redução no consumo de energia, a durabilidade também é outra grande vantagem, pois assim o custo de manutenção e operação reduziria, tendo em vista que as lâmpadas possuem vida útil muito superior as atuais. Na Tabela 3 é apresentada a durabilidade das lâmpadas especificada pelos fabricantes.

Tabela 3: Durabilidade das lâmpadas

	Durabilidade (horas)	
	Situação atual	Proposta de retrofit
Luminária de sobrepor	16.000	40.000
Refletor	20.000	50.000
Luminária circular	6.000	25.000

Fonte: [12], [13] e [14]

### 3.2. Caso de estudo da geração fotovoltaica

O ponto de partida para o estudo de pré-dimensionamento do sistema solar fotovoltaico conectado à rede foi identificar a cobertura do bloco I-J, a área disponível e as condições para instalação dos módulos. O telhado possui 3 águas e com o AutoCAD encontrou-se a área de cada uma e desvio azimutal em relação ao Norte de 64° Leste. Optou-se pela maior água, pois possui melhores condições para a implantação, e a inclinação do telhado favorece a instalação, não possui sombreamento e conta com a maior disponibilidade de área dentre as 3.

O módulo adotado para compor o sistema foi o HR-315P da marca ELCO, um modelo atualizado do módulo que está presente no SFVCR da sede Neoville da UTFPR [15]. Além disso, as células que compõe o módulo são de silício policristalino, tecnologia mais comercializada atualmente. O módulo possui potência especificada de 315 Wp e dimensões 1952x992x40mm. O painel compõe-se com 143 módulos, borda livre de 1,35m e 1,825m. Com o Google Earth foram encontradas as coordenadas da sede Ecoville (-25,44°, -49,35°), então foi encontrado no banco de dados do Projeto SWERA a coordenada que mais se aproxima do local (-25,43°, -49,37°). A distância entre as duas coordenadas é aproximadamente 2,22 km.

Da planilha global horizontal do Projeto SWERA foram retirados os dados de irradiação solar incidente na coordenada (-25,43°, -49,37°) e criada a estação UTFPR ECOVILLE no programa Radiasol. A próxima etapa foi encontrar os valores de irradiação no plano do painel fotovoltaico. Para isso, admitiu-se uma inclinação de 10° para a instalação do painel, mínima definida para autolimpeza através da chuva. No programa RADIASOL, foram inseridas as informações sobre as condições de instalação do painel, inclinação de 10° e o desvio azimutal de 64° Leste em relação ao Norte. Com o uso do programa obteve-se os valores de irradiação no plano do painel FV, Tabela 4.

Tabela 4: Irradiação solar diária no plano do painel

Irradiação solar diária em kWh/m <sup>2</sup> .dia												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
5,78	5,67	5,27	4,51	3,62	3,34	3,61	4,55	4,57	5,24	6,23	6,04	4,87

Fonte: Adaptado de [16]

Baseado na potência de 45.045 Wp (315Wp multiplicado por 143 módulos) e uma taxa de

desempenho de 75% obteve-se os valores de energia que o SFVCR geraria, utilizando a Equação 1.

$$E = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT} \cdot PR}{G} \quad (1)$$

45,045	Pfv - Potência do painel FV (kW)
4,87	Htot - Irradiação solar incidente no plano do painel (kWh/m <sup>2</sup> .dia)
0,75	PR - Performance ratio

Os dados de geração de energia mensal para o SFVCR estão descritos na Tabela 5, sendo a geração média mensal 4.935 kWh e anual 60 MWh.

Tabela 5: Expectativa de geração de energia

Htot=	Geração de energia (kWh/mês)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	6.053	5.364	5.519	4.571	3.791	3.385	3.781	4.765	4.632	5.488	6.314	6.326

Fonte: Adaptado de [16]

Por fim, para ilustrar o referido painel, foi criada uma imagem perspectiva com uma foto retirada do Google Earth. Na Figura 9 está ilustrado a situação atual da cobertura do bloco I-J e na Figura 911 uma perspectiva da cobertura da edificação com o painel FV proposto.

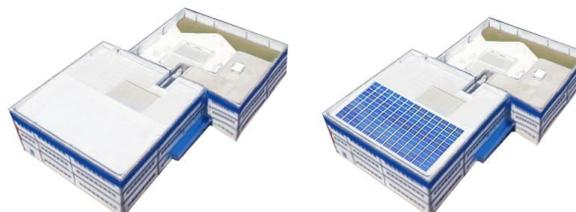


Figura 9 e 11: Cobertura do bloco I-J

Fonte: Adaptado de [17]

## 4. RESULTADOS

O presente estudo mostrou que a substituição das lâmpadas e refletores proporcionou para o cenário proposto uma redução de mais de 39% no consumo energético do sistema de iluminação da edificação. Além disso, outro aspecto relevante foi em relação à durabilidade das lâmpadas de LED propostas, no qual em determinado caso chega a ser 4 vezes mais durável que a lâmpada utilizada atualmente. Nesse sentido, os benefícios são diversos, dentre eles a redução de gastos com manutenção e reparo do sistema.

Visando aumentar a eficiência energética da Universidade, foi proposta a instalação de um SFVCR na cobertura do bloco analisado. Estima-se que o SFVCR é capaz de gerar em média 4.935 kWh/mês,

representando 60 MWh/ano, sendo que esta quantidade de energia representa 56% do cenário de consumo considerado para as lâmpadas existentes na edificação atualmente e 93% do consumo de energia do cenário considerado com as luminárias propostas no *retrofit*.

## 5. DISCUSSÃO

A iluminação artificial é responsável por grande parte do gasto energético das edificações, principalmente nas Instituições de Ensino. Diante disso, uma ótima alternativa para reduzir tais gastos com energia elétrica consiste em utilizar novas tecnologias de lâmpadas, as quais estão disponíveis com menor consumo energético e fluxo luminoso equivalente.

O SFVCR sugerido para a UTFPR está nos moldes da Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 da ANEEL, utilizando-se o sistema de compensação de energia, permitindo o beneficiamento de toda a Universidade.

## 6. CONCLUSÃO

Quando se observa a composição do *retrofit* no sistema de iluminação artificial em conjunto com o SFVCR, verifica-se que eles representam mais de 95% de economia de energia face a situação atual do sistema de iluminação, porém este percentual ainda poderia ser ampliado com a utilização de sensores de presença em mais ambientes analisados, haja vista que no levantamento *in loco* visualizou-se uma baixa utilização de tais equipamentos.

Por tratar-se de um ambiente universitário, com formadores de opinião, constata-se que além dos benefícios com a redução do consumo de energia elétrica, a inserção de equipamentos mais eficientes e a instalação de um SFVCR irão trazer benefícios de caráter intangível para todos, diante da otimização e efficientização do edifício público de maneira geral.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] EPE. Balanço Energético Nacional 2018: Relatório síntese – ano base 2017. Rio de Janeiro, RJ, 2018. 62 p.
- [2] IEA. Photovoltaic Power Systems Programme. Trends 2013 in photovoltaic applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012. Report IEA-PVPS T1-23:2013.
- [3] EPE. Demanda de energia 2050. Rio de Janeiro, RJ, 2016. 244 p.
- [4] SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Sistema fotovoltaico integrado à edificação e interligado à rede elétrica: Eficiência energética e Sustentabilidade. In: ENCAC – COTEDI 2003, Curitiba. 2003.
- [5] RODRIGUES, P. Manual de Iluminação Eficiente. 1ª ed. 2002.
- [6] PROCEL. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de consumo: ano base 2005. PROCEL – ELETROBRAS, 2008.
- [7] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar. CEPEL - GTES. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014, 529 p.
- [8] LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. Casa eficiente: consumo e geração de energia. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. 76 p.
- [9] URBANETZ JUNIOR, J. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. 2010. 189 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.
- [10] EPE. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e impactos. Rio de Janeiro, 2014.
- [11] TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, 1. Ed, Curitiba, 2017.
- [12] PHILIPS. Catálogo de produtos. 2016.
- [13] BOSS COMPUTER. Refletor LED 200W Super Branco Bivolt. 2016.
- [14] TASCHIBRA. Catálogo de produtos. Brasil, 2016.
- [15] URBANETZ JUNIOR, J.; TIEPOLO, G. M.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; TONIN, F. S.; MARIANO, J. D. Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba. In: XCBPE 2016, Gramado. 2016.
- [16] LABSOL – Laboratório de Energia Solar UFRGS. Software RADIASOL.
- [17] GOOGLE EARTH. Programa Google Earth. 2016.