



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**SHS0416 – SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO EM UM BLOCO DIDÁTICO NA USP –  
SÃO CARLOS**

Prof. Tadeu Fabricio Malheiros

Caio Appel Fanti            7277624

Meigarom Diego Lopes    7152396

**SÃO CARLOS**

**2015**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>5</b>
<b>3. BOAS PRÁTICAS</b>	<b>6</b>
<b>4. COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>	<b>7</b>
4.1. Módulo Fotovoltaico	7
4.2. Inversor de Tensão	8
<b>5. DIMENSIONAMENTO</b>	<b>13</b>
5.1. Quantificação dos Módulos Fotovoltaicos	13
5.2. Potência Total Instalada	13
5.3. Demanda Energética	13
5.4. Horas de Sol Pleno	14
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>18</b>
6.1. Cálculo da Demanda Média Diária	18
6.2. Horas de Sol Pleno	22
6.3. Quantidade de Módulos Fotovoltaicos e Energia Gerada	23
6.4. Potencial de Geração de Energia pelo Sistema	24
6.5. Análise Econômica do Projeto	25
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>27</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um dos melhores potenciais energéticos do mundo. Segundo a ANEEL, as reservas de combustível fóssil são relativamente reduzidas, porém outras fontes de naturais como hídricas, da irradiação solar, da biomassa e da força dos ventos são suficientes para garantir a auto-suficiência energética do país.

Em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicou uma resolução Normativa 482, que estabelece as diretrizes e os procedimentos gerais sobre o uso e distribuição da energia elétrica gerada pelos próprios consumidores, utilizando diferentes fontes. Essa resolução propôs a criação de um sistema de compensação de energia, conhecido na comunidade internacional como *net metering*. Nesse modelo, o proprietário de um pequeno gerador de energia provinda de uma fonte renovável, pode injetar na rede a energia excedente de sua própria produção. Esse foi um marco para a geração fotovoltaica no Brasil.

A geração fotovoltaica permite a geração a partir de uma energia limpa, ou seja, no processo de produção não há emissão de gases ou resíduos tóxicos ao meio ambiente, não há também ruídos, nem qualquer parte móvel, além disso, a geração fotovoltaica permite a geração e o consumo no mesmo local, seja em telhados de casas residenciais ou em parques fotovoltaicos industriais.

Apesar de ser uma tecnologia promissora, principalmente em relação à produção de energia limpa, a geração fotovoltaica enfrenta alguns problemas que acabam fazendo com que as pessoas, em geral, ainda aceitem esse novo conceito de maneira tímida e cautelosa. Entre as limitações, podemos citar o problema climático, que causa uma alta variação de luminosidade devido aos dias chuvosos ou com maior nebulosidade. Esses fatores alteram a incidência dos raios solares nas placas de captura fotovoltaica, responsáveis pela captura e conversão de energia luminosa em elétrica. Devido a essa grande dificuldade a geração fotovoltaica vem sendo pesquisada e

desenvolvida de forma complementar as fontes convencionais de geração, como por exemplo, a hidroelétrica e termoelétrica.

As universidades brasileiras estão saindo do campo apenas de pesquisas e passam agora a implementar suas inovações no próprio campus onde se localizam. Um exemplo real do funcionamento dessa filosofia é o Centro Universitário da Univates, em Lajeado(RS) que passou a contar com uma própria geração de energia fotovoltaica. “Os materiais estão sendo instalados nos prédios que compõem o Parque Científico e Tecnológico do Vale do Taquari (Tecnovates) e serão capazes de suprir toda a demanda de energia local, que possui 5.200 m<sup>2</sup> de área construída”, segundo o site “Rio Capital de Energia”. Ainda, o coordenador do Laboratório de Biorreatores da Univates, Odorico Konrad, expõe sua opinião sobre o papel da universidade nessa área “Hoje, a energia renovável é prioridade para a Univates. Este é o compromisso de uma universidade: fazer com que as tecnologias e os serviços sejam pesquisados e experimentados para que, depois, sejam utilizados pela sociedade”.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a implementação de um sistema fotovoltaico em um dos blocos didáticos da USP – São Carlos nomeado como “bloco D”, para que opere, convertendo energia solar em energia elétrica e complemente a demanda de energia elétrica do bloco, em seus dias de funcionamento, de maneira a diminuir a consumo proveniente exclusivamente da rede elétrica .

Também terá como foco a viabilidade da instalação desse sistema, com previsão do tempo de retorno do investimento.

### ➤ **Metodologias Prevista:**

Serão impostas três frentes de estudo para o projeto:

1. Estudo da demanda total diária e mensal do bloco didático, bem como a demanda de pico pontual.
2. Cálculo quantitativo de painéis solares e baterias para o suprimento da demanda solicitada.
3. Orçamento dos equipamentos utilizados, instalação e manutenção.

### 3. BOAS PRÁTICAS

Este capítulo mencionaremos alguns casos de sucesso de energia solar.

Nesses exemplos de implantação desse novo sistema, boas práticas que acarretaram o sucesso do projeto sempre vem como forma de aprendizado para outras pessoas engajadas nesse mesmo projeto.

Abaixo citaremos casos de sucesso sobre a implantação do sistema de energia solar na Alemanha e outro no Brasil, analisando em cada caso os fatores que levaram ao sucesso, como por exemplo, a diferença entre as legislações e incentivos nos dois países.

Caso de sucesso na Alemanha: “Uma em cada dez pessoas na Alemanha já usa energia solar:

“Já são 8,5 milhões de pessoas que vivem em edifícios e casas com sistemas de energia solar segundo o Solar Industry Association (BSW-Solar). O uso ativo dessa fonte proporciona uma maior independência para a população que não fica a mercê do aumento dos preços de energia e evita grandes quantidades de dióxido de carbono liberados no meio ambiente anualmente”.



Figura – Painéis fotovoltaicos instalados em Freiburg - Alemanha

O país Alemão acredita que o mercado interno forte é essencial para que a indústria de energia solar se desenvolva. Portanto, os políticos asseguram que as fontes alternativas de energia sejam parte do planejamento do núcleo de abastecimento de energia do país e que sua expansão atinja os consumidores tanto cidadãos quanto as empresas para que estes invistam em um sólido mercado de investimento. Desde o dia 1 de maio de 2013, os sistemas de armazenamento de energia solar na Alemanha recebem o apoio de um novo programa do grupo bancário KfW para financiamento.

#### Caso de sucesso no Brasil: “Maior sistema Grid – Tie residencial do Brasil”

“Foi inaugurada no dia 21/08, o maior projeto do país para micro geração distribuída de energia solar com base na resolução normativa da ANEEL nº 482/2012. A casa, localizada em Ribeirão Preto, interior de São Paulo, é a primeira do Estado e a maior do país, seja em capacidade instalada (25,2 kWp) ou em produção de energia (3.300 kWh/mês) e ainda devolverá a rede o excedente não consumido. A energia excedente será utilizada para compensar o consumo em outro imóveis do mesmo proprietário, visando reduzir os custos com as contas de luz. O projeto, concebido pela Neosolar Energia e aprovado pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL)”.

Em relação a parte técnica, equipamentos e componentes eletrônicos para a montagem desse projeto, foram utilizados 180 painéis fotovoltaicos de 40Wp cada, com potência total de 25,2 kWp, 6 inversores SMA SB3800-11 e um componente para o monitoramento chamado SMA Sunny Webbos e Sensorbox.

Abaixo a figura das instalações dos painéis fotovoltaicos.



Figura – Maior sistema Grid-Tie residencial do Brasil. Por: Neosolar Energia Ribeirao Preto / SP

### **Resolução Normativa Brasileira nº482/2012 – Aneel**

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) divulgou a Resolução Normativa número 482, no dia 17 abril de 2012, estabelecendo os parâmetros necessários que deve ser cumprido no caso de microgeração (até 100kW) e a minigeração (entre 100kW e 1MW) de energia elétrica para a regulamentação de sistemas particulares conectados a rede de distribuição. Essa resolução passa a viabilizar a geração distribuída de pequeno porte no Brasil, pois agora existe parâmetros a serem seguidos por aqueles que desejam implementar um sistema de cogeração. As distribuidoras tiveram até o dia 15 de dezembro do mesmo ano para se adequarem a nova resolução, ou seja, preparem o sistema elétrico para receber os novos pequenos geradores e também a auxiliar no projeto e implementação de sistemas de micro ou minigeração distribuídos aos interessados.

O Brasil começa a caminhar em direção a este tipo de tecnologia, a liberação resolução 482/2012 é ainda bem recente, portanto essa abordagem ainda é tratada como uma novidade no Brasil enquanto que outros países, essa tecnologia já faz parte do planejamento de geração elétrica e portanto está muito próxima do consumidor, por enquanto a liberação da Resolução é o único incentivo a instalação de painéis solares, outras formas de incentivo precisam ser implantadas de maneira mais incisiva para despertar a vontade das empresas e consumidores em gerar sua própria energia.

De um modo geral, outros fatores serão importantíssimos no sucesso de sistema como por exemplo, os subsídios do governo, as políticas de incentivo ao consumidor e as concessionárias de energia elétrica, os incentivos fiscais como diminuição os impostos para as pessoas ou empresas que diversificarem sua matriz energética ao implantar energia solar e também o caso de parcerias publico-privadas de empresas. Na Alemanha, por exemplo, o sucesso do setor deve-se em grande parte, aos programas do governo que incentivam essa prática, as leis de energia, aos mecanismos regulatórios, além do aumento dos preços de energia do mercado. Uma das leis de energia da Alemanha chamada “Lei de Energias Térmicas Renováveis (EEWarmeG)” que entrou em vigor em janeiro de 2009, diz que é obrigatório o uso de fontes renováveis de energia para obtenção de calor em novas edificações (privadas ou industriais) e, assim, cobrir parte de suas necessidades energéticas. Além disso, o governo da Alemanha possui um Lei de incentivo de energia fotovoltaica chamada “*Electricity Feed-in Law*”, adotada em 1990. Esta lei disponibiliza tarifas de auxílio a empresas de acordo com o tipo de energia alternativa utilizada. Essa lei foi reformulada em 1999, dando origem ao “Código das Fontes Renováveis de Energia (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG)”.

#### 4. COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como o projeto tem como objetivo a complementação alternativa à geração convencional de energia elétrica de modo sustentável, o sistema fotovoltaico não terá o uso de um banco de baterias e controladores de carga devido ao seu elevado potencial residual não desejável ao ambiente.

A análise, então, será feita sobre o módulo fotovoltaico e o inversor de corrente, componentes que se fazem necessários em sistema fotovoltaico ligado a rede de energia elétrica.

##### 4.1 - Módulo Fotovoltaico:

Este dispositivo permite a conversão da energia da luz solar em energia elétrica, através do fenômeno físico denominado “efeito fotovoltaico”. O módulo é composto por células fotovoltaicas, assim denominadas, que criam uma diferença de potencial elétrico pela ação da luz. Essas células podem ser construídas, atualmente, a partir de algumas tecnologias, como: Silício Cristalino (c-Si), Silício Amorfo (a-Si), CIGS, Arsenieto de Gálio (GaAs) e Telureto de Cádmio (CdTe). Painéis feitos de Silício Cristalino são os mais comuns devido ao seu custo e apresentam um rendimento de 13 a 21%.

Cada célula fotovoltaica é capaz de fornecer uma tensão em torno de 0,4 a 0,5 Volts no ponto de máxima potência e uma corrente entre 1,5 e 5 Amperes (A).



Figura 1: Módulo Fotovoltaico

#### **4.2 - Inversor de Tensão:**

Equipamento necessário para a conversão da corrente contínua (CC), fornecida pelo painel fotovoltaico, em corrente alternada (CA) requisitada para a alimentação na rede elétrica.

No mercado existem inversores específicos para sistemas com geração alternativa (fotovoltaica, eólica) ligados diretamente a rede de energia elétrica, e são denominados conversores CC/CA Grid Tie. Este inversor difere dos demais por possuir sistemas de controle para a sincronização da frequência e fase da tensão produzida e a tensão da rede, além de melhores filtros em relação aos harmônicos e maior eficiência.

## 5. DIMENSIONAMENTO

### 5.1 - Quantificação dos Módulos Fotovoltaicos

A quantidade de módulos fotovoltaicos (N) é determinado pela relação da Potência de Pico ( $P_P$ ) do módulo propriamente dito e da Potência Total Instalada ( $P_T$ ), conforme a equação abaixo:

$$N = \frac{P_T}{P_P}$$

### 5.2 - Potência Total Instalada

A Potência Total é derivativa de alguns itens, como a Demanda Energética a atender pelo sistema ( $D_E$ ), horas de pleno sol ( $P_S$ ) incidente sobre a superfície do painel e a Eficiência do Conversor ( $n$ ).

$$P_T = \frac{D_E}{S_P \cdot n}$$

### 5.3 - Demanda Energética

O calcula da demanda é, normalmente, o primeiro passo a ser calculado em um projeto de um sistema fotovoltaico. Com esse valor, já é possível ter uma boa referência na viabilidade do projeto.

Seu calculo basicamente é a somatória da multiplicação da potência de cada equipamento ( $P_E$ ) instalado com suas horas de uso diariamente ou mensalmente ( $T_U$ ).

$$D_E = \sum P_E \cdot T_U$$

## 5.4 - Horas de Sol Pleno

Esse é, certamente, o parâmetro mais complexo a se calcular devido a necessidade de alguns valores geológicos que podem dificultar em alguns casos.

Esse parâmetro calcula o equivalente da quantidade de horas de sol para o funcionamento do painel na sua máxima potência. A máxima potência do módulo é extraída na radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup> (Sol Pleno).

Assim, a equação é dada como:

$$S_P = \frac{\overline{H_T}}{1000}$$

Onde  $\overline{H_T}$  é a radiação solar total diária ou mensal incidente no plano inclinado e possui o seguinte calculo:

$$\overline{H_T} = \overline{H} \cdot R_B \left( 1 - \frac{\overline{H_D}}{\overline{H}} \right) + \overline{H_D} \cdot \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \overline{H} \cdot \rho_g \cdot \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

Onde,  $\beta$  = Ângulo formado entre o plano horizontal e o plano inclinado do painel fotovoltaico

$\rho_g$  = Refletância da vizinhança, dado pela tabela abaixo:

Material	$\rho_g$
Terra	0,04
Tijolo vermelho	0,27
Concreto	0,22
Gramma	0,20
Barro/argila	0,14
Superfície construção clara	0,60

Devido a quantidade de variáveis presentes na equação de  $\overline{H_T}$ , o calculo e a descrição de cada variável será dividido em tópicos:

## I. Radiação Solar Global Incidente no Plano Horizontal (H)

A partir da equação proposta por Bennett (1965) a equação da radiação solar global incidente no plano horizontal pode ser identificada como:

$$\bar{H} = \left( a + b \cdot \frac{\bar{n}}{N} + c \cdot h \right) \cdot \bar{H}_0$$

Onde, h = Altitude de localização do plano inclinado

N = Duração média do período diurno

N = Insolação média diária

E a, b, c são os coeficientes empíricos de correlação de Bennett, que dependem do mês anual, identificados na tabela abaixo:

Mês	a	b	c
Janeiro	0,225	0,4812	0,0007
Fevereiro	0,221	0,5026	0,0006
Março	0,221	0,5142	0,0005
Abril	0,188	0,5574	0,0005
Maio	0,197	0,5423	0,0004
Junho	0,235	0,4780	0,0004
Julho	0,264	0,4386	0,0004
Agosto	0,291	0,3768	0,0006
Setembro	0,260	0,4242	0,0006
Outubro	0,235	0,4744	0,0005
Novembro	0,207	0,4816	0,0007
Dezembro	0,237	0,4343	0,0007

Figura X: Coeficientes de correlação de Bennett

## II. Radiação Solar Extraterrestre (H<sub>0</sub>)

Pela equação proposta por Duffie e Beckman (1991) a radiação solar extraterrestre é dependente apenas da latitude como parâmetros de localização e pode ser calculada sendo:

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{SC}}{\pi} \left[ 1 + 0,03 \cdot \cos \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{365} \right) \right] \cdot (\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta)$$

Onde,  $G_{SC}$  = Fluxo de energia radiante =  $1367 \text{ W/m}^2$

$\varphi$  = Latitude Geográfica

$d$  = Dia Juliano (1 a 365)

$\omega_s$  = Ângulo do pôr-do-sol

$\delta$  = Declinação Solar, dado por:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen}\left(2\pi \cdot \frac{284 + d}{365}\right)$$

### III. Razão entre a Radiação Extraterrestre Incidente no Plano Inclinado e a Radiação Incidente no Plano Horizontal ( $R_B$ ):

$$R_B = \left(\frac{\pi}{\omega'_s}\right) \cdot \frac{(\text{sen}\delta \cdot \text{sen}\varphi \cdot \text{cos}\beta - \text{sen}\delta \cdot \text{cos}\varphi \cdot \text{sen}\beta \cdot \text{cos}\gamma)}{\text{cos}\varphi \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}\omega_s + \left(\frac{\pi}{180\omega'_s}\right)(\text{sen}\delta \cdot \text{sen}\varphi)} +$$

$$+ \frac{\text{sen}\omega'_s \cdot \text{cos}\delta \cdot (\text{cos}\varphi \cdot \text{cos}\beta + \text{sen}\beta \cdot \text{sen}\varphi \cdot \text{cos}\gamma)}{\text{cos}\varphi \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}\omega_s + \left(\frac{\pi}{180\omega_s}\right) \cdot (\text{sen}\delta \cdot \text{sen}\varphi)}$$

Onde,  $\beta$  = ângulo formado entre o plano horizontal e o plano inclinado do painel fotovoltaico

$\gamma$  = ângulo formado entre a projeção da reta normal ao plano inclinado e a direção Norte-Sul terrestre (Ângulo azimutal de superfície)

$\omega'_s$  = pôr-do-sol aparente para a superfície inclinada, expresso por:

$$\omega'_s = \text{mínimo} \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\varphi + \beta) \cdot \tan\delta) \end{array} \right]$$

**IV. Radiação Solar Difusa Incidente no Plano Inclinado ( $H_D$ ):**

Proposta por Collares-Pereira e Rabl, a equação da Radiação Solar Difusa é dado por:

$$H_D = \{0,775 + 6,06 \cdot 10^{-3} \cdot (\omega_s - 90) - [0,505 + 4,55 \cdot 10^{-3} \cdot (\omega_s - 90)] \cdot \cos(115 \cdot K_T - 103)\} \cdot H$$

Onde,  $K_T = \text{Índice de claridade} = \frac{\bar{H}}{H_0}$

## 6. RESULTADOS

Para o início do dimensionamento foi feita a escolha do painel fotovoltaico com base em pesquisa no mercado. A escolha foi decidida pelo maior custo benefício na relação R\$/Wp. O módulo escolhido foi:

➤ **Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b de 250 Wp**

Para a realização do cálculo da quantidade de horas com pleno sol na região de São Carlos, foram levadas as seguintes considerações, com base no artigo proposto [2]:

- a. Inclinação dos painéis fotovoltaicos igual à latitude local ( $\beta = 22^\circ 00' 00''$ ).
- b. Altitude (h) sendo a altitude média da região ( $h = 0,830$  km).
- c. Refletância da vizinhança ( $\rho_g$ ) igual a 0,20.
- d. Desvio do Norte Geográfico igual a zero grau ( $\gamma = 0^\circ$ )

### 6.1 - Cálculo da Demanda Média Diária

Para dimensionar a quantidade de placas fotovoltaicas, o primeiro passo é realizar um trabalho sobre a demanda de energia elétrica do Bloco Didático em estudo.

A tabela I demonstra a quantidade total de equipamentos instalados no Bloco didático, ou seja, é contabilizado todos elementos que consomem energia no Bloco D – USP São Carlos.

A Tabela II quantifica a potência instalada dos equipamentos, de acordo a potência nominal de cada elemento.

É feita, na tabela III, uma estipulação da demanda se baseando em um tempo de funcionamento dos equipamentos genérico. Isso foi feito para se ter uma base na viabilidade e dimensionamento do sistema. Devido a alta demanda exigida por todos os equipamentos diariamente pela rede foi optado pela implementação do projeto fotovoltaico apenas ao sistema de iluminação do bloco didático.

<b>Tabela I - Quantidade de Equipamentos</b>						
	<b>Luminárias (2 lâmpadas)</b>	<b>Ar Condicionado Pequeno</b>	<b>Ar condicionado Grande</b>	<b>Ventilador</b>	<b>Projektor</b>	<b>Computador</b>
<b>1º Andar</b>	13	0	0	0	0	0
<b>2º Andar</b>	15	0	0	0	0	0
<b>Sala 1</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 2</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 3</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 4</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 5</b>	11	0	0	2	1	1
<b>Sala 6</b>	11	0	0	2	1	1
<b>Sala 7</b>	30	0	2	6	1	1
<b>Sala 8</b>	30	0	2	6	1	1
<b>Sala 9</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 10</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 11</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 12</b>	17	2	0	4	1	1
<b>Sala 13</b>	11	0	0	2	1	1
<b>Sala 14</b>	11	0	0	2	1	1
<b>Sala 15</b>	30	0	2	6	1	1
<b>Sala 16</b>	30	0	2	6	1	1
<b>Sala Fiscal</b>	2	0	0	1	0	5
<b>Banheiros</b>	8	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>338</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>65</b>	<b>16</b>	<b>21</b>

<b>Tabela II - Potência Total Instalada</b>			
	<b>Quantidade</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Total (W)</b>
<b>Lampadas</b>	676	32	21632
<b>Ar condicionado Pequeno</b>	16	1000	16000
<b>Ar condicionado Grande</b>	8	3500	28000
<b>Ventiladores</b>	65	120	7800
<b>Projetores</b>	16	350	5600
<b>Computadores</b>	16	150	2400
		<b>TOTAL =</b>	<b>81432</b>

	Quantidade	Potencia (W)	Tempo Ligado (Min/Dia)	Demanda (kWh/mês)	Demanda (kWh/dia)
Lampadas	676	32	300	3245	108,16
Ar condicionado Pequeno	16	1000	120	960	32
Ar condicionado Grande	8	3500	120	1680	56
Ventiladores	65	120	120	468	15,6
Projetores	16	350	240	672	22,4
Computadores	21	150	240	378	12,6
			<b>TOTAL =</b>	<b>5900</b>	<b>246,76</b>

Para uma maior exatidão no calculo das demandas, na Tabela IV é mostrada a quantidade de horas de funcionamento do bloco didático, assim, com esses valores, é calculado (tabela V) as demandas diárias do bloco com uma boa aproximação.

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66
	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68
	7,62	9,79	5,44	2,18	4,35
	7,62	7,62	8,70	6,53	5,44
	7,62	6,53	6,53	2,18	2,18
	8,70	6,53	4,35	0,00	4,35
	1,41	3,52	3,52	1,41	2,11
	1,41	2,11	1,41	0,00	0,00
	15,36	15,36	13,44	15,36	7,68
	7,68	15,36	7,68	7,68	7,68
	7,62	6,53	5,44	2,18	2,18
	6,53	4,35	6,53	3,26	2,18
	6,53	8,70	2,18	8,70	0,00
	7,62	4,35	4,35	0,00	3,26
	1,41	0,00	1,41	0,00	0,00
	0,00	2,82	2,82	0,00	0,00
	17,28	13,44	15,36	7,68	13,44
	17,28	13,44	3,84	13,44	11,52
	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
<b>Total</b>	<b>141,12</b>	<b>139,90</b>	<b>112,45</b>	<b>90,05</b>	<b>85,82</b>

Sabendo do resultado da demanda média diária (dias úteis) do bloco didático e considerando demanda nula nos períodos de sábado e domingo, tem-se que a demanda média mensal utilizada será de:

$$D_{mensal} = (141,12 + 139,90 + 112,45 + 90,05 + 85,82) * 4 = 2277 \text{ kWh}$$

Assim, para o projeto, será considerado uma demanda diária média, considerando um mês sendo 30 dias, de:

$$D_{diária} = \frac{2277}{30} = 75,91 \text{ kWh}$$

## 6.2 - Horas de Sol Pleno

Como o propósito desse trabalho é a sustentabilidade do sistema e não o aprofundamento em cálculos, os valores obtidos para esse parâmetro (quantidade de horas de sol pelo – SP) foi admitido a partir do artigo [2], onde o estudo foi realizado também para a cidade de São Carlos – SP.

Os valores estão expostos na tabela abaixo:

<b>Mês</b>	<b>H<sub>T</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>SP – Sol Pleno (hrs/dia)</b>
<b>Janeiro</b>	159,74	5,15
<b>Fevereiro</b>	144,86	5,17
<b>Março</b>	173,80	5,60
<b>Abril</b>	153,60	5,12
<b>Mai</b>	160,73	5,18
<b>Junho</b>	142,56	4,75
<b>Julho</b>	155,61	5,01
<b>Agosto</b>	164,93	5,32
<b>Setembro</b>	160,12	5,33
<b>Outubro</b>	171,74	5,54
<b>Novembro</b>	152,34	5,07
<b>Dezembro</b>	141,36	4,56
	<b>Média</b>	<b>5,15</b>

Tabela V: Horas de Sol Pleno por Mês

### 6.3 - Quantidade de Módulos Fotovoltaicos e Energia Gerada

Com os dados anteriores e a partir das equações demonstrada no tópico anterior, é possível calcular a quantidade de módulos que serão instalados no projeto. O calculo será feito para uma média diária da demanda e das horas de pleno sol, durante um ano inteiro.

$D_E$  = Demanda Média Diária = 75,91 kWh/dia

$S_p$  = Média de Horas de Pleno Sol = 5,15 hrs/dia

$n$  = Eficiência do Inversor = 98% (Indicado no próximo tópico)

$$P_T = \frac{D_E}{S_p \cdot n} = \frac{75,91k}{5,15 \times 0,98} = 15 \text{ kWp}$$

Sendo:

$$N = \frac{P_T}{P_p} = \frac{15k}{250} = 60 \text{ módulos}$$

Para uma melhor acoplação das placas no projeto e de acordo com a área disponível da lage do prédio, será montado um arranjo formando 6 blocos com 9 painéis e 1 bloco com 6 painéis, conforme a figura abaixo. A área disponível é de 18x18 metros.

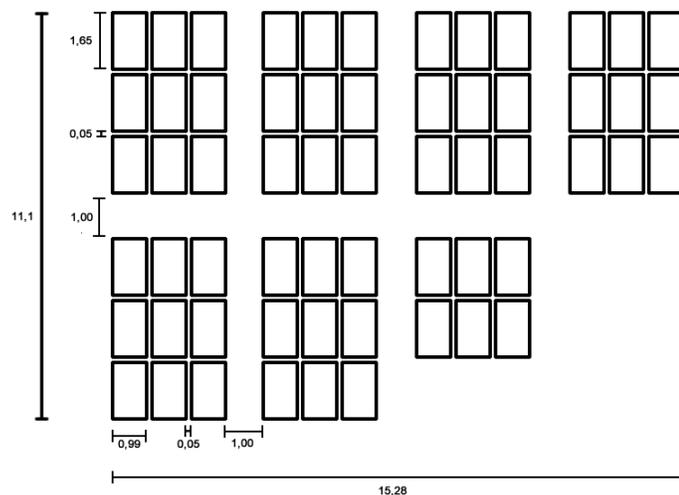


Figura 2: Arranjo dos Painéis Fotovoltaicos em Metros

#### 6.4 - Potencial de Geração de Energia pelo Sistema

Conforme os dados referentes do painel solar (250 Wp) e o inversor com eficiência de 98%, é calculado a energia que pode ser gerada pelo sistema.

Mês	Dias	SP – Sol Pleno (hrs/dia)	Potência do Sistema Fotovoltaico $P_T$ (kWp)	Energia (kWh/mês)
Janeiro	31	5,15	15	2346,85
Fevereiro	28	5,17	15	2127,97
Março	31	5,60	15	2551,92
Abril	30	5,12	15	2257,92
Maio	31	5,18	15	2360,52
Junho	30	4,75	15	2094,75
Julho	31	5,01	15	2283,05
Agosto	31	5,32	15	2424,32
Setembro	30	5,33	15	2350,53
Outubro	31	5,54	15	2524,57
Novembro	30	5,07	15	2235,87
Dezembro	31	4,56	15	2077,99

Tabela VI: Quantidade de Energia Gerado por Mês

Tem-se, então, uma geração anual de **27,64 MWh**.

## 6.5 - ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO

Abaixo é feito o orçamento previsto para a implementação do sistema fotovoltaico deste projeto:

➤ **Módulo Fotovoltaico:**

**Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b de 250 Wp**

Vida Útil: 25 anos

Preço: R\$999,00 por painel

Total:  $999 * 60 = R\$59.940,00$

➤ **Inversor de Potência Grid-Tie:**

O inversor deverá suportar uma potência de 12 kW na saída e ser especial para a conexão direta a rede de energia elétrica. Após pesquisa de mercado decidiu-se a escolha do modelo:

**Inversor Fronius Symo 15.0-3-M (15.000W)** com 98% de eficiência

Vida Útil: 10-15 anos

Preço: R\$21.590,00

➤ **Serviço e Mão de Obra:**

Considerando os gastos com suporte para os módulos fotovoltaicos, cabos e componentes de proteção (disjuntor e chave fusível), medidor de energia e mão de obra, será somado um valor de R\$250 reais por placa.

Total:  $300 * 60 = R\$18.000,00$

Assim, tem-se a estimativa total do projeto em:

**TOTAL =  $59940 + 21590 + 18000 = R\$99.530,00$**

Esse valor será aproximado para **R\$100.000,00** por conta de gastos adicionais ou imprevistos na montagem.

### ❖ Tempo de Retorno do Investimento:

Através da análise pelo valor presente líquido (VPL) é possível determinar a viabilidade do projeto proposto.

O calculo é feito seguinte a equação:

$$F_{AC} = \sum_{T=1}^N \frac{F_C}{(1 + I_r)^T}$$

Onde,  $F_{AC}$  = Fluxo Acumulado ;

$F_C$  = Lucro Anual ;

$N$  = Período em Anos;

$I_r$  = Juros anual;

Considerando a tarifação convencional do grupo azul de R\$0,55180/kwh para a energia e R\$34,89/kW para a demanda, a economia feita, ou seja, o lucro anual durante um ano será de:

- Energia gerada durante um ano = 27.640 kWh
- Demanda gerada pelo sistema = 15 kWp

$$F_c = 0.5518 * 27640 + 15 * 34,89 * 12 = \mathbf{R\$21.531,95}$$

Para a taxa de juros será utilizado o valor de 1,3% ao mês ou 16,77% ao ano, que pode ser considerado um valor próximo a um investimento razoável.

Utilizando a equação acima, é feita a estipulação do retorno do investimento previsto para o projeto. A tabela e o gráfico abaixo mostra o resultado esperado ao longo dos anos seguintes à implantação do sistema.

Esses resultados indicam que o investimento terá o retorno apenas no décimo ano, o que torna-o consideravelmente viável, já que a vida útil dos inversores superam 10 anos e dos painéis estão em torno de 15 anos.

ANOS	FLUXO ATUALIZADO	FLUXO ACUMULADO
Ano 0	R\$ 0,00	-R\$ 100.000,00
Ano 1	R\$ 18.440,39	-R\$ 81.559,61
Ano 2	R\$ 15.792,71	-R\$ 65.766,90
Ano 3	R\$ 13.525,19	-R\$ 52.241,71
Ano 4	R\$ 11.583,24	-R\$ 40.658,48
Ano 5	R\$ 9.920,11	-R\$ 30.738,36
Ano 6	R\$ 8.495,78	-R\$ 22.242,58
Ano 7	R\$ 7.275,95	-R\$ 14.966,63
Ano 8	R\$ 6.231,27	-R\$ 8.735,36
Ano 9	<b>R\$ 5.336,58</b>	<b>-R\$ 3.398,77</b>
Ano 10	<b>R\$ 4.570,35</b>	<b>R\$ 1.171,58</b>
Ano 11	R\$ 3.914,14	R\$ 5.085,72
Ano 12	R\$ 3.352,15	R\$ 8.437,87
Ano 13	R\$ 2.870,85	R\$ 11.308,72
Ano 14	R\$ 2.458,65	R\$ 13.767,37
Ano 15	R\$ 2.105,64	R\$ 15.873,00

Tabela VI: Tabela do Retorno Previsto pelo Método VPL

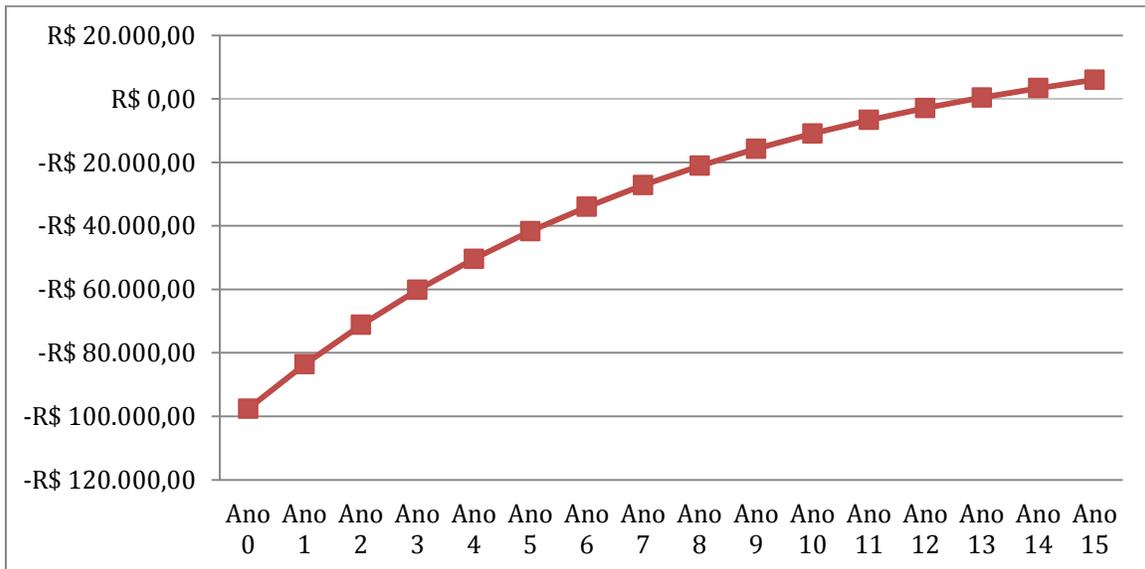


Gráfico 1: Valor Presente Líquido

## 7. CONCLUSÃO

A fim de se obter um meio alternativo para a geração de energia elétrica, a geração fotovoltaica se mostra com uma evolução tecnológica bem interessante. O que a alguns anos atrás era considerada inviável e inapropriada, hoje já se caminha para o contrário. A evolução tecnológica principalmente das placas fotovoltaicas vem se movendo a grandes passos, a medida que seu preço diminui e sua potência e eficiência aumentam.

Este trabalho proporcionou uma boa noção da implementação desse sistema como um todo, especificando, por fim, sua viabilidade econômica. Ainda não foi possível obter um retorno atrativo, porém, em contrapartida dos projetos estudados anos anteriores, já foi possível obter o sistema sem prejuízos ou sem a necessidade de subsídios.

Através das análises contidas neste trabalho, observa-se que é possível suprir toda demanda do sistema de iluminação do bloco didático, utilizando-se 60 painéis fotovoltaicos de 250 Wp. Toda essa demanda, ao final, é convertida obtendo-se uma economia de R\$21.531,95 por ano, considerando a tarifação azul convencional para indústrias. O retorno do investimento de R\$100.000,00 foi estipulado, a partir do método do valor presente líquido, entre 9 a 10 anos, o que é menor do que a vida útil dos componentes instalados (painel 25 anos e inversor 10-15 anos).

Não apenas visando a análise econômica financeira, as energias alternativas limpas, ou seja, as que geram energia sem poluir o ambiente, possuem um aspecto muito importante na atualidade, que é o apelo de um cenário sustentável. Indústrias, comércio e residências devem sim ter um olhar mais horizontal para o sistema de energia solar, que, no futuro, tem grandes chances de ser a principal fonte de energia elétrica na matriz energética do mundo.

## 8. REFERÊNCIAS

[1] CPFL Paulista – Companhia Paulista de Força e Luz. Disponível em <[www.cpfl.com.br](http://www.cpfl.com.br)>. Acesso em: 20 de junho de 2015.

[2] Oliveira, Rafael Deleo e, "**Análise Econômica da Geração Fotovoltaica de Energia Elétrica no Município de São Carlos (SP)**", USP - Universidade de São Paulo, 2012.

[3] Lisita Junior, O. **Sistemas fotovoltaicos conectados a rede: Estudo de caso de 3 kWp instalado no estacionamento do IEE-USP**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – Instituto de Eletrotécnica e Energia/Escola Politécnica/Faculdade de Economia e Administração /Instituto de Física da Universidade de São Paulo – USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

[4] **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 10 de junho de 2015.

[5] **Orçamento e Informações dos Componentes Fotovoltaicos**. Disponível em <[www.neosolar.com.br](http://www.neosolar.com.br)>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

[6] **Uso de energia solar na Alemanha**

<https://www.energiapura.com/content/uma-em-cada-dez-pessoas-na-alemanha-j%C3%A1-usa-energia-solar>