

## Dimensionamento e a importância da legislação do setor elétrico para implantação de um sistema fotovoltaico

Diomar Adonis Copetti Lima<sup>a,\*</sup>, Francisco Gasparin Fabrin<sup>a</sup>, Alex Sandro Copetti Lima<sup>c</sup>,  
Lucas Alejandro Walantus<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Escola Técnica Estadual 25 de Julho (ETE 25 de Julho), Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil

<sup>b</sup> ACL Engenharia Ltda, Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil

<sup>c</sup> Buenos Aires, Argentina

e-mails: diomarlina@gmail.com, chico\_fgf@yahoo.com.br, alexegc@gmail.com, walantus@gmail.com

---

### Resumo

Com o crescente consumo de energia elétrica no Brasil, faz-se necessário a busca de novas formas de geração desta energia, principalmente pelo fato das principais fontes geradoras causarem danos ao meio ambiente. Assim, o presente trabalho busca apresentar a importância da legislação para o desenvolvimento de um mercado de geração renovável, com foco na Geração Distribuída a partir de Microgeração conectado a rede utilizando tecnologia fotovoltaica. O mesmo apresenta um levantamento das configurações básicas de um Microgerador Fotovoltaico de 3,96 kWp, conectado à rede. A partir do estudo da viabilidade, apresenta-se a análise da contribuição da mudança da legislação. Pode-se constatar que o desenvolvimento do mercado fotovoltaico brasileiro se deu a partir da publicação da Resolução Normativa n°. 482 e sustentado pelo sistema de compensação de energia. Com este trabalho busca-se criar um material que possa auxiliar pessoas com interesse em instalar este tipo de geração.

**Palavras Chave** – Microgeração, Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento e legislação.

---

### Abstract

With the growing consumption of electricity in Brazil, it is necessary to search for new ways of generating this energy, mainly because the main generating sources cause damage to the environment. Thus, the present work seeks to present the importance of legislation for the development of a renewable generation market, with a focus on Distributed Generation from Microgeneration connected to the grid using photovoltaic technology. It presents a survey of the basic configurations of a 3.96 kWp Photovoltaic Microgenerator, connected to the network. From the feasibility study, is presented the analysis of the contribution of the change in legislation. It can be seen that the development of the Brazilian photovoltaic market took place after the publication of Normative Resolution n°. 482 and supported by the energy compensation system. This work seeks to create a material that can help people interested in installing this type of generation.

**Keywords** – Micro-generation, Photovoltaic Systems, System Sizing and Legislation.

### SÍMBOLOS

$\alpha$  Azimute

$\beta$  Inclinação

$EAC$  Energia necessária a ser produzida pelo sistema fotovoltaico

$FRC(d,n)$  Fator de recuperação de capital

$FS$  Fator de serviço

$G_a(\beta)$  Irradiação anual incidente sobre um superfície inclinada

$G_{daeff}$  Irradiação anual efetiva que incide sobre a superfície do gerador (kWh/m<sup>2</sup>);

$MW$  Mega Watt

$PR$  Fator que expressa o rendimento global da instalação

$PRD$  Período de retorno descontado

$PRS$  Período de retorno simples

## 1. Introdução

Devido à matriz energética brasileira estar baseada em grandes usinas hidrelétricas afastadas dos grandes centros de consumo, aliado a dificuldade encontrada para obtenção de licenças ambientais para novas hidrelétricas de grande porte, e ainda o aumento da demanda e consumo de energia elétrica, torna preocupante a situação brasileira com relação à auto-sustentabilidade energética.

Outro fator preocupante é o forte apelo ecológico pela redução de emissões de CO<sub>2</sub> e a preservação do meio ambiente. Esta preocupação faz com que se torne latente a busca pela diversificação da matriz energética, utilizando fontes de energia renovável. Entre estas fontes destacam-se, a eólica e a solar. A energia eólica recebeu, segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, grande parte dos investimentos do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), possuindo atualmente, a potência instalada de 10.124 kW [1]. Por outro lado, o Brasil possui um grande potencial para aproveitamento solar em comparação com os países da Europa, devido a sua localização geográfica.

No Brasil, em 2006 aplicações de Geração Distribuída (GD) na forma de Micro ou Minigeração na sua maioria eram restritas a laboratórios e centros de pesquisa. Segundo [2], dos 19 Micro geradores instalados no Brasil, 17 estavam localizados em instituições de pesquisa e apenas 2 encontravam-se no setor privado. Atualmente, com a modernização da legislação e alguns incentivos fiscais, encontram-se em operação 48.348 Micro ou Minigeradores Fotovoltaicos, totalizando a potência instalada de 491.598,23 kW [3].

### 1.1. Objetivos

O objetivo do presente trabalho é apresentar o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede (SFCR) e realizar a comparação entre a viabilidade da instalação de uma Microgeração utilizando tecnologia fotovoltaica conectado a rede e a utilização do Sistema de Compensação (SC), implantado após a publicação de legislação que favorece a implantação destes sistemas.

### 1.2. Contextualização

Segundo [4], a viabilidade ou não de determinada fonte de geração passaria a ser analisada pelos seguintes parâmetros: custo de geração, confiabilidade e perfil de fornecimento energético, segurança das instalações e aspectos ambientais.

No Brasil, em 2010 eram realizados investimentos isolados, como a usina solar instalada no Ceará pela MPX Solar S.A., empresa pertencente ao grupo EBX. “a Usina Solar de Tauá tem capacidade para gerar 1 Megawatt, o suficiente para abastecer 1.500 casas [5]. Ao mesmo tempo observa-se que no mesmo período na Europa foram realizados grandes investimentos em sistemas fotovoltaicos, principalmente nos sistemas conectados a rede, “mostrando que a discussão sobre a viabilidade desta tecnologia é maior e mais complexa que uma simples comparação de custos” [6].

### 1.3. Geração Distribuída

No princípio da utilização da energia elétrica, a geração se caracterizava de forma distribuída e isolada, alimentando pequenas cargas de iluminação nos centros populacionais. Com o desenvolvimento e expansão da utilização da corrente alternada e do uso de transformadores que possibilitaram o transporte econômico de energia a grandes distâncias, as fontes de geração se afastaram dos centros de consumo. Isto possibilitou o aproveitamento de grandes potenciais de geração à um custo relativamente reduzido, mas ignorou os fatores ambientais.

Desta forma, o sistema elétrico se organizou de forma centralizada, ou seja, grandes centrais produzindo grandes quantidades de energia elétrica à custos reduzidos. Para atender o aumento do consumo e demanda, são buscadas novas centrais de geração, e estas por sua vez, cada vez mais distantes e de difíceis licenciamentos ambientais. A Figura 1 apresenta a resposta tradicional do sistema elétrico a um aumento de demanda: construção de novas centrais de geração e expansão das linhas de transmissão e distribuição.

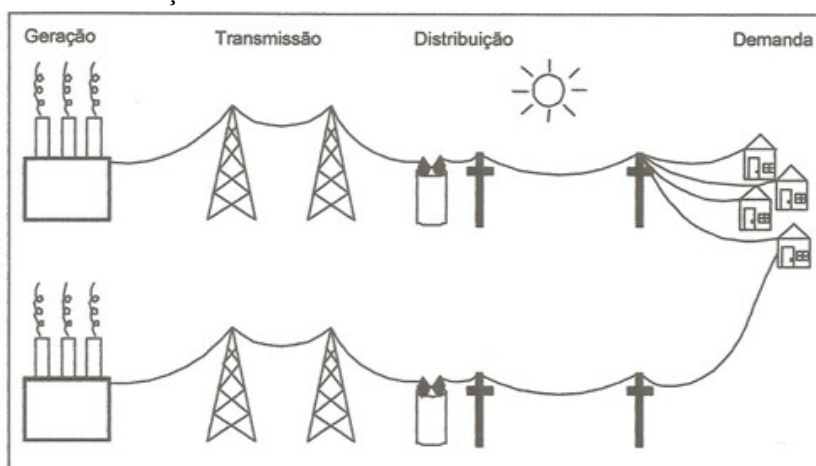


Fig. 1. Resposta do sistema elétrico ao aumento da demanda.

Fonte: [7].

A redução do custo de energia com a utilização de unidades de geração de pequeno e médio porte, localizadas próximas às cargas, proporcionado pelas novas tecnologias de geração, colocam em questão a partir da década de 1980 a dependência as grandes centrais de geração, dando origem à valorização da GD.

A GD se caracteriza por sistemas que podem ser instalados em residências, estabelecimentos comerciais, prédios e indústrias. Cada qual com capacidade de alimentar as cargas do sistema ou inserir diretamente na rede a energia gerada. Cada sistema contribui com pequenas parcelas da energia total consumida.

#### 1.3.1. Marco regulatórios da GD no Brasil

Analisando a evolução do setor elétrico brasileiro, pode-se constatar que anteriormente a década de 1990, não existia praticamente nenhuma legislação sobre geração distribuída. Da legislação em vigor em 2010, pode-se destacar algumas leis, decretos e resoluções que regulamentaram a utilização da GD e influenciam direta ou indiretamente a sua expansão.

- Lei n°. 9.074 [8], estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos. Através desta lei foi criado um novo agente do setor elétrico

nacional, o Produtor Independente de Energia (PIE), o qual teve acesso à rede das concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição e das concessionárias do serviço público de transmissão, assegurado por lei. Em seu art. 12 são estipuladas regras para a venda desta energia.

- Decreto n°. 2.003 de 1996 [9], passa a ser regulamentada a produção de energia elétrica por PIE e por Autoprodutor de Energia Elétrica (AP). Como incentivo à GD, o art. 5 libera aproveitamentos de potenciais hidráulicos igual ou inferior a 1.000 kW e a implantação de usina termelétrica de potência igual ou inferior a 5.000 kW, de concessão ou autorização, devendo entretanto, serem comunicados ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente para fins de registro.

- Lei n°. 9.427 [10] institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica. Nesta lei é estipulado um percentual de redução não inferior a 50% (cinquenta por cento) à ser aplicado em tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão (TUST) e de distribuição (TUSD), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos hidroelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 kW e para aqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa e co-geração qualificada.

- Lei 9.478 [11] dispõe sobre a política energética nacional e institui o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). São estabelecidas as políticas nacionais para o aproveitamento nacional das fontes de energia.

- Lei n°. 9.648 de 1998 [12], institui incentivos à geração elétrica de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Estabelece que o potencial hidráulico de potência superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW, destinado a produção independente ou autoprodução, pode ser autorizado pela ANEEL sem caráter oneroso.

- Resolução 281 [13], estabelecem-se as condições gerais de contratação do acesso compreendendo o uso e a conexão aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Um dos objetivos desta resolução é propiciar o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição, induzindo o incremento da oferta ao mercado pelos PIEs e APs.

- Lei n°. 10.438 de 2002 [14], cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), o qual tem o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos (PIA), concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa.

- Lei n°. 10.762 [15], regulamentando o percentual de redução não inferior a cinquenta por cento, a ser aplicado às TUST e TUSD, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos dos empreendimentos hidroelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 kW e aqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa e co-geração qualificada.

- Lei n°. 10.848 de 2004 [16], introduziu a GD no Brasil. Esta lei dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, Através desta lei foi criada a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com a finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, bem como, destes com seus consumidores, no Sistema Interligado Nacional (SIN).

- Decreto nº.5.163 de 2004 [17], define a geração distribuída como sendo geração hidrelétrica de potência igual ou inferior a 30 MW, a geração termelétrica, inclusive a cogeração qualificada com eficiência energética igual ou superior a 75%, e a geração a partir de biomassa ou resíduos de processo, independente de sua eficiência energética. Porém, outras fontes com reconhecido potencial como solar e células à combustível não são contempladas pelo PROINFA.

O Ano de 2012 pode ser considerado um marco para a GD, a partir da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 da ANEEL, estabelece as condições gerais para o acesso de Micro e Minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e cria o sistema de compensação de energia elétrica correspondente.

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) permite que a energia excedente gerada, pela unidade consumidora com Micro ou Minigeração, seja injetada na rede da distribuidora. Esse excedente é cedido à distribuidora local, sendo posteriormente utilizada para compensar o consumo de energia elétrica dessa mesma Unidade Consumidora (UC).

No decorrer deste ano, 2018, com a inclusão do Amazonas, Paraná e Santa Catarina ao Convênio ICMS nº 16/2015, todos os estados brasileiros passaram a conceder isenção do imposto sobre a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis [18].

## **2. Microgeração Distribuída a partir de Sistemas Fotovoltaicos**

Os SFCR, caracterizam-se por ser uma aplicação com intuito de complementar o sistema elétrico, funcionando paralelamente à este. Atualmente, no Brasil existem dois padrões de SFCR, sendo um representado pelas grandes centrais, onde a geração é centralizada (GC), e outro pelos sistemas utilizados de forma distribuída, conhecidos como Micro e Minigeração Fotovoltaicas.

A Micro e Minigeração geram energia de forma distribuída, junto a carga e se caracterizam por sistemas de baixa potência, possibilitando que sua energia possa ser consumida diretamente pela edificação ou injetada à rede de distribuição.

A experiência tem demonstrado que a GD, através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tem algumas vantagens sobre a GC. Entre estas vantagens pode-se citar: redução das perdas de transmissão e distribuição, menores custos de balanço do sistema (Balance of System - BOS) e ainda serve como cobertura externa a edificações, contribuindo assim, na redução de custos arquitetônicos.

A implementação de programas de utilização de SFCR, fez com que os países membros da IEA – PVPS, desenvolvessem o mercado fotovoltaico através do setor residencial. Segundo [19], em 2008 os países membros da IEA – PVPS, instalaram cerca de 5,56 GW de capacidade em sistemas fotovoltaicos, o que representou um aumento em torno de 150% em relação ao ano anterior.

### *2.1. Configurações básicas de um sistema fotovoltaico*

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias: sistemas fotovoltaicos isolados; sistemas fotovoltaicos híbridos e sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A utilização de cada tipo de sistema dependerá de características específicas em cada caso, como: tipo de carga a ser alimentada, a disponibilidade do sistema elétrico de distribuição e disponibilidade de recursos

financeiros. Será apresentado a descrição dos SFCR empregados em Micro ou Minigeração, o qual é o foco deste trabalho.

Os SFCR são sistemas que através do uso de inversores injetam a energia gerada pelo arranjo fotovoltaico diretamente no barramento do centro de distribuição da UC, podendo ser consumida localmente ou disponibilizada ao sistema elétrico comercial. Estes sistemas são compostos basicamente pelo arranjo fotovoltaico, inversor, cargas a serem alimentadas, sistemas de medição e rede de transmissão ou distribuição. A interconexão ao sistema elétrico de potência ocorre graças aos inversores capazes de adaptar a energia fotogerada às características da rede, tensão e frequência.

Uma característica deste sistema é a não utilização de sistemas de armazenamento, o que implica na redução de custos e o funcionamento de forma paralela ao sistema elétrico de distribuição. Assim, a instalação do consumidor ora receberá energia do sistema fotovoltaico, ora do sistema de distribuição. A Figura Fig. 2 apresenta um esboço de uma Microgeração em uma residência.



**Fig. 2. Diagrama esquemático representando uma Micro Geração utilizando SFCR.**

**Fonte. Adaptada de [20].**

- A. Os painéis fotovoltaicos instalados sobre a cobertura da edificação ou outro tipo de estrutura de sustentação, quando expostos a irradiação solar passam a gerar energia elétrica em corrente contínua;
- B. A energia gerada é conduzida ao inversor de frequência, que automaticamente fará conversão da energia gerada para corrente alternada;
- C. A energia é disponibilizada a residência/comércio/indústria para ser consumida instantaneamente;
- D. A energia excedente é disponibilizada (injetada) a rede da concessionária, esta fará a medição, para posterior cálculo da compensação da energia consumida pela UC.

Este sistema possibilita aliviar a demanda da rede durante o dia, pois em determinados momentos, a edificação estará consumindo energia e em outros injetando energia a rede da distribuidora.



## 2.2. Dimensionamento do sistema

De acordo com [21], o dimensionamento do sistema fotovoltaico pode ser realizado de três formas:

- Produção máxima de energia fotovoltaica;
- Produção de energia fotovoltaica equivalente ao consumo da instalação, ao qual o gerador será conectado (Auto suficiência líquida);
- Produção de energia fotovoltaica para atender uma determinada fração do consumo elétrico;

Neste trabalho será adotado o dimensionamento considerando a produção de energia equivalente ao consumo da instalação.

## 2.3. Consumo da Instalação

A Tabela 1 apresenta o consumo dos últimos 12 meses da Unidade Consumidora a ser instalada a Microgeração. Com base neste consumo será dimensionado o sistema de geração fotovoltaico.

Tabela 1. Consumo em kWh da UC.

Descrição	Consumo kWh	Custo Energia R\$	ICMS <sup>1</sup> 30%	PIS/PASEP <sup>2</sup> 1%	Total
Janeiro	529	R\$ 295,41	R\$ 128,44	R\$ 4,28	R\$ 428,14
Fevereiro	483	R\$ 269,73	R\$ 117,27	R\$ 3,91	R\$ 390,91
Março	492	R\$ 274,75	R\$ 119,46	R\$ 3,98	R\$ 398,19
Abril	454	R\$ 253,53	R\$ 110,23	R\$ 3,67	R\$ 367,44
Mai	389	R\$ 217,23	R\$ 94,45	R\$ 3,15	R\$ 314,83
Junho	480	R\$ 268,05	R\$ 116,54	R\$ 3,88	R\$ 388,48
Julho	439	R\$ 245,16	R\$ 106,59	R\$ 3,55	R\$ 355,30
Agosto	408	R\$ 227,84	R\$ 99,06	R\$ 3,30	R\$ 330,21
Setembro	413	R\$ 230,64	R\$ 100,28	R\$ 3,34	R\$ 334,25
Outubro	398	R\$ 222,26	R\$ 96,63	R\$ 3,22	R\$ 322,11
Novembro	409	R\$ 228,40	R\$ 99,31	R\$ 3,31	R\$ 331,02
Dezembro	438	R\$ 244,60	R\$ 106,35	R\$ 3,54	R\$ 354,49
Média Mensal	444	R\$ 248,13	R\$ 107,88	R\$ 3,60	R\$ 359,61
Média Diária	15	R\$ 8,16	R\$ 3,55	R\$ 0,12	R\$ 11,82

Será utilizado a média do consumo diário para obter a média de consumo anual, considerando 365 dias de consumo.

## 2.4. Radiação solar incidente efetiva (G<sub>daeff</sub>)

Conhecer a radiação que irá incidir sobre os módulos do sistema fotovoltaico é fundamental para o seu dimensionamento e estudo de viabilidade. A radiação solar incidente sobre um painel fotovoltaico, não depende somente das condições atmosféricas, mas também da posição geográfica, horário do dia, e dia do ano. Isso se explica pela órbita da terra em torno do sol.

De acordo com [22], a estimativa da irradiação anual que incide sobre os geradores fotovoltaicos compreende três etapas: Cálculo da irradiação anual que incide sobre uma superfície horizontal, cálculo da irradiação anual incidente sobre uma superfície inclinada e o cálculo da irradiação anual efetiva incidente sobre a superfície do gerador fotovoltaico.

<sup>1</sup> Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.

<sup>2</sup> Pis - Programa de Integração Social. Pasep - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

O cálculo da irradiação anual que incide sobre os geradores fotovoltaicos é um procedimento trabalhoso, isso pelo elevado número de operações aritméticas envolvidas. Além de cálculos trigonométricos, são necessários modelos de distribuição temporal e espacial da radiação solar [23].

Visando facilitar a simulação e dimensionamento de aproveitamentos solares, o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), desenvolveu o software SOLARCAD. Trata-se de um pacote de programas, que visam o projeto de sistemas de energia solar e seus componentes, abrangendo tanto sistemas térmicos, como fotovoltaicos. Dentre os módulos que compõem o SOLARCAD, o RADIASOL 2 é empregado para o cálculo da intensidade da radiação solar sobre o gerador fotovoltaico.

Na Tabela 2 são apresentados os dados fornecidos pelo software referentes a irradiação (média diária global horizontal, média diária inclinada, média diária difusa inclinada, média diária direta inclinada) para a cidade de Ijuí, localizada na Latitude = -28.38, Longitude = 53.9. Para simulação foram considerados os valores para Azimute = 0, e Inclinação = 28°.

**Tabela 2. Dados Programa RADIASOL 2 - Irradiação Média (kWh/m²/dia).**

Mês	Irradiação média (kWh/m²/dia)				Irradiação média (kWh/m²/mês)
	Global	Direta	Difusa	Inclinada	
Janeiro	7,1	3,87	2,58	6,53	202,43
Fevereiro	6,13	3,36	2,68	6,11	171,08
Março	5,56	3,94	2,11	6,11	189,41
Abril	4,15	2,97	2,01	5,02	150,6
Maio	3,35	2,72	1,71	4,47	138,57
Junho	3,02	2,65	1,6	4,28	128,4
Julho	2,99	2,43	1,65	4,11	127,41
Agosto	3,96	3,13	1,87	5,04	151,2
Setembro	4,52	2,83	2,31	5,19	160,89
Outubro	5,63	3,38	2,4	5,83	174,9
Novembro	6,58	3,44	2,76	6,27	194,37
Dezembro	6,9	3,39	2,83	6,29	188,7
Média Mensal	4,99	3,18	2,21	5,44	164,83

Conhecendo os valores para posicionamento dos módulos (inclinação ( $\beta$ ) e azimute ( $\alpha$ )) e a irradiação anual incidente sobre a superfície dos geradores fotovoltaicos, pode-se calcular através da equação 01 o valor irradiação efetiva sobre os geradores fotovoltaicos, considerando perdas como a reflexão da irradiação incidente e o efeito da poeira sobre os módulos. Para o cálculo será considerado os coeficientes apresentados na Tabela 3 para uma superfície com grau mediano de sujeira, que se caracteriza por uma perda de transparência de 3% na direção normal à superfície.

$$\left[ \frac{G_{daeff}(\beta, \alpha)}{G_a(\beta_{opt})} \right] = g1(\beta - \beta_{opt})^2 + g2(\beta - \beta_{opt}) + g3 \tag{1}$$

$$g_i = g_{i1}|a|^2 + g_{i2}|a| + g_{i3}; \quad i = 1, 2, 3 \tag{2}$$



onde:  $G_{daeff}(\beta, \alpha)$  - Irradiação anual efetiva que incide sobre a superfície do gerador para ângulo azimutal ( $\alpha$ ) e ângulo de inclinação ( $\beta$ ) (kWh/m<sup>2</sup>);  $G_a(\beta_{opt})$  – Irradiação anual incidente sobre uma superfície inclinada para um ângulo  $\beta_{opt}$ , que permite que a captação da radiação solar pelo módulo seja máxima;  $\alpha$  – ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico;  $\beta_{opt}$  – ângulo de inclinação que permite que a captação da radiação solar pelo módulo seja máxima.

**Tabela 3. Valores dos coeficientes para superfícies com grau mediano de sujeira.**

Coeficientes	Tsujo(0)/Tlimpo(0)=0,97		
	i=1	i=2	i=3
g1i	8x10-9	3,8x10-7	-1,218x10-4
g2i	-4,27x10-7	8,2x10-6	2,892x10-4
g3i	-2,25x10-5	-1,034x10-4	0,9314

Substituindo os dados de orientação utilizados,  $\alpha=0^\circ$  e  $\beta=28^\circ=\beta_{opt}$ , na equação 08, obtém-se  $g_i=g_3$ . Aplicando  $g_3$  na equação 04 encontra-se a irradiação anual incidente efetiva sobre o gerador fotovoltaico:

$$\left[ \frac{G_{daeff}(28^\circ, 0^\circ)}{G_a(28^\circ)} \right] = g_3 \tag{3}$$

$$G_{daeff}(28^\circ, 0^\circ) = g_3 \times G_a(28^\circ) \tag{4}$$

A partir do somatório da irradiação média mensal inclinada, aplicada a Equação 04, se obtém a irradiação anual incidente efetiva sobre o gerador fotovoltaico.

$$G_{daeff}(28^\circ, 0^\circ) = 0,9314 \times 1977,96 = 1842,27 \text{ kWh/m}^2 \tag{5}$$

### 2.5. Potência Nominal Instalada ( $P_{nominal}$ )

A potência do sistema pode ser obtida a partir da equação 6, adaptada de Lorenzo (2002).

$$P_{nominal} = \frac{EAC}{\left( \frac{G_{daeff}(\beta, \alpha)}{G^*} \right) \cdot FS \cdot PR} \tag{6}$$

onde: EAC – Energia necessária a ser produzida pelo sistema anualmente;  $P_{nominal}$  – Potência nominal do sistema;  $G_{daeff}$  – Irradiação anual efetiva que incide sobre a superfície do gerador (kWh/m<sup>2</sup>);  $G^*$  - Irradiancia de 1.000 W/m<sup>2</sup>. Valor com que se determina a potência nominal dos módulos; FS – fator que expressa as perdas por sombreamento e PR – Fator que expressa o rendimento global da instalação.

$$P_{nominal} = \frac{365 \times 15}{\left( \frac{1842,27}{1000} \right) \cdot 1 \cdot 0,75} = 3962,50 \tag{7}$$

2.6. *Escolha do sistema*

Com base no resultado apresentado na equação 06, será escolhido kit gerador fotovoltaico de 3,96 kWp, encontrado no mercado nacional a um custo total de R\$ 21.250,00, constituído pelos componentes apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4. Componentes do kit Gerador Fotovoltaico Conectado a Rede.**

Descrição	Quantidade
Canadian Solar 72 Cells 330 W POLY-SI	12
Inversor Sungrouw Monofásico 3 kW – 1 MPPT	1
String Box ½ Corda 1 saída	1
Estrutura de Fixação	1
Cabos e conectores	1

2.7. *Estimativa da energia produzida pelo sistema*

A partir da irradiação para o local da instalação, aplicada a equação 8, pode-se obter a estimativa de produção da energia do sistema de microgeração. A produção mensal é apresentada na Tabela 5.

$$EAC = P_{\text{nominal}} \cdot \left( \frac{G_{\text{d\textit{aeff}}}(\beta, \alpha)}{G^*} \right) \cdot FS \cdot PR \tag{8}$$

**Tabela 5. Estimativa de produção em kWh.**

Mês	Ponta (18:00 às 21:00 hs)	Fora ponta (00:00 às 18:00 e 21:00 às 24:00 hs)
Janeiro	2	641
Fevereiro	-	542
Março	-	600
Abril	-	477
Mai	-	439
Junho	-	407
Julho	-	403
Agosto	-	479
Setembro	-	509
Outubro	-	555
Novembro	1	616
Dezembro	3	598

2.8. *Utilização do sistema de compensação*

A partir da energia estimada a ser produzida pela microgeração, pode-se realizar a comparação entre o benefício trazido pelo sistema de compensação, implantado a partir da publicação da resolução Aneel 482.

## 2.9. Economia proporcionada fazendo uso do sistema de compensação

No sistema de compensação implantado pela resolução 482, toda a energia injetada a rede resultará em crédito ao consumidor para abater de seu consumo futuro. Este crédito terá uma validade de 60 meses. Destaca-se, que apesar da unidade consumidora gerar 100 % do seu consumo, a concessionária fará a cobrança de um custo de disponibilidade, o qual é cobrado em kWh: 30 kWh para unidade monofásica, 50 para unidade bifásica e 100 kWh para unidade trifásica. A unidade em estudo é uma unidade consumidora monofásica. A Tabela 6 apresenta a economia mensal proporcionada pelo sistema de geração fotovoltaico no primeiro ano. A economia é resultante do custo da energia mensal, sem a instalação do sistema, subtraída do custo da energia mensal com o sistema instalado. Pode-se verificar que a soma totaliza R\$ 4.293,81.

**Tabela 6. Economia mensal proporcionada pelo sistema com o uso de sistema de compensação.**

	<b>Período</b>	<b>Custo da Energia sem sistema (R\$)</b>	<b>Produção + Crédito acumulado (kWh)</b>	<b>Custo energia com sistema (R\$)</b>	<b>Economia Mensal (R\$)</b>
Ano 1	Janeiro	428,14	643,16	24,28	403,86
	Fevereiro	390,91	656,50	24,28	366,63
	Março	398,19	773,75	24,28	373,91
	Abril	367,44	759,04	24,28	343,16
	Maior	314,83	743,83	24,28	290,55
	Junho <sup>1</sup>	442,91	761,98	67,22	375,69
	Julho	405,07	685,22	32,99	372,08
	Agosto	376,47	725,13	27,68	348,79
	Setembro	381,08	826,53	27,68	353,40
	Outubro	367,24	968,09	27,68	339,56
	Novembro	377,39	1186,94	27,68	349,71
	Dezembro	404,15	1379,06	27,68	376,47

Destaca-se, que a partir de dados de geração de um sistema instalado em uma residência habitada por uma família, composta por dois adultos e uma criança menor de 05 anos, os percentuais de a energia injetada na rede de distribuição são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7. Percentuais de energia injetada na rede de distribuição.**

<b>Mês</b>	<b>Percentual (%)</b>
Janeiro	18,50
Fevereiro	42,94
Março	24,32
Abril	7,23
Maior	20,77
Junho	26,86
Julho	22,73
Agosto	10,00

<sup>1</sup> É considerado um aumento do custo de energia no mês de junho de 14,01 %.

Setembro	20,00
Outubro	42,63
Novembro	34,71
Dezembro	37,99

Os dados apresentados na Tabela 7, foram extraídos pelo próprio autor de uma Unidade Consumidora (UC), atendida pelo Departamento Municipal de Energia de Ijuí (DEMEI), UC-17501/3, inversor de frequência Solar Energy do Brasil, modelo SE-TL2K.

*2.10. Economia proporcionada sem o uso do sistema de compensação*

Anteriormente a publicação da resolução 482, a unidade consumidora com sistema de microgeração fotovoltaica, poderia fazer uso apenas da energia gerada durante o consumo, ou seja, a energia gerada nos períodos do dia, que não tivesse consumo no mesmo instante, era injetada na rede e não gerava crédito a UC. A Tabela 8, apresenta a economia mensal proporcionada pelo sistema de geração fotovoltaico no primeiro ano, sem a utilização do sistema de compensação. Pode-se verificar que a soma totaliza R\$ 3.898,19.

**Tabela 8. Economia mensal proporcionada pelo sistema sem o uso de sistema de compensação.**

Período	Custo da Energia sem sistema (R\$)	Produção (descontada energia injetada na rede)	Custo energia com sistema	Economia Mensal (R\$)
Ano I Janeiro	R\$ 428,14	524,18	24,28	R\$ 403,86
Fevereiro	R\$ 390,91	309,46	140,45	R\$ 250,45
Março	R\$ 398,19	454,27	30,54	R\$ 367,65
Abril	R\$ 367,44	442,78	24,28	R\$ 343,16
Maiο	R\$ 314,83	347,66	33,46	R\$ 281,37
Junho	R\$ 442,91	297,79	168,13	R\$ 274,78
Julho	R\$ 405,07	311,59	117,57	R\$ 287,51
Agosto	R\$ 376,47	431,02	27,68	R\$ 348,79
Setembro	R\$ 381,08	407,52	27,68	R\$ 353,40
Outubro	R\$ 367,24	318,15	73,68	R\$ 293,56
Novembro	R\$ 377,39	402,74	27,68	R\$ 349,71
Dezembro	R\$ 404,15	372,76	60,20	R\$ 343,95

**3. Análise Econômica**

Para análise econômica de ambas as situações, economia com uso de sistema de compensação e sem uso de sistema de compensação, será utilizado o Período de Retorno Descontado (PRD) (Júnior, 2005) . O período de retorno descontado PRD, estima o tempo necessário para recuperar o capital investido na instalação do sistema fotovoltaico. Este cálculo considera o valor do custo de capital, ou seja, a taxa de retorno e a vida útil do equipamento. Através das equações 20 e 21 é possível calcular o PRD.

$$PRD = n \times FRC(d, n) \times PRS \tag{9}$$

onde: PRD – Período de retorno descontado;  $n$  – Vida útil do sistema (25 anos);  $FRC(d,n)$  – Fator de recuperação de capital; PRS – Período de Retorno Simples.

Para o cálculo do PRS será considerada a economia anual proporcionada pelo sistema de geração fotovoltaico.

$$PRS = \frac{\text{Investimento}_{\text{inicial}}(R\$)}{\text{Economia}_{\text{anual}}(R\$)} \quad (10)$$

O fator de recuperação de capital (FRC) é utilizado para análise de alternativas energéticas, o qual anualiza o valor de um determinado investimento feito no presente, considerando uma determinada taxa “d” de desconto e um período de “n” anos.

$$FRC(d,n) = \frac{d \times (1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \quad (11)$$

Considerando uma taxa de desconto de 7% e vida útil de 25 anos, se obtém um  $FRC(7\%,25) = 0,0858105$ . A partir dos parâmetros, pode-se achar o período de retorno descontado para cada uma das situações.

Para a microgeração utilizando sistema de compensação, o PRS apresenta um prazo de 4,08 anos, já o PRD apresenta um prazo de 8,74 anos. Considerando sem o sistema de compensação, o PRS atinge um prazo superior de 4,49 anos e o PRD de 9,63 anos.

#### 4. Conclusões

A diversificação da matriz energética é de interesse de todas as nações. Uma matriz energética diversificada permite o uso eficiente dos recursos naturais de um país para a produção de energia elétrica. Fontes renováveis, como solar e eólica, podem ser empregadas como complementares a energia de base do sistema elétrico. Desta forma, uma legislação que contribua para o desenvolvimento de um mercado de energia fotovoltaica, ou renovável, contribuirá significativamente para uma matriz energética diversificada.

A partir da sintetização da legislação do setor elétrico nacional brasileiro, realizado neste trabalho, verifica-se que a criação do mercado da tecnologia fotovoltaica teve início a partir da publicação da Resolução Normativa nº 482. A publicação desta resolução tornou possível a utilização de sistemas fotovoltaicos por consumidores de energia elétrica. Já a implantação do sistema de compensação, tornou o investimento em microgeração de energia elétrica, atraente para consumidores de baixa tensão, proporcionando uma redução de aproximadamente de 10,8 % do tempo de retorno do investimento.

Pode-se concluir que o desenvolvimento de um mercado de energia renovável, inicia-se a partir de uma legislação moderna e eficiente, a qual proporcione aos investidores a redução do tempo de retorno do investimento. Estes por sua vez, irão aquecer o mercado fotovoltaico, a partir da busca pela instalação de sistemas, resultando no amadurecimento do mercado, tornando esta fonte cada vez mais competitiva.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a revista +Ingenio pela oportunidade de publicação deste artigo, assim como, ao curso de Eletrotécnica da Escola Técnica Estadual 25 de julho, pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa sobre este tema, o qual é de grande relevância ao setor elétrico nacional.

## Referencias

- [1] Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, p. 06, 2017.
- [2] Macêdo, W. N. Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede. USP – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- [3] ANEEL, Unidades consumidoras com geração distribuída, Geração Distribuída, Brasília, 19 de Dezembro 2018, Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp)>. Acesso em: 19 dezembro. 2018.
- [4] Oliveira, S. H. Geração distribuída de eletricidade; inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. USP - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- [5] Globo, Primeira usina solar comercial do Brasil atrai negócios para o Ceará, 12 de Dezembro 2011, Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2011/12/primeira-usina-solar-comercial-do-brasil-atrai-negocios-para-o-ceara.html>>. Acesso em: 17 julho. 2018.
- [6] Schonardie, M. F., Conversor PWM bi-direcional trifásico aplicado a sistemas fotovoltaicos interligados com controle de potência ativa e reativa modelado por transformada dq0, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.
- [7] Hoff, T., Wenger, H., & Farmer, B. Distributed generation: An alternative to electric utility in system capacity. 137 - 147. Energy Policy. Great Britain, 1996
- [8] Brasil. Lei n.º 9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19074cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19074cons.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [9] \_\_\_\_\_. Decreto n.º 2.003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. Diário Oficial da União Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d2003.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2003.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [10] \_\_\_\_\_. Lei n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19427cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427cons.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [11] \_\_\_\_\_. Lei n.º 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19478.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [12] \_\_\_\_\_. Lei n.º 9.648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis 3.890-a, de 25 de abril de 1961, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, autoriza o poder executivo a promover a reestruturação das centrais elétricas brasileiras S.A. - Eletrobras e de suas subsidiárias, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19648cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19648cons.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [13] ANEEL - Agência Nacional da Energia Elétrica. Resolução n.º 281, de 1º de outubro de 1999. Estabelece as condições gerais de contratação do acesso, compreendendo o uso e a conexão, aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Disponível em ANEEL: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres1999281.pdf>>. Acesso em 18 de julho de 2018.



- [14] Brasil. Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do 109 serviço público de energia elétrica, dá nova redação às leis n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996, n.º 9.648, de 27 de maio de 1998, n.º 3.890-A, de 25 de abril de 1961, n.º 5.655, de 20 de maio de 1971, n.º 5.899, de 5 de julho de 1973, N.º 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/l10438.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [15] \_\_\_\_\_. Lei n.º.10.762, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/2003/L10.762.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.762.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [16] \_\_\_\_\_. Lei n.º. 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [17] \_\_\_\_\_. Decreto n.º 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm)>. Acesso em: 18 de julho de 2018.
- [18] Canal Energia, Isenção de ICMS sobre geração distribuída alcança todo país, 24 de maio de 2018, Disponível em:< <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53062316/isencao-de-icms-sobre-geracao-distribuida-alcanca-todo-pais>>. Acesso em:17 de julho de 2018.
- [19] IEA-PVPS - International Energy Agency Photovoltaic Power System Programme, Trends in photovoltaic applications survey report of selected IEA countries between1992 and 2008. Report IEA-PVPS T1-18:2009. 2009.
- [20] BlueSol energia solar, Energia Solar Residencial: Por que Você Deveria Pensar em Utilizar, 10 de julho de 2018, Disponível em:< <http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-residencial-uma-otima-opcao/>>. Acesso em:20 de julho de 2018.
- [21] Júnior, O. L., Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso – 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP, Universidade de SãoPaulo, São Paulo, 2005.
- [22] Lorenzo, E, La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: El mito del 1300 y el cascabel del gato, Era Solar, N.º. 107, p 22-28, 2002.
- [23] UFRGS, Laboratório de energia solar/UFRGS, 2010. Disponível em <<http://www.solar.ufrgs.br>>. Acesso em: 20 de julho de 2018.