



**INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

**MARCOS SAMPAIO DE SOUSA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) INSTALADO NO IFTO CAMPUS  
PALMAS**

**Palmas, TO  
2016**

**MARCOS SAMPAIO DE SOUSA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFGR) INSTALADO NO IFTO CAMPUS  
PALMAS**

Projeto Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas.

Orientador: Professor Dr. Fabio Lima de Albuquerque.

**Palmas, TO  
2016**

Sampaio, Marcos

Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) Instalado no IFTO Campus Palmas / Marcos Sampaio de Sousa – Palmas, 2016.

54f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque.

Fotovoltaico 1. Compensação 2. I. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) Instalado no IFTO Campus Palmas.

**MARCOS SAMPAIO DE SOUSA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) INSTALADO NO IFTO CAMPUS PALMAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos pela Coordenação da Área de indústria no Instituto Federal de Palmas - unidade Sede.

Palmas, 28 de Março de 2016.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque  
Presidente e Orientador

---

Prof. Me. Alcy Monteiro Junior  
Coorientador

---

Prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira  
Membro de Banca Examinadora

---

Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt  
Membro de Banca Examinadora

## RESUMO

Com base na resolução normativa 687/2015, este trabalho analisou a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR), a ser implantado no Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas, aproveitando as áreas úteis dos telhados, com a finalidade de tornar este campus auto sustentável no consumo de energia elétrica. Através desses dados foi constatado que o sistema é viável para ser implantado na instituição, pois, embora exija um gasto inicial bastante elevado, o retorno financeiro (9 anos) ficou dentro do tempo estimado para os sistemas fotovoltaicos que oscilam entre 8 e 12 anos.

**Palavras-chave:** Fotovoltaico, Compensação, Retorno financeiro, Viabilidade.

## ABSTRACT

Based on the rules Resolution 687/2015, this study analyzed the technical and economic feasibility of a photovoltaic system connected to the grid (SFCR) , to be implemented at the Federal Institute of Tocantins (IFTO) - Campus Palmas, taking advantage of the useful areas of roofs , in order to make this self-sustainable campus in the consumption of electricity. Through these data it was found that the system is feasible to be implemented in the institution, because , although it requires an initial spent quite high financial returns (9 years) was within the estimated time for PV systems ranging from 8 to 12 years.

**Keywords:** Photovoltaic, Compensation, Payback, Viability.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO .....	13
FIGURA 2: POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR ANUAL, DIVIDIDO POR REGIÕES .....	14
FIGURA 3: RADIAÇÃO SOLAR WH/M <sup>2</sup> /DIA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO .....	15
FIGURA 4: AUMENTO DO USO DAS TERMELÉTRICAS ENTRE 2012 E 2014 .....	17
FIGURA 5: EXEMPLO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, VÁRIAS CENTRAIS GERADORAS CONECTADAS A REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	23
FIGURA 6: SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE .....	24
FIGURA 7: MOSTRA A ÁREA DOS TELHADOS DOS BLOCOS ONDE SERÃO SIMULADOS A INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS .....	31
FIGURA 8: SIMULAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS .....	32
FIGURA 9: GRÁFICO DA ENERGIA GERADA MENSALMENTE PELO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	36
FIGURA 10: GRÁFICO MOSTRA A CURVA DE CARGA E CURVA DE GERAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	39
FIGURA 11: GRÁFICO COM O CONSUMO PONTA E FORA DE PONTA.....	41
FIGURA 12: GRÁFICO MOSTRANDO O CONSUMO FORA DE PONTA E AS COMPENSAÇÕES .....	43
FIGURA 13: GRÁFICO DO CONSUMO E COMPENSAÇÕES NO HORÁRIO DE PONTA.....	44
FIGURA 14: GRÁFICO COMPARANDO AS DIFERENÇAS ENTRE FATURAS .....	45
FIGURA 15: GRÁFICO COM DADOS SOBRE A ECONOMIA GERADA TODOS OS MESES PELO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	46

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: IRRADIAÇÃO SOLAR POR PAÍS.....	16
TABELA 2: POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIAS .....	16
TABELA 3: ÁREA TOTAL DOS TELHADOS DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS.....	33
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS .....	34
TABELA 5: DADOS TÉCNICOS DOS INVERSORES UTILIZADOS .....	34
TABELA 6: ÍNDICES DE INSOLAÇÃO MÉDIOS POR MÊS, USADO COMO BASE PARA O CÁLCULO DA ENERGIA GERADA PARA A CIDADE DE PALMAS – TO.....	35
TABELA 7: ENERGIA GERADA POR MÊS PELO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	36
TABELA 8: COMPOSIÇÃO DAS TARIFAS PONTA E FORA DE PONTA.....	37
TABELA 9: PORCENTAGEM DA TUSD E TE QUE INCIDEM SOBRE A CONTA DE ENERGIA.....	38
TABELA 10: VALORES PAGOS TUSD NO HORÁRIO FORA DE PONTA.....	40
TABELA 11: CONSUMO PONTA E FORA DE PONTA.....	41
TABELA 12: COMPENSAÇÃO NO HORÁRIO FORA DE PONTA .....	42
TABELA 13: CONSUMO E COMPENSAÇÕES NO HORÁRIO DE PONTA.....	44
TABELA 14: COMPARAÇÃO DA FATURA DE ENERGIA COM E SEM O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO EM R\$.....	45
TABELA 15: DADOS COM A DIFERENÇA ENTRE FATURAS.....	46
TABELA 16: ORÇAMENTO CORRESPONDENTE A UM KIT COMPLETO TRIFÁSICO 380 V DE 100 KWP .....	47
TABELA 17: ORÇAMENTO CORRESPONDE A UM KIT COMPLETO TRIFÁSICO 380 V DE 40 KWP .....	48
TABELA 18: CÁLCULO DO PREÇO TOTAL DOS KITS .....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL .....	Agencia nacional de energia elétrica
CA .....	Corrente alternada
CC .....	Corrente contínua
Hz .....	Hertz
IFTO .....	Instituto federal de educação ciência e tecnologia do Tocantins
FV .....	Fotovoltaico
GD .....	Geração distribuída
kV .....	Quilovolt
kW .....	Quilowatt
kWh .....	Quilowatt-hora
SFCR .....	Sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica
Wh .....	Watt-hora
kW/m <sup>2</sup> .....	Quilowatt por metro quadrado
Wh/m <sup>2</sup> .....	Watt hora por metro quadrado
m <sup>2</sup> .....	metros quadrados
Vca .....	Tensão em corrente alternada
Vcc .....	Tensão em corrente contínua
°C .....	Graus Cécius
ICA .....	Internacional Copper Association
GW .....	Gigawatt
kWh/m <sup>2</sup> .....	Quilowatt hora por metro quadrado
Wh/m <sup>2</sup> /dia .....	Quilowatt hora por metro quadrado por dia
SIN .....	Sistema interligado nacional
Km <sup>2</sup> .....	Quilômetros quadrados
Wh/m <sup>2</sup> /ano .....	Quilowatt hora por metro quadrado por ano
EPE .....	Empresa de pesquisa energética
MME .....	Ministério de minas e energia
PRODEEM .....	Programa de desenvolvimento energético de estados e municípios
P&D .....	Pesquisa e desenvolvimento
MWp .....	Mega-watt-pico
Wp .....	Watt-pico

LER ..... Leilão de energia de reserva  
PCHs ..... Pequenas centrais hidrelétricas  
TUSD ..... Tarifa sobre o uso do sistema de distribuição  
TE..... Tarifa de energia  
Kg..... Quilograma  
THD..... Taxa de distorção harmônica  
SPMP ..... Seguidor do Ponto de Máxima Potência

## SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABELAS .....	8
LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS.....	9
1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1 Aspectos gerais sobre a energia solar fotovoltaica no mundo .....	12
1.2 Radiação solar incidente no território brasileiro.....	13
1.3 Energia fotovoltaica no Brasil .....	17
1.4 Justificativas do trabalho .....	19
1.5 Objetivos do trabalho.....	20
1.6 Estrutura do trabalho .....	21
2. O SISTEMA SOLAR COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E SUAS NORMATIVAS .....	22
2.1 Geração distribuída .....	22
2.2 Sistema fotovoltaico conectado a rede (SFCR).....	24
2.3 Procedimentos para viabilizar o acesso da geração à rede de distribuição. .....	25
2.4 Resolução ANEEL 687/2015 (ANEEL ,2015), que regulamenta o Sistema de Compensação de Energia. Regras da Mini e Micro Geração para a geração distribuída .....	27
3. SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE INSTALADO NO IFTO .....	30
3.1 Área disponível para a instalação dos painéis .....	30
3.2 Informações técnicas a respeito dos módulos e inversores .....	33
3.3 Cálculo da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico .....	35
3.4 Curva de carga .....	38
3.5 Análises de consumo e compensações por posto horário .....	40
3.5.1. Compensação no horário fora de ponta .....	42
3.5.2. Análise das compensações no horário de ponta .....	43
3.6 Economia com o sistema .....	44

3.7 Custos necessários para a construção do sistema .....	47
4. CONCLUSÕES A CERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	50
5. SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	51
6. BIBLIOGRAFIA .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Aspectos gerais sobre a energia solar fotovoltaica no mundo

Atualmente, nosso cenário global está necessitando de uma mudança na matriz energética tradicional. Os combustíveis fósseis são poluentes, pois emitem gases causadores do efeito estufa, e por serem provenientes de uma fonte finita, tendem a perderem espaço para as fontes renováveis de energia. Assim, o novo desafio será a geração de energia em quantidade condizente com o crescimento e desenvolvimento atual, com um mínimo de impacto ambiental. Partindo desse pressuposto a energia solar se apresenta como uma alternativa bastante promissora na geração distribuída, para abastecer residências e instalações comerciais de pequeno porte. (GABARDO; RADASKIEVICZ, 2013).

Segundo a *Internacional Copper Association (ICA)*, entre as vantagens desse tipo de energia pode-se destacar que ela é abundante, renovável, não polui nem prejudica o ecossistema, e pode ser utilizada como uma das saídas para a atual dependência do petróleo e outras fontes mais poluentes.

Em escala mundial a energia fotovoltaica desenvolveu bastante apresentando escalas de crescimento cada vez maiores. No ano de 2009 a capacidade total instalada era próxima de 23GW, em 2010 alcançou 40 GW, passando a 69,7 GW em 2011. No término do ano 2013 a capacidade total instalada alcançou 138,8 GW (EPIA, 2014).

Em 2013 no cenário do mundial de energia fotovoltaica a China foi o que mais evoluiu com 11,8 GW instalados, acompanhados por Japão 6,9 GW e Estados Unidos com 4,8 GW (EPIA, 2014).

No continente Europeu em 2013 a Alemanha possuía 3,3 GW o Reino unido 1,5 GW, Itália 1,4 GW, Romênia 1,1 GW e Grécia 1,04GW. A Figura 1 mostra a evolução da capacidade instalada a nível mundial.

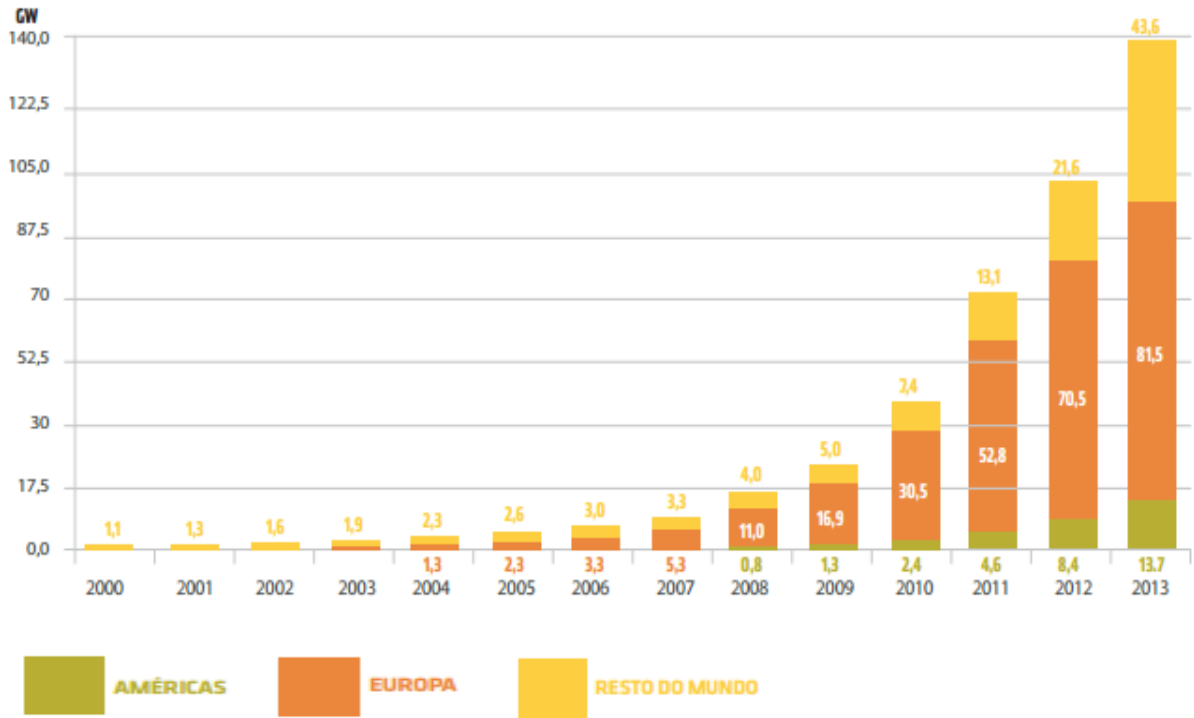


Figura 1. Evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo (EPIA, 2014).

## 1.2. Radiação solar incidente no território brasileiro

Naturalmente, o Brasil possui várias vantagens no desenvolvimento desse setor. Além do alto nível de insolação, possui grandes reservas de quartzo de boa qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, utilizado na fabricação das células e módulos solares (EPE/MME, 2012).

Assim, essas vantagens quanto ao uso da energia solar podem ser usadas como parte da solução para a crise de geração de energia elétrica que ocorreu no Brasil, devido a falta de planejamento do governo federal e agravada pelo baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas devido à estiagem.

Os mapas das Figuras 2 e 3 demonstram o potencial médio de energia solar no Brasil. O nordeste apresenta os maiores índices, seguidos pelo centro-oeste e sudeste. A região norte apresenta valores próximos da região sul, devido às características do clima.

Mesmo nas regiões com baixa irradiação solar no território brasileiro, o potencial de aproveitamento é considerável, sendo que a irradiação média brasileira é de 5,2 kWh/m<sup>2</sup>, com mínima de 4,3kWh/m<sup>2</sup> (SC) e máxima 6,1 kWh/m<sup>2</sup> (PB).

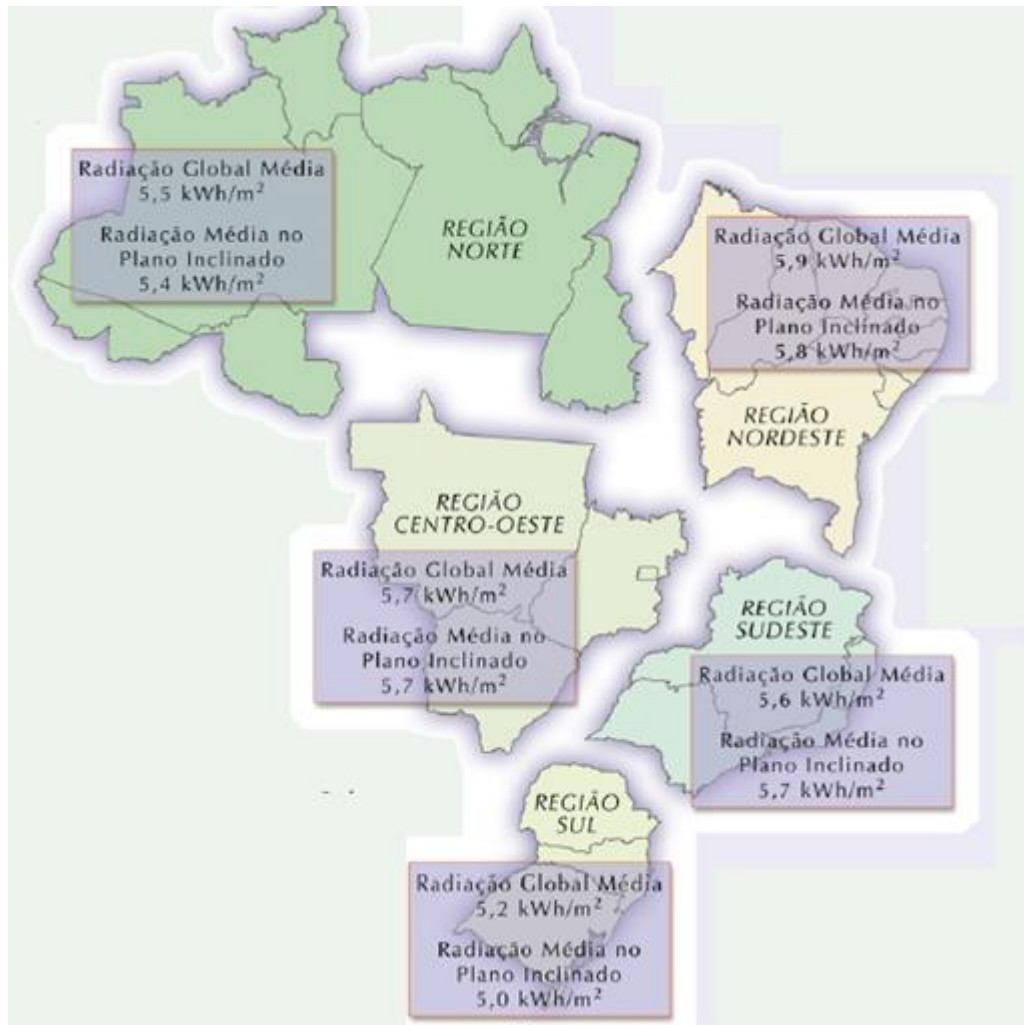


Figura 2. Potencial de energia solar anual, dividido por regiões. (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006).

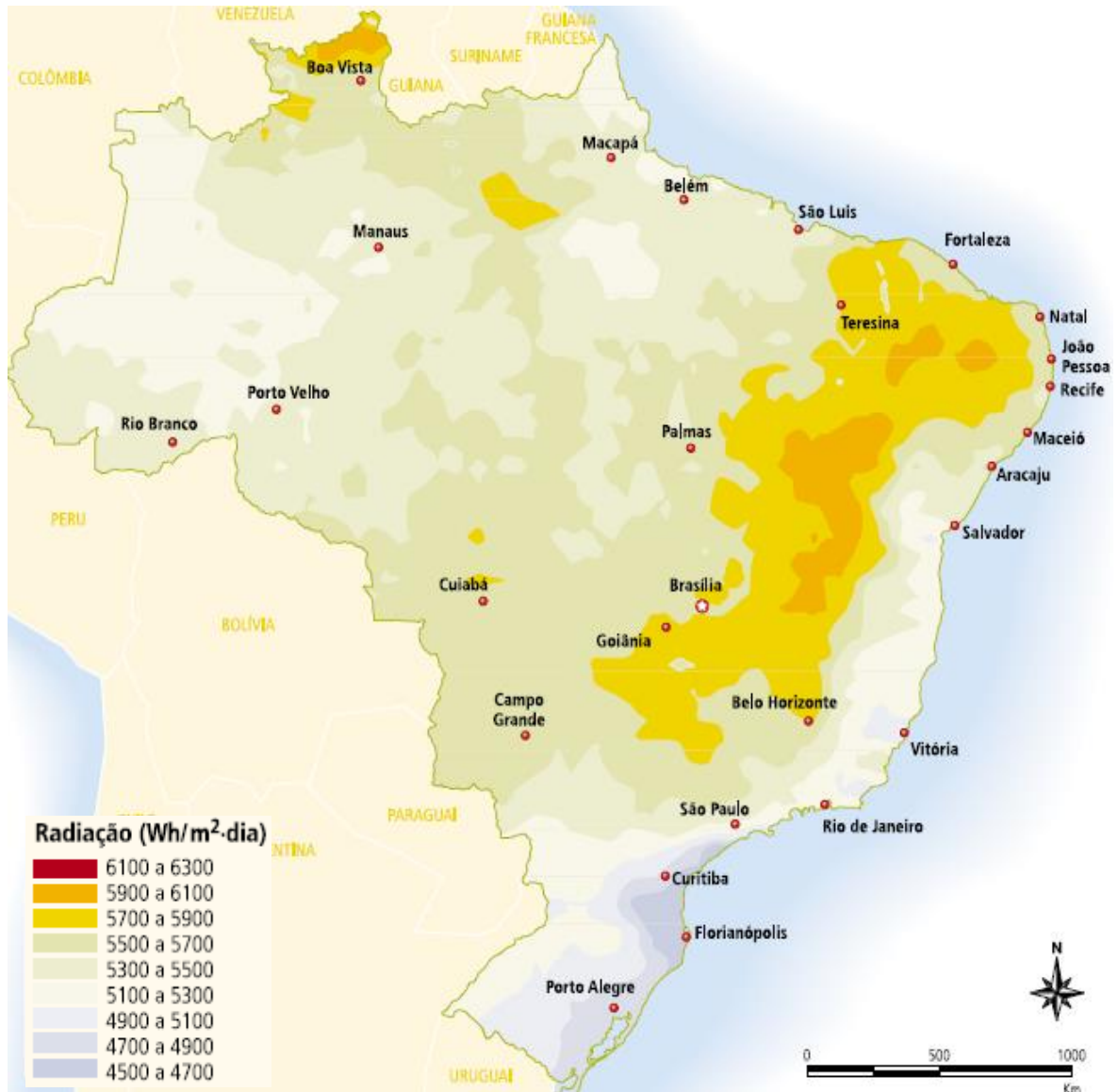


Figura 3. Radiação solar Wh/m<sup>2</sup>/dia no território brasileiro. (ATLAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL, 1998).

Observando esses dados, percebe-se que a radiação solar média em qualquer parte do território brasileiro é bem superior a radiação incidente na maioria dos países da união europeia como França, Alemanha, Espanha, etc. que recebem fortes incentivos governamentais para o aproveitamento da energia solar conforme mostrado na Tabela 1 (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2002).

Tabela 1. Irradiação solar por país. (WWF, 2015).

Irradiação solar (kWh/m <sup>2</sup> /dia)				
País	mínima	máxima	média	área (mil. km <sup>2</sup> )
Alemanha	2,47	3,42	2,95	357,02
França	2,47	4,52	3,49	543,97
Espanha	3,29	5,07	4,18	504,97
Brasil	4,25	6,75	5,50	8.515,77

Em todos os estados brasileiros a capacidade de geração de energia solar nos telhados das residências é relativamente superior ao consumo Tabela 2, essa relação chega a 230%, significando que a capacidade de geração chega a ser mais de duas vezes maior que o consumo. (SILVA, 2015).

Tabela 2. Potencial de geração fotovoltaica em residências (SILVA, 2015)

UF	Potencial Fotovoltaico Residencial (MW médios)	Potencial Fotovoltaico Residencial (GWh/ano)	Consumo Residencial Anual 2013 (GWh)	Potencial Fotovoltaico/Consumo Residencial
AC	110	964	373	258%
AL	505	4.424	1.227	361%
AM	420	3.679	1.784	206%
AP	80	701	500	140%
BA	2.360	20.674	6.144	337%
CE	1.430	12.527	3.751	334%
DF	410	3.592	2.191	164%
ES	595	5.212	2.213	236%
GO	1.220	10.687	3.958	270%
MA	1.020	8.935	2.563	349%
MG	3.675	32.193	10.118	318%
MS	505	4.424	1.571	282%
MT	570	4.993	2.182	229%
PB	1.020	8.935	2.632	339%
PB	655	5.738	1.603	358%
PE	1.410	12.352	4.563	271%
PI	555	4.862	1.328	366%
PR	1.960	17.170	6.986	246%
RJ	2.685	23.521	12.833	183%
RN	555	4.862	1.805	269%
RO	265	2.321	1.084	214%
RR	65	569	345	165%
RS	1.970	17.257	7.750	223%
SC	1.075	9.417	4.935	191%
SE	350	3.066	979	313%
SP	7.100	62.196	38.783	160%
TO	255	2.234	695	321%
<b>Total</b>	<b>32.820</b>	<b>287.505</b>	<b>124.896</b>	<b>230%</b>

### 1.3. Energia fotovoltaica no Brasil

A matriz energética brasileira tem uma grande participação das usinas hidrelétricas, estas causam um grande impacto ambiental no local onde são construídas, causando a perda de grande parte da vegetação, áreas férteis, e ainda a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa como o metano, que segundo estudos, é emitido da matéria orgânica em decomposição em áreas alagadas (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006).

A energia proveniente da fonte hidráulica ocupando 61,15% da matriz energética (ANEEL, 2016) traz graves problemas para o setor elétrico, por que essa fonte depende bastante das chuvas, que está bastante oscilante causando períodos de baixas nos reservatórios das usinas. Inserir e impor grandes parcelas de participação na matriz energética de fontes renováveis mostra ser bastante benéfico, pois garantiria o atendimento da grande demanda por energia, traria mais segurança para o sistema elétrico e a parcela de emissão de gases causadores de efeito estufa reduziria bastante (WWF, 2015).

O Brasil tem feito bastante uso das usinas termelétricas Figura 4 movida a óleo combustível, carvão mineral e gás natural, para suprir o problema da baixa geração hídrica. Em 2014 as termelétricas geraram 11.347,08 GW médios, essa crescente utilização das térmicas geram custos que refletem no consumidor final, sofrendo sucessivos aumentos nas taxas de energia elétrica (ONS, 2016).

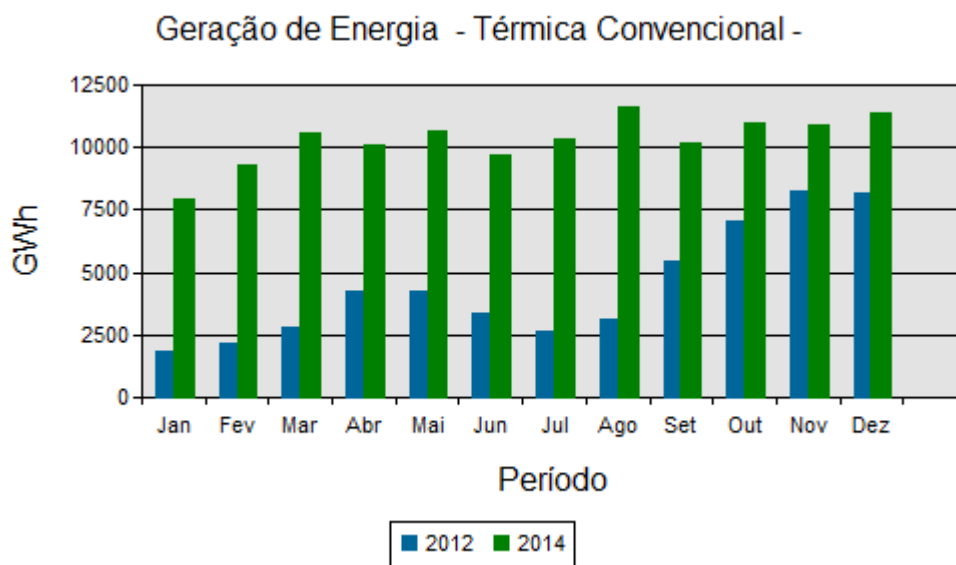


Figura 4. Aumento do uso das termelétricas entre 2012 e 2014 (ONS, 2016)

Segundo pesquisas, todo o montante de energia consumido em 2011 no SIN (sistema interligado nacional), e toda a energia gerada e distribuída no território brasileiro, poderia ser gerada por painéis solares ocupando uma área de 2.400 Km<sup>2</sup> estando num local de irradiação média de 1400 kWh/m<sup>2</sup>/ano. (EPE/MME, 2012).

A maior parte do país está localizado na região inter-tropical, fator que contribui para que o aproveitamento da energia solar seja alto durante o ano inteiro. Porém, na matriz energética, a participação dessa fonte é relativamente baixa. (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006).

O Brasil está começando a dar os primeiros passos no processo de inclusão da energia solar na matriz energética. Iniciou a caminhada Com o PRODEEM (Programa de desenvolvimento energético de estados e municípios), que objetivou distribuir energia elétrica nos meios rurais usando painéis solares, em 1994 pelo governo brasileiro. Investiu em projetos de pesquisa como o projeto “pesquisa e desenvolvimento (P&D) número 13” da Agência nacional de energia elétrica (ANEEL), em agosto de 2011, que em suma analisaria o desempenho técnico-econômico de usinas fotovoltaicas de 0.5 MWp a 3 MWp e dados solarimétricos, para possível conexão à matriz energética. Posteriormente a ANEEL aprovou as resoluções 481 e 482. Ambas possuem regram direcionadas a geração distribuída, mas a resolução 482 em 2015 sofreu aprimoramentos e passou a ser denominada Resolução Normativa 687/2015, entrando em vigor no dia 1º de março de 2016, que regula os sistemas de Micro e minigeração distribuída (WWF, 2015).

Segundo (SILVA, 2015) estão sendo feitos trabalhos de divulgação do sistema de geração fotovoltaica para a população em geral, que incluem:

- Selo solar: concedido a instituições, que no período de um ano consumir o mínimo de energia proveniente da fonte solar;
- Guia de Micro geradores fotovoltaicos: contendo instruções e procedimentos para os interessados em instalar o sistema em sua residência;
- Simulador solar: permite simular o dimensionamento de um sistema fotovoltaico de acordo com a carga do consumidor interessado;
- Lista de empresas do setor fotovoltaico: relação contendo mais de 300 empresas que atuam no setor fotovoltaico no Brasil;

Essas informações são necessárias para retirar possíveis dúvidas, incertezas, e divulgar para a população informações precisas sobre a energia proveniente do sol.

Destaca-se no mercado nacional de energia fotovoltaica o 6º leilão de energia de reserva (LER/2014), em que foram contratados 31 projetos totalizando 889,7 MW de potência, comercializados ao valor médio de R\$215,12/MWh. Nesse leilão competiram somente empreendimentos fotovoltaicos e foi direcionado especificamente para energia fotovoltaica, não concorrendo com outras fontes. (SILVA, 2015).

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, atualmente (03/2016) há 60 usinas solares fotovoltaicas outorgadas com potência variando de 20MW a 30MW cada, totalizando uma potência total de 1.736,81 MW (ANEEL,2016). Também, de acordo com o Registro de Micro e Minigeração Distribuída da ANEEL, regulamentado pela Portaria 687/2015, a qual estabelece a compensação de energia, há no Brasil para o mês de março de 2016, 1910 instalações em funcionamento, com potência total de 29.132kWp (ANEEL,2016).

Segundo (SILVA, 2015), o preço médio por MWh de numa usina fotovoltaica esta cotado entre 300 R\$ (Reais) e 400 R\$ (Reais), entretanto, no leilão de energia de reserva (LER) essa fonte foi comercializada a cerca de 215,12 (Reais) R\$/MWh. O preço elevado ainda é o principal vilão no preço final da energia solar, devido ao valor dos equipamentos para a montagem do sistema.

Em 2011, a ANEEL divulgou uma nota técnica informando que estados que tivessem com tarifas entre 500 e 600 (Reais) R\$/MWh seria viável a instalação de fontes fotovoltaicas. Essa situação se verifica nos seguintes estados: Minas Gerais, Maranhão, Tocantins, Ceará, Piauí, Parte do Rio de Janeiro, Mato Grosso e interior de São Paulo (SILVA, 2015).

#### **1.4 Justificativas do trabalho**

Como foi salientado anteriormente, o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica do sistema de distribuição encontra-se atualmente bastante disseminado nos Estados Unidos, Japão e na Europa e com grandes perspectivas de crescimento no Brasil. Porém, há certas barreiras a serem

transpostas para que este tipo de geração possa competir com as gerações convencionais utilizadas atualmente, pois, como mostra a experiência internacional, muitos proprietários de sistemas fotovoltaicos têm tido que enfrentar obstáculos significativos, sendo os principais deles a necessidade da popularização de seu uso e a diminuição do custo de instalação. Também, devido à natureza inerentemente estocástica da radiação solar, e, portanto, a sua imprevisibilidade devido às condições ambientais, os sistemas de geração fotovoltaica funcionam de forma intermitente. Por causa disso este tipo de aproveitamento energético ainda é tratado com restrições por parte das concessionárias de energia elétrica e dos consumidores em geral.

Assim, têm-se a necessidade de desenvolver estudos sobre viabilidades técnica e econômicas deste tipo de geração para que seja quebrado alguns paradigmas em relação à sua disseminação. Estes estudos devem envolver tanto a questão técnica como econômica.

### **1.5. Objetivos do trabalho**

Este trabalho tem como principal objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, a ser implantado no IFTO, com módulos fotovoltaicos instaladas em todas as áreas possíveis.

De forma mais específica, os objetivos deste trabalho são:

- Analisar na instituição quais os locais mais propícios para a instalação de painéis fotovoltaicos;
- Através do levantamento da área útil dos telhados propícios à instalação dos painéis fotovoltaicos, calcular a quantidade de painéis utilizados e potência do sistema;
- Fazer o levantamento dos custos necessários à construção desse sistema. Com base na quantidade de painéis instalados;
- Calcular a quantidade de energia que poderá ser gerada por este sistema;
- Fazer o levantamento do gasto de energia elétrica mensal no IFTO;
- Calcular em quanto tempo a instituição irá restituir o valor investido no sistema;

- Analisar se o sistema é viável para ser implantado na instituição;
- conclusões acerca da viabilidade do sistema.

## **1.6. Estrutura do trabalho**

Para maior facilidade de entendimento do tema desenvolvido, o trabalho foi estruturado em quatro capítulos, como apresentado a seguir:

Capítulo 1: Este é o capítulo em pauta, no qual foi realizada uma breve análise dos aspectos gerais sobre a energia solar fotovoltaica no mundo como: a radiação solar incidente no território brasileiro, o uso da energia fotovoltaica no Brasil. Finalizando, é descrito a forma em que foi organizado o trabalho indicando o objetivo de cada capítulo;

Capítulo 2: Conceito de geração distribuída, seus efeitos e impactos para o sistema elétrico atual e como a energia solar fotovoltaica pode se enquadrar neste novo tipo de geração. Lei da Mini e Micro Geração para a geração distribuída: Resoluções ANEEL 482/2012, posteriormente alterada para a Resolução 687/2015, que regulamenta o Sistema de Compensação de Energia;

Capítulo 3: Análise da viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico conectado a rede com dados sobre: Imagens da área disponível para a instalação dos painéis, Informações técnicas gerais e a respeito dos módulos e inversores, cálculo da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, curva de carga, análises de consumo e compensações por posto horário, economia em Reais (R\$) gerada pelo sistema, custos necessários para a construção do sistema e cálculo do Tempo de retorno do montante investido (Payback), do sistema.

Capítulo 4: Finalmente, são apresentadas as conclusões gerais a respeito dos resultados obtidos e sugeridas as propostas das complementações a serem efetuadas em trabalhos futuros.

## **2. O SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E SUAS NORMATIVAS**

### **2.1. Geração distribuída**

A geração distribuída (GD) é uma nova abordagem usada na indústria elétrica, sendo geralmente composta de pequenas unidades e com fornecimento não centralizado, normalmente localizada próxima dos consumidores. Esse tipo de geração oferece para as concessionárias elétricas um meio de aumentar a disponibilidade de energia localmente, eliminando o inconveniente do transporte desta para os centros consumidores. Ela permite também manter os níveis de tensão em patamares considerados satisfatórios em alimentadores, quando há restrições de fornecimento de energia devido a períodos de ponta de carga, podendo ainda adiar investimentos de expansão no sistema de geração, transmissão e distribuição. Assim, as GDs são caracterizadas como usinas de pequeno porte (painéis solares, turbinas eólicas, microcentrais hidrelétricas, geradores a biodiesel, etc.) ou que são pequenas o suficiente para serem conectadas ao sistema de distribuição em vez de ao sistema de transmissão e tem base no uso de fontes renováveis de energia ou de tecnologias para a geração combinada de calor e energia.

As GDs podem ser de uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte por concessionárias de energia elétrica, consumidores e terceiros com aplicações que beneficiam tanto o sistema elétrico como os consumidores.

Para o caso do Brasil, a GD é uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou no lado do consumidor conectado a algum ponto do sistema elétrico ou está conectada diretamente à rede de transmissão, desde que ela não possa ser considerada pertencente à geração centralizada.

Outro aspecto importante em relação a esses tipos de fontes é que, por possuírem características modulares, podem começar a operar no momento em que são instaladas, independentes das condições de outras unidades de geração distribuída. Assim, caso uma unidade de geração falhe, esta não afetará outras. Como cada unidade é pequena em relação a uma grande geração centralizada, o efeito da falha de uma não comprometerá a potência total disponível no sistema.

Na maioria das vezes, a influência da geração distribuída (Figura 5), devido ao seu pequeno porte, é local ou regional. Alguns desses impactos possuem características positivas como: suporte de tensão com o fornecimento de energia reativa local, melhoria da qualidade de suprimento, redução das perdas, redução do nível de carregamento das redes e transformadores, liberação da capacidade de atendimento, redução nos custos de expansão da rede e a prorrogação de novos investimentos na construção de grandes usinas (HOFF; SHUGAR, 1995).

Além disso, caso a produção de pequenos blocos de energia seja por fontes renováveis, tais como pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), geração termelétrica utilizando biomassa, geradores eólicos e sistemas fotovoltaicos, o resultado será um pequeno impacto ambiental.

Assim, há várias razões para o uso de SFCRs (sistemas fotovoltaicos conectados a rede) como GD: potencial energético significativo, baixa emissão de poluentes, diminuição dos preços dos componentes dos sistemas fotovoltaicos nos dias atuais, alta confiabilidade e características multifuncionais dos componentes como elementos de construção (ERGE; KIEFER; HOFFMANN, 2001) e (COCIAN; SANTOS, 2000).

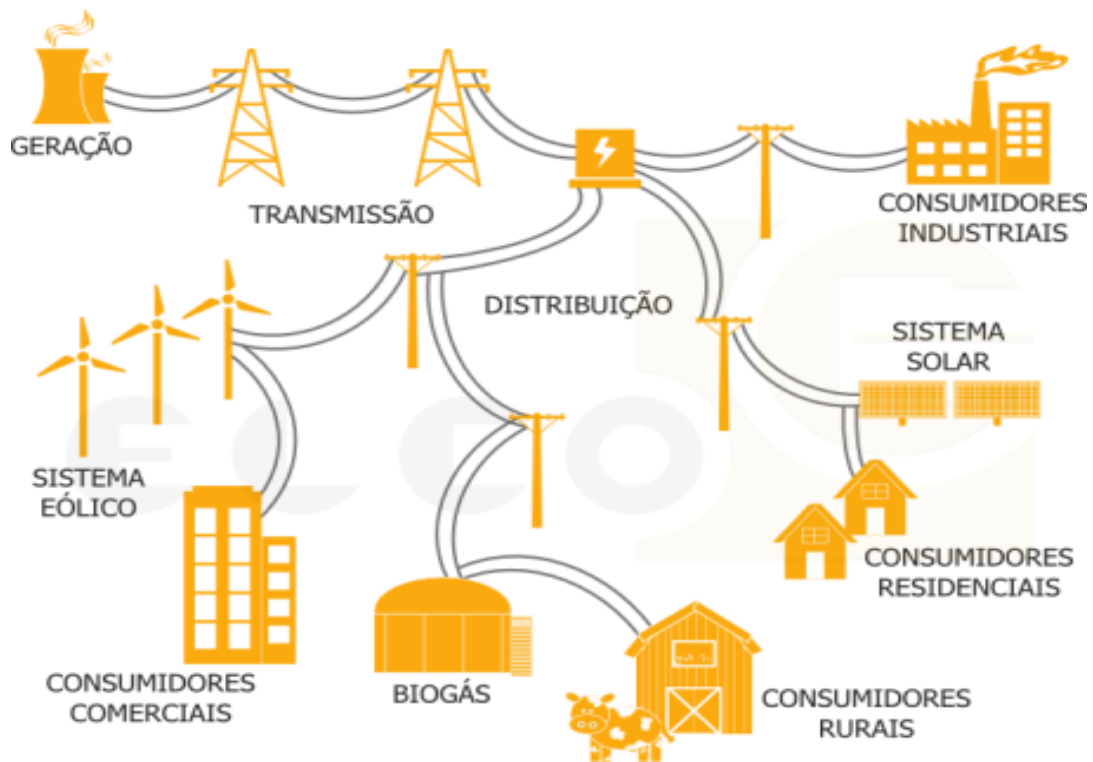


Figura 5. Exemplo de geração distribuída, várias centrais geradoras conectadas a rede de distribuição. (ELCO, 2015).

## 2.2. Sistema fotovoltaico conectado a rede (SFCR).

O sistema fotovoltaico conectado a rede possui módulos solares gerando energia elétrica em corrente contínua, que é convertida em corrente alternada pelos inversores, para que possa alimentar o consumidor. Essa energia gerada, parte abastece a carga, e outra parcela passa pelos medidores e é direcionada para a rede elétrica, sob determinadas condições de geração e consumo conforme ilustrado na Figura 6.

Normalmente a energia gerada nos painéis fotovoltaicos em um SFCR é direcionada para abastecer a carga. Caso a geração estiver sendo maior que o consumo, a energia excedente será enviada para a rede e acumulada em forma de créditos de energia (kWh). Essa situação ocorre durante o período diurno em que os módulos estão gerando energia suficiente para tal fim.

Durante o período noturno, ou diurno com pouca insolação, onde os módulos não geram energia ou geram menos que o consumido, a carga será abastecida total ou parcialmente pela rede de distribuição de energia, usando os créditos de energia acumulados.

O dispositivo que faz o controle da energia gerada / energia consumida é o medidor eletrônico bidirecional. O consumidor será cobrado de acordo com essa leitura. Toda a energia gerada pode ser consumida na própria unidade consumidora ou em outro ponto previamente estabelecido.

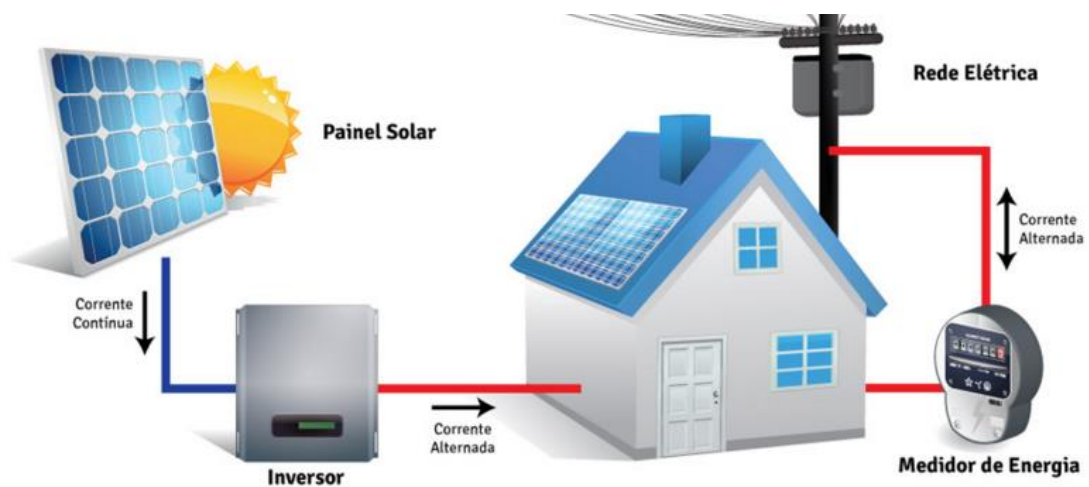


Figura 6. Sistema fotovoltaico conectado a rede (On grid). (REALWATT, 2015).

O medidor pode ser o bidirecional para medir o fluxo em ambos os sentidos ou dois unidirecionais que medirá o fluxo em cada sentido.

Esse sistema não pode operar isoladamente da rede elétrica em caso de falta de energia da rede ao qual está conectado. Para que isso não ocorra, são utilizados inversores que desligam automaticamente na ocorrência da falta de energia. Não podem “operar em ilha” por questões de segurança das equipes de manutenção da rede elétrica.

Nos centros urbanos os painéis fotovoltaicos podem ser instalados nos telhados das residências, faixadas de prédios, etc. Desde que no local tenha índices adequados de radiação solar, e ainda, nos grandes centros comerciais há uma boa combinação de geração de energia e consumo (devido à utilização de ar condicionado), pois, os melhores índices de radiação solar ocorrem nas horas mais quentes do dia, coincidindo com os picos de geração fotovoltaica.

Assim, a matriz energética operando com os sistemas (On grid), fica de certa forma bastante diversificada, reduz a possibilidade de interrupções no fornecimento, pois se uma fonte falhar, outra supre. Essa diversidade de fontes geradoras oferece opções no mercado de energia, permitindo a compra de energias mais baratas, gerando mais competitividade entre as diversas fontes de energia (SANTOS, 2008). Isso também faz com que as linhas de transmissão e distribuição aumentam disponibilidade de fornecimento, bem como seus componentes alcançam uma vida útil bem maior, fator que ocorre devido a características dos sistemas (On grid), de atenuar os picos de consumo, baixando a curva de carga no sistema durante o dia (SANTOS, 2008).

Este também reduz os impactos ambientais normalmente ocasionados pelas fontes convencionais, pois, normalmente a chamada “geração distribuída” utiliza energias renováveis como o vento, sol, biocombustíveis, etc. (SANTOS 2008)

### **2.3. Procedimentos para viabilizar o acesso da geração à rede de distribuição.**

Para o sistema ficar caracterizado como mini ou microgeração o consumidor deve obrigatoriamente protocolar uma solicitação de acesso para a distribuidora de energia contendo o projeto das instalações da conexão e: memorial descritivo,

localização, arranjo físico, diagramas, etc. E outros eventuais documentos solicitados pela distribuidora.

Após esse passo, a distribuidora emitirá um parecer de acesso (sem custos para o solicitante), no qual o cliente será informado sobre: condições de acesso, requisitos técnicos que permitam a conexão da instalação do cliente, prazos, definição do ponto de conexão, características do sistema de distribuição, listas de adequações de responsabilidade da distribuidora (com prazos para execução) e responsabilidades do cliente. Etapas a serem seguidas para a conexão do sistema à rede de distribuição de energia segundo a resolução normativa 687/2015.

- **Etapa 1. Solicitação de acesso:**

Acessante:

- (a) Solicitação de acesso encaminhando os documentos, dados e informações e estudos realizados;

Distribuidora:

- (b) Recebimento da solicitação de acesso.

Acessante:

- (c) Solução de pendências relativas a informações solicitadas na seção 3.7 PRODIST.

- **Etapa 2. Emissão do parecer com a definição das condições de acesso:**

Distribuidora:

- 1- Se classificada como microgeração distribuída, não havendo necessidade de melhoria ou reforço no sistema de distribuição, até 15 dias, após a realização da etapa 1 (b) ou 1 (c).
- 2- Se classificada como minigeração distribuída não havendo necessidade de obras de reforço ou de ampliação do sistema de distribuição, até 30 dias após a etapa 1 (b) ou 1 (c).
- 3- Se classificada como microgeração distribuída havendo necessidade de obras de reforço ou de ampliação do sistema de distribuição, até 30 dias após a etapa 1 (b) ou 1 (c).
- 4- Se classificada como minigeração distribuída havendo necessidade de obras de reforço ou de ampliação do sistema de distribuição, até 60 dias após a etapa 1 (b) ou 1 (c).

- **Etapa 3. Implantação da conexão:**

Acessante:

- (a) Solicitação de vistoria, até 120 dias após a etapa 2.

Distribuidora:

- (b) Realização da vistoria, até 7 dias após a etapa 3 (a).

Distribuidora:

- (c) Entrega para o acessante do relatório de vistoria se houver pendências, em até 5 dias após a etapa 3 (b).

- **Etapa 4. Aprovação do ponto de conexão:**

Acessante:

- (a) Adequação das condicionantes do relatório de vistoria, prazo definido pelo acessante;

Distribuidora:

- (b) Aprovação do ponto de conexão, adequação do sistema de medição e início do sistema de compensação de energia, liberando a microgeração ou minigeração distribuída para sua efetiva conexão, em até 7 dias após a etapa 3 (b), se não forem encontradas pendências;

- **Etapa 5. Contratos:**

Acessante e distribuidora:

- (a) Acordo operativo até a etapa 4 (b), relacionamento operacional até a etapa 2.

#### **2.4. Resolução ANEEL 687/2015 (ANEEL, 2015), que regulamenta o Sistema de Compensação de Energia. Regras da Mini e Micro Geração para a geração distribuída.**

Essa resolução normativa foi elaborada pela ANEEL, tendo como foco a quebra de barreiras e facilitação do processo de conexão de pequenas centrais geradoras, que utilizem fontes renováveis ou com elevada eficiência energética, como energia hidráulica, biomassa, energia solar, eólica ou co-geração com elevada eficiência energética, que se conectam a rede de distribuição por meio de instalações da unidade consumidora.

A resolução 482 de 2012 foi a primeira a regulamentar essas pequenas centrais geradoras, e posteriormente o texto dessa resolução foi alterado, passando a vigorar agora a resolução 687/2015.

Abaixo foi listado os pontos mais relevantes da resolução 687/2015 aplicados ao sistema fotovoltaico conectado à rede à qual será objeto de estudo.

- Micro geração distribuída - Potência de geração instalada de até 75 kW;
- Mini geração distribuída - Potência de geração instalada que poderá variar entre 75 kW e 5 MW;
- A potência instalada fica limitada a potência disponibilizada para a unidade consumidora. Para o caso de micro geração (grupo B) a potência do SFCR fica limitada à carga instalada da unidade consumidora. Agora, para o caso de minigeração (grupo A) a potência instalada fica limitada à demanda contratada;
- Querendo instalar uma central geradora com limite superior ao disponibilizado para a unidade consumidora, pode fazer uma solicitação, sem a necessidade do aumento da carga;
- É proibida a divisão da central geradora, em unidades de menor porte para se enquadrar nos limites de potência para mini geração distribuída;
- Quando a geração atender várias unidades consumidoras, a potência total do sistema será a potencia total disponível para o empreendimento (múltiplas unidades consumidoras);
- Melhorias e reforços no sistema de distribuição em função exclusiva da entrada de operação da geração distribuída serão integralmente arcados pela distribuidora, salvo, casos de geração compartilhada;
- Será cobrado no mínimo o custo de disponibilidade para os consumidores do grupo B, ou a demanda contratada no grupo A;
- A fatura de energia a ser cobrada, será a diferença entre a energia injetada e a consumida, por posto tarifário. Devendo o excedente ser compensado mês corrente ou nos subsequentes;
- A energia gerada em postos horários deve ser consumida nesse mesmo posto, ou caso haja excedente, será compensada em outro posto horário, observando a relação de tarifas;

- A energia injetada poderá ser consumida em outras unidades consumidoras, previamente cadastradas, aos quais pertençam ao mesmo titular;
- O consumidor terá um prazo de 60 meses para utilizar a energia injetada após o ciclo de faturamento. Concluído o prazo, os créditos de energia expiram sem ressarcimento para o usuário;
- A fatura deve conter: informação da participação no sistema de compensação de energia, saldo anterior de créditos em kWh, energia consumida e injetada por posto tarifário, histórico da energia consumida e injetada nos últimos 12 ciclos de faturamento, créditos usados no ciclo de faturamento, créditos que irão expirar, saldo de créditos e o total de créditos que expirarão no próximo ciclo;
- Os custos necessários à adequação do sistema de medição do sistema de compensação de energia são de responsabilidade do interessado;
- O sistema de medição deverá ser instalado pela distribuidora de energia;
- Depois de instalado o sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua manutenção e operação, incluindo os custos de eventuais substituições.

### **3. SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE INSTALADO NO IFTO.**

A tensão fornecida para a o IFTO devido ao seu nível pertence a grupo A. A simulação do sistema foi classificada como minigeração, pois a demanda contratada (640 kW) pela instituição ,em regra, se enquadra nessa classe de geração distribuída. É atendido no nível de tensão de 13,8 kV (média tensão) e na tarifa horo sazonal Verde em que é cobrado uma única tarifa de demanda (kW) e as tarifas de consumo (kWh) variam conforme o horário do dia e período do ano. A carga tem características de consumo nos três períodos do dia (matutino, vespertino e noturno), pois se trata de uma instituição de ensino. O sistema de geração em regra, estará atuando sempre no período matutino e vespertino, ou seja, somente nos períodos com incidência de raios solares.

As normas de acesso à rede de distribuição estão descritos na NTD 19 e seção 3.7 do PRODIST.

Conforme resolução 687/2015 afirma, a potência instalada de geração será aquela disponibilizada pelo sistema para a unidade consumidora, se limitando, portanto, à demanda contratada (640 kW).

As simulações apresentadas foram feitas com base no sistema gerando com potência instalada de 640 kW<sub>p</sub>, pois, o sistema já está no limite permitido pela resolução. Porém, a resolução permite a instalação de um sistema maior que a potência disponibilizada para a carga, sendo necessário para isso, fazer a solicitação do aumento da demanda contratada.

#### **3.1. Área disponível para a instalação dos painéis.**

Foram definidos os telhados dos blocos do IFTO - Campus Palmas (Figura 7) para o acoplamento dos módulos. A Figura 7 mostra o a área física dos telhados da edificação onde serão simulados a instalação dos módulos fotovoltaicos.

A Figura 8 mostra os blocos do IFTO com simulação dos módulos fotovoltaicos instalados.

Os cálculos para obter os resultados desejados foram realizados com o uso do software Excell.



Figura 7. Mostra a área dos telhados dos blocos onde serão simulados a instalação dos painéis.

Como as células solares utilizadas atualmente tem rendimento médio de 16%, cada  $m^2$  do painel solar instalado tem potência de pico de 160Wp para o índice de insolação padrão de  $1.000W/m^2$ . Sendo assim, para instalar os 640kWp permitidos, de acordo no a lei 687/2015 da ANEEL, que regulamenta a micro e mini geração, no qual o sistema a ser instalado fica limitado à demanda contratada pelo consumidor, por este ser do grupo A, serão necessários uma área total de  $4.400 m^2$ , já incluído o fator de espaçamento entre os painéis, estimado em torno de 10%, conforme ilustrado na Figura 8.

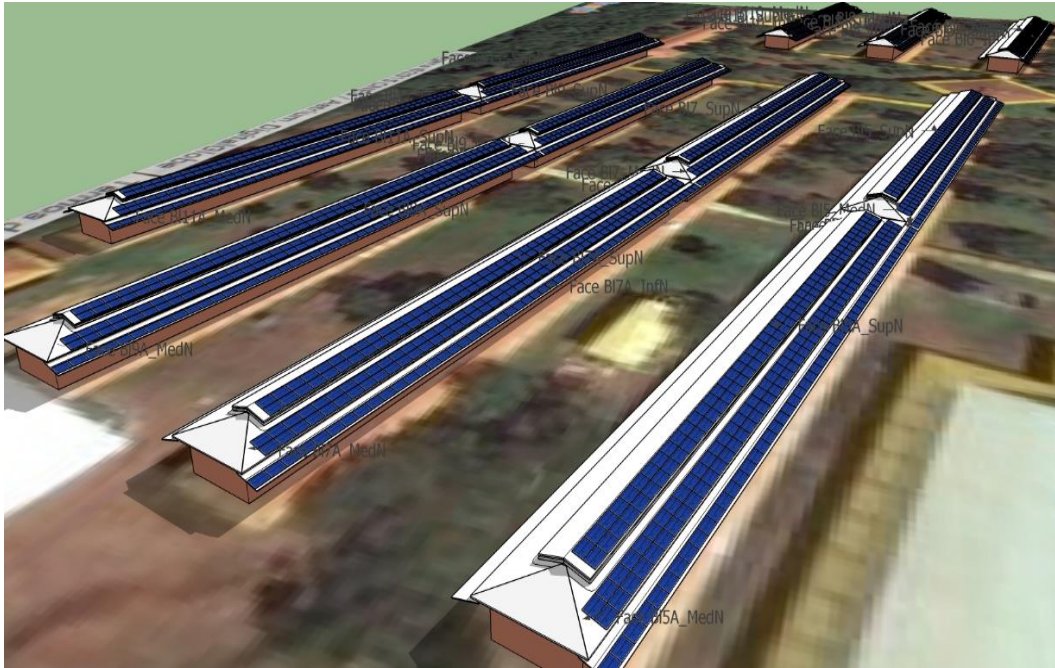


Figura 8. Simulação dos painéis fotovoltaicos instalados.

A área disponível para instalação dos painéis, demonstrada na Tabela 3, totalizou (9595,1 m<sup>2</sup>). Porém serão utilizados apenas 46% ou (4400 m<sup>2</sup>) da área total disponível, pois, com essa área se obteve os 640kWp de geração. Portanto, esses painéis serão instalados apenas na face dos telhados voltados para o lado norte como mostra a Figura 8, de onde se obtém os melhores índices de radiação solar.

Os módulos terão uma inclinação de aproximadamente 22,5 graus, devido á estrutura dos telhados.

Tabela 3. Área total dos telhados disponível para instalação dos painéis.

Local	Área coberta	Aproveitamento	Área útil
Bloco 1	523	1	523
Bloco 2	672	0,95	638,4
Bloco 3	476	0,3	142,8
Bloco 4	312	1	312
Bloco 5	1100	0,3	330
Bloco 6	476	0,95	452,2
Bloco 7	1100	0,75	825
Bloco 8	476	0,8	380,8
Bloco 9	1100	0,7	770
Bloco 10	290	0,6	174
Bloco 11	861	0,9	774,9
Biblioteca	1320	1	1320
Blocos Novos	1476	1	1476
Blocos em construção	1476	1	1476
		Total	9595,1

### 3.2. Informações técnicas a respeito dos módulos e inversores.

De acordo com dados disponibilizados pela PHB ELETRÔNICA LTDA, serão necessários 2.560 módulos fotovoltaicos de 255Wp, os quais possuem área de 1,6m<sup>2</sup> cada, conforme especificado na Tabela 4 e 32 inversores trifásicos de 20kW de potência nominal, conforme especificado na Tabela 5.

Tabela 4. Características técnicas dos módulos

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS</b>	
Fabricante:	CSI CANADIAN SOLAR INC
Sigla:	CS6P - 255P
Tecnologia de Construção	SILÍCIO POLICRISTALINO
<b>Características elétricas</b>	
Potência máxima:	255 W
Rendimento:	15,85%
Tensão nominal:	30,2 V
Tensão em aberto	37,4
Corrente nominal:	8,4 A
Corr. De curto-circuito	9 A
<b>Dimensões</b>	
Dimensões:	1638 x 982 x 40 mm
Peso:	18,5 Kg

Tabela 5. Dados técnicos dos inversores utilizados

<b>DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR</b>	
Fabricante:	PHB ELETRONICA
Sigla:	PHB 20K-DT
<b>Características elétricas</b>	
Máxima pot. Fotovoltaica (W)	20500
Max. Tensão CC (V)	1000
Faixa de operação SPMP (V)	260~850
Tensão CC de partida (V)	250
Corrente CC máxima (A)	22/22
<b>Saída CA</b>	
Potência CA Nominal (W)	20000
Max. Potência CA (W)	20000
Max. Corrente CA (A)	30
Saída Nominal CA	60 Hz; 380/220 VCA
Faixa de Operação CA	57.5~62 Hz; 176~242 VCA
THD	<5%
Fator de Potência	Unitário (0.9 Capacitivo/0.9 Indutivo)
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T)
<b>Eficiência</b>	
Max. Eficiência	98.2%
Eficiência SPMP	>99.5%

### 3.3. Cálculo da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico.

De acordo com a resolução normativa 687/2015 da ANEEL, que regulamenta a micro e mini geração, o sistema a ser instalado fica limitado à demanda contratada pelo consumidor, por este ser do grupo A. Sendo assim o sistema em estudo ficou limitado a 640 kW, sendo classificado portanto como minigeração.

Para calcular a energia gerada nos painéis durante 30 dias obteve-se o produto entre o índice de insolação médio durante o dia para o mês citado (Tabela 6) e a capacidade total do sistema instalado e multiplicou-se pelos 30 dias. O período estudado é compreendido entre agosto de 2014 e julho de 2015.

Tabela 6. Índices de insolação médios por mês, usado como base para o cálculo da energia gerada para a cidade de Palmas – TO (SOLERGO).

Mês	Radiação direta [kWh/m <sup>2</sup> ]	Radiação difusa [kWh/m <sup>2</sup> ]	Radiação refletida [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total das diárias [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total mensal [kWh/m <sup>2</sup> ]
Janeiro	2,881	2,19	0,045	5,116	158,585
Fevereiro	1,311	3,746	0,041	5,098	142,751
Março	3,333	2,118	0,043	5,494	170,325
Abril	3,763	1,877	0,041	5,681	170,439
Mai	4,035	1,644	0,038	5,718	177,243
Junho	2,738	1,702	0,03	4,47	134,112
Julho	3,709	1,348	0,033	5,09	157,791
Agosto	4,757	1,507	0,043	6,307	195,505
Setembro	4,598	1,652	0,047	6,298	188,929
Outubro	4,126	1,827	0,049	6,002	186,073
Novembro	2,42	2,285	0,041	4,746	142,386
Dezembro	1,783	2,473	0,037	4,293	133,091

Com base nos índices de radiação solar médio durante o dia, obteve-se os seguintes dados de geração de energia fotovoltaica, para potência instalada FV de 640kWp, conforme mostra a Tabela 7 e Figura 9.

Tabela 7. Energia gerada por mês pelo sistema Fotovoltaico

Mês	Total de energia gerada por mês (kWh)
ago/14	120960
set/14	120960
out/14	115200
nov/14	91200
dez/14	82560
jan/15	100608
fev/15	97920
mar/15	105600
abr/15	109056
mai/15	109632
jun/15	85824
jul/15	97929

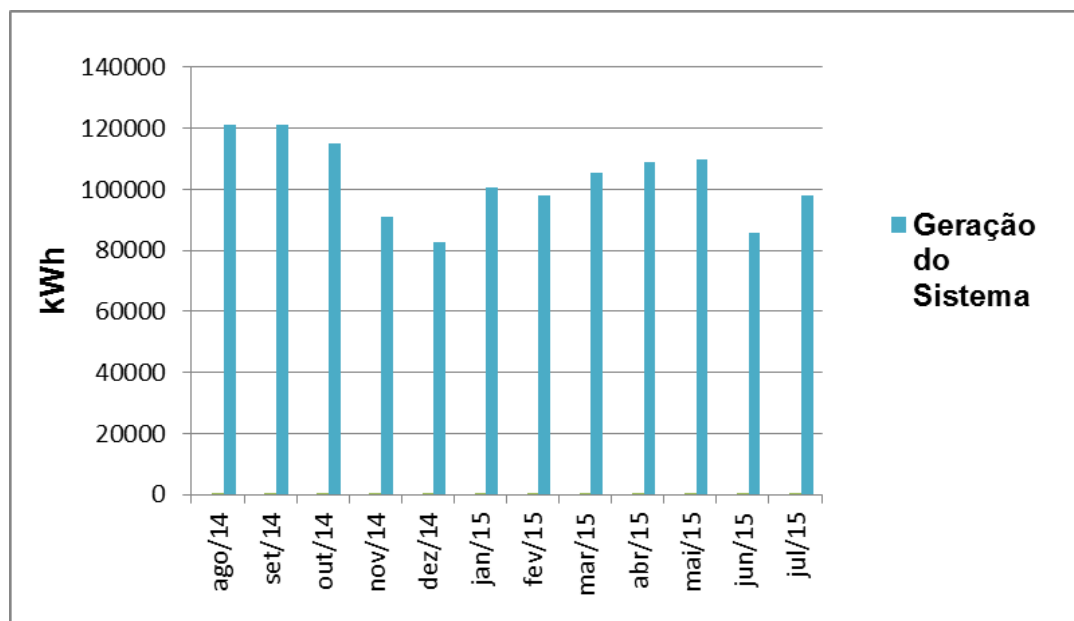


Figura 9. Gráfico da energia gerada mensalmente pelo sistema fotovoltaico.

Analisando a Figura 9, nota-se que a geração tem o seu pico nos meses de agosto e setembro, período do ano em que o sol está melhor posicionado em relação aos painéis fotovoltaicos, e as condições do clima também favorecem por ser o período do ano com menos nuvens. Essa geração vai diminuindo devido ao posicionamento da terra em relação ao sol em função do movimento de translação e também, à medida que vai chegando o período no qual ocorrem chuvas e tempo nublado.

O sistema fotovoltaico conectado à rede gera energia somente durante o período de incidência de raios solares, portanto, somente no horário fora de ponta. Enquanto está gerando energia ele pode tanto abastecer a carga quanto injetar um possível excedente na rede elétrica.

Segundo o sistema de compensação de energia, esse excedente, pode ser consumido no posto horário em que foi gerado ou em outro, depois de aplicado o fator de compensação.

Adiante serão analisados dados sobre a energia gerada e consumida tanto no horário de ponta como no fora de ponta. A tarifa de energia praticada nesses postos horários são distintas quanto ao valor. Então, como o horário fora de ponta coincide com o período de sol, as compensações irão ocorrer primeiro nesse posto. Nos meses em que a energia gerada no horário fora de ponta forem menores que a energia consumida, só haverá compensação nesse posto horário. Já, nos meses em que a geração no horário fora de ponta excederem o consumo, esse excedente será compensado no horário de ponta do mês corrente ou no mês subsequente, após aplicado o fator de compensação.

A tarifa do IFTO se enquadra no grupo A – 13,8 kV e na tarifa horo sazonal Verde. Os preços praticados em cada posto horário estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8. Composição das tarifas ponta e fora de ponta

	TUSD	TE	Total TUSD + TE
Horário de ponta	1,613 /kWh	0,303/kWh	1,916
Horário fora de ponta	0,036/kWh	0,188/kWh	0,224
<b>Incidência de impostos</b>			
Horário de ponta	(ICMS= 0,638) + (PIS E COFINS= 0,231)		TOTAL = 0,869
Horário fora de ponta	(ICMS= 0,077415) + (PIS E COFINS= 0,0268)		TOTAL = 0,101
<b>Total com impostos</b>			
Horário de ponta	2,785/kWh		
Horário fora de ponta	0,3255/kWh		

Onde:

TUSD – Tarifa de uso do sistema de distribuição e transmissão;

TE – Tarifa de energia referente à comprada da geração.

Na tarifa de energia pode-se perceber que as taxas do TUSD e TE se alternam bruscamente de acordo com o posto horário descritos na Tabela 3.7.

Tabela 9. Porcentagem da TUSD e TE que incidem sobre a conta de energia

	TUSD %	TE %
Horário de ponta	84,15	15,85
Horário fora de ponta	16,16	83,84

De acordo com a norma regulamentadora, de toda a energia compensada, a tarifa de energia (TE) é devolvida ao consumidor juntamente com os impostos cobrados. Já, o TUSD é devolvido apenas seu valor, sem os impostos cobrados, tendo estes que serem pagos pelo consumidor.

O fator de compensação é obtido da divisão entre os valores do horário fora de ponta pelo de ponta, conforme mostra a equação 1.

$$\text{Fator de compensação} = \frac{\text{TE (fora de ponta)}}{\text{TE (ponta)}} \quad (\text{Equação 1})$$

Portanto, o fator de compensação praticado para os cálculos foi 0,62, ou seja, será compensado apenas 62% da energia gerada no horário fora de ponta para abater no consumo de ponta.

### 3.4. Curva de carga

O gráfico da curva de carga média do IFTO – Campus Palmas e da geração FV projetado, como apresentado na Figura 10, mostra a relação da energia gerada e diretamente consumida pelas cargas e a parcela de energia que é injetada na rede e posteriormente compensada.

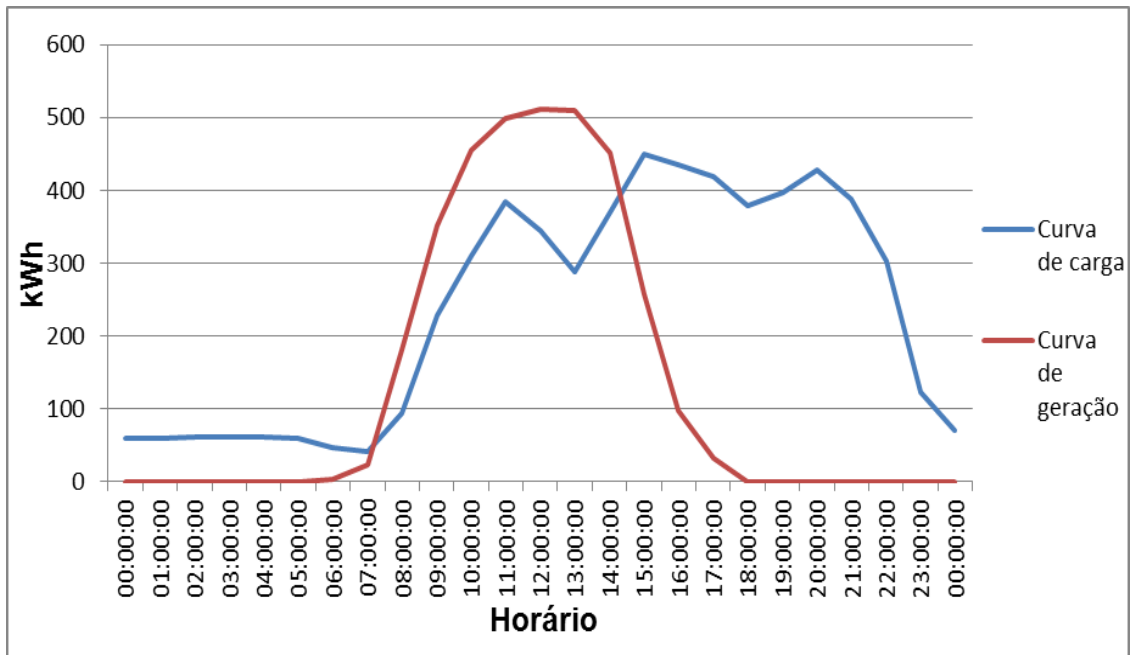


Figura 10. Gráfico mostra a curva de carga e curva de geração do sistema fotovoltaico

São fornecidos diretamente para a carga 72% de toda a energia gerada, e os 28% restantes são enviados para a rede de distribuição para posterior compensação. Assim, o imposto TUSD que a instituição terá que pagar devido à compensação incide somente sobre estes 28%. Para a energia compensada no horário de ponta, 100% do imposto incidente sobre o TUSD terá de ser pago pelo consumidor.

Os valores do imposto de parte da tarifa TUSD pago no horário fora de ponta durante o período analisado estão discriminados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores pagos TUSD no horário fora de ponta

Mês	TUSD (R\$)
ago/14	517
set/14	538
out/14	516
nov/14	409
dez/14	370
jan/15	175
fev/15	300
mar/15	300
abr/15	488
mai/15	491
jun/15	384
jul/15	439
Total	4926

O total da parte dos impostos TUSD (que a instituição paga à concessionária no momento que injeta a energia na rede de distribuição e a concessionária não devolve no momento da compensação de energia) no final do período analisado totalizou 4.926 reais.

### **3.5. Análises de consumo e compensações por posto horário.**

Durante o período analisado, foi tabelada toda a energia consumida tanto no horário de ponta como no fora de ponta, que estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11. Consumo ponta e fora de ponta

Mês	Consumo ponta (kWh)	Consumo fora ponta (kWh)
ago/14	18179	115380
set/14	19605	126324
out/14	28008	150228
nov/14	22013	131292
dez/14	26459	140184
jan/15	8061	66276
fev/15	7800	66948
mar/15	18810	99939
abr/15	20652	109620
mai/15	20005	111174
jun/15	24030	116382
jul/15	21610	123669
Total	235232	1357416

Analisando os dados da Tabela 11, foi montada a Figura 11, para melhor comparação. Assim, conclui-se que o consumo fora de ponta é muito maior. O tempo de uso da carga nesse posto horário justifica essa diferença, porém, sua tarifa R\$ por kWh, é cerca de 8 vezes menor que no horário ponta.

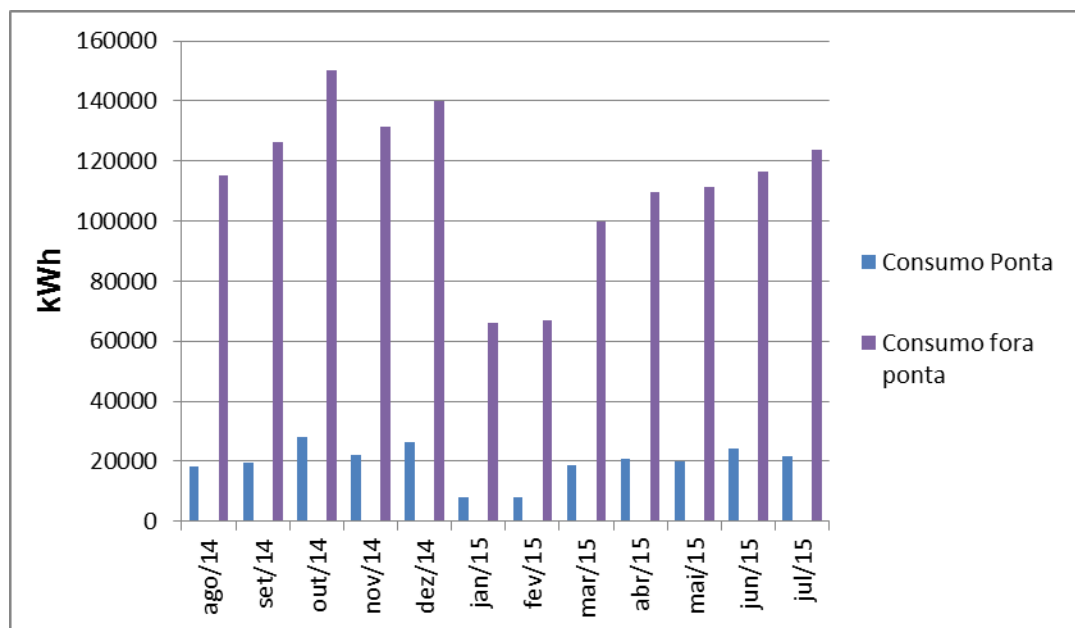


Figura 11. Gráfico com o consumo ponta e fora de ponta

### 3.5.1. Compensação no horário fora de ponta.

Segundo norma regulamentadora que regula o sistema de compensação de energia, a energia gerada no posto horário deve ser primeiramente compensada naquele posto, havendo créditos (geração superior ao consumo), pode-se compensar em outro posto horário. Para melhor compreensão do sistema, compensou-se a energia de forma separada, por enquanto somente no horário fora de ponta (Tabela 12).

Tabela 12. Compensação no horário fora de ponta

Mês	Consumo fora ponta (kWh)	Fora de ponta com sist. FV. (kWh)
ago/14	115380	0
set/14	126324	5364
out/14	150228	35028
nov/14	131292	40092
dez/14	140184	57624
jan/15	66276	0
fev/15	66948	0
mar/15	99939	0
abr/15	109620	564
mai/15	111174	1542
jun/15	116382	30558
jul/15	123669	25749
Total	1357416	196521

Nos meses de agosto/2014, janeiro/2015, fevereiro/2015 e março/2015, a geração de energia foi maior que o consumo, portanto, o consumo de energia nesse posto horário foi totalmente abatido, demonstrado na Figura 12, para posterior compensação no horário de ponta. Nos demais meses do ano a compensação nesse posto horário foi significativamente alta.

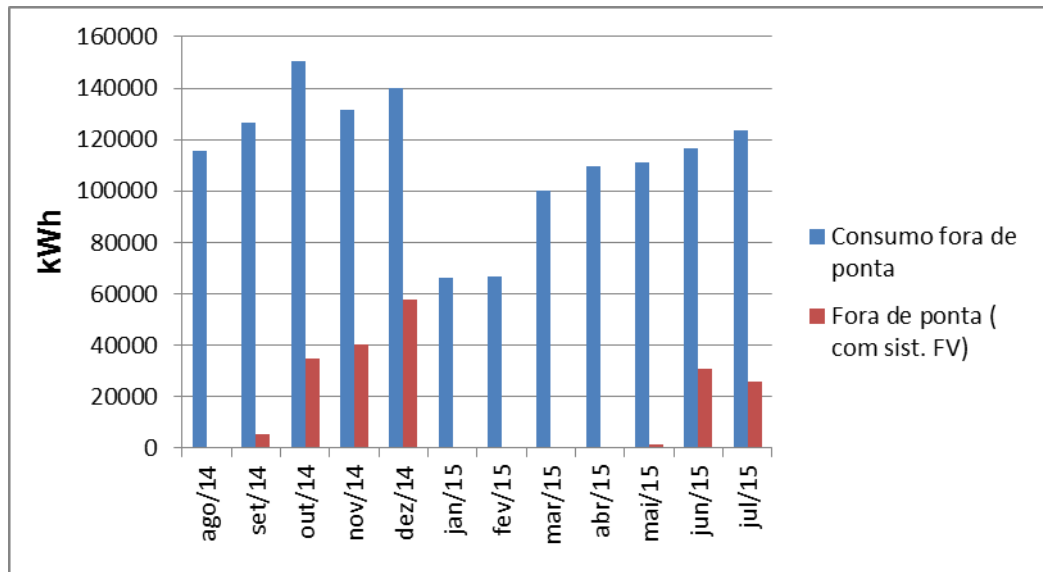


Figura 12. Gráfico mostrando o consumo fora de ponta e as compensações

### 3.5.2. Análise das compensações no horário de ponta.

Durante o período analisado, os meses de agosto/2014, janeiro/2015, fevereiro/2015 e março/2015, foram os únicos a receberem a compensação no horário de ponta. Os créditos gerados no posto fora de ponta, depois de aplicado o fator de compensação abateram o consumo na ponta, mostrados na Tabela 13.

Uma situação interessante que ocorreu no mês de janeiro, foi uma geração de energia bastante elevada no sistema fotovoltaico e um consumo baixo por ser período de férias, que dessa forma, foi suficiente para abater todo o consumo na ponta, e ainda sobrar créditos de energia (representados na Figura 13 com valores negativos), que foram utilizados para abater o consumo no mês de fevereiro. Abatendo totalmente o consumo na ponta de fevereiro a sobra dos créditos, ainda foram usados para abater o consumo no mês de março.

O horário de ponta, durante o período analisado só foi compensado em 4 meses. Agosto/2014, janeiro/2015, fevereiro/2015 e março/2015. Os 08 meses restantes não sofreram qualquer abate no consumo.

Tabela 13. Consumo e compensações no horário de ponta

Mês	Consumo ponta (kWh)	Líquido de ponta compensado (kWh)
ago/14	18179	14719,4
set/14	19605	19605
out/14	28008	28008
nov/14	22013	22013
dez/14	26459	26459
jan/15	8061	-13224,8
fev/15	7800	-11402,6
mar/15	18810	15300,18
abr/15	20652	20652
mai/15	20005	20005
jun/15	24030	24030
jul/15	21610	21610

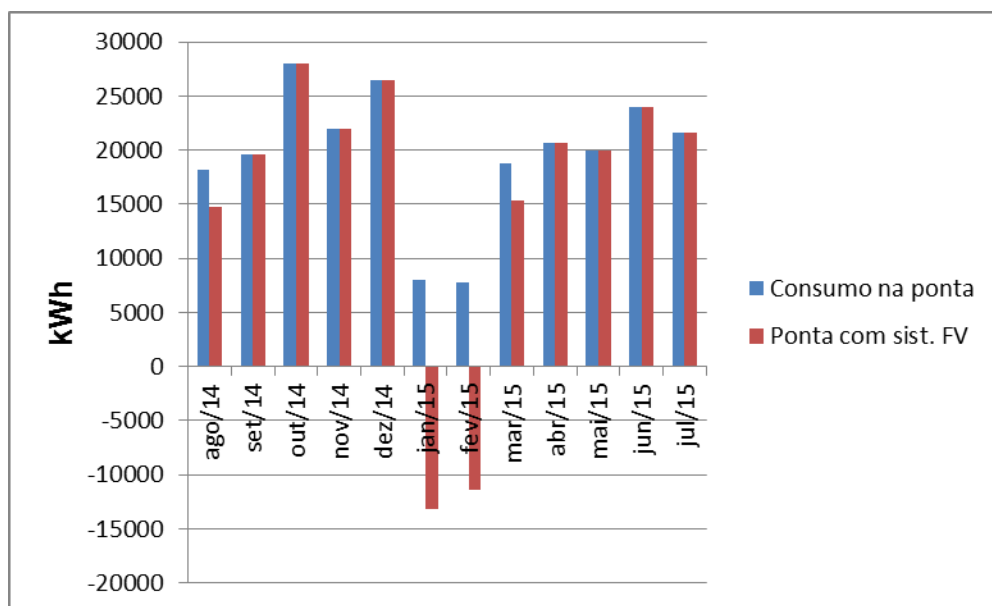


Figura 13. Gráfico do consumo e compensações no horário de ponta

### 3.6. Economia com o sistema.

Comparando as contas de energia com e sem o sistema de compensação, já embutido os impostos e a demanda contratada foi calculado o gasto em reais, mês a mês, conforme descritos na tabela 14 e colocadas em gráfico na Figura 14. O valor

da fatura de energia é composto por (consumo ponta\* tarifa ponta + consumo fora ponta\* tarifa fora ponta) + demanda contratada + impostos (ICMS, PIS e COFINS).

Tabela 14. Comparação da fatura de energia com e sem o sistema de compensação em R\$.

Mês	Fatura com sistema	Fatura sem sistema
ago/14	57179,05	95930,5
set/14	70722,76	102844
out/14	102036,8	132624,8
nov/14	86654,93	110869,9
dez/14	103691,7	125612,9
jan/15	14683	54584,86
fev/15	20307	54041,76
mar/15	36319,45	93513,09
abr/15	72283,23	101240,4
mai/15	70754,22	99863,86
jun/15	89654,94	112443,4
jul/15	81693,59	107693
Total	805980,6	1191262

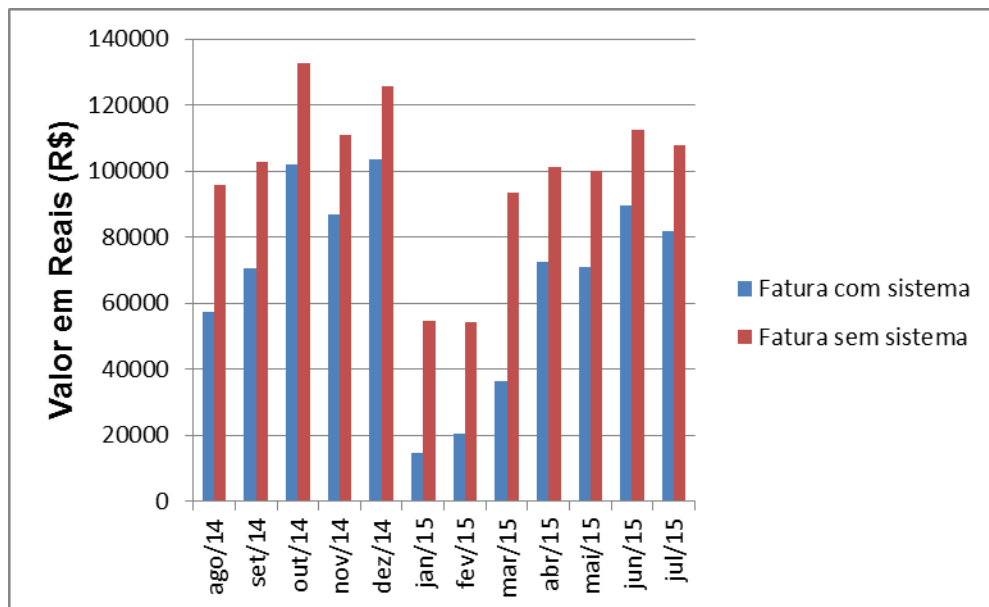


Figura 14. Gráfico comparando as diferenças entre faturas

Para melhor visualização do montante economizado todos os meses, foi comparado as faturas na Tabela 15 e Figura 15. Contendo informações além das mencionadas na Figura 14 acrescidas da diferença (economia) proporcionada pelo sistema fotovoltaico mensalmente a cada fatura.

Tabela 15. Dados com a diferença entre faturas

Mês	Fatura com sistema	Fatura sem sistema	Diferença entre faturas
ago/14	57179,05	95930,5	38751,45
set/14	70722,76	102844	32121,2
out/14	102036,8	132624,8	30588
nov/14	86654,93	110869,9	24215
dez/14	103691,7	125612,9	21921,2
jan/15	14683	54584,86	39901,85
fev/15	20307	54041,76	33734,76
mar/15	36319,45	93513,09	57193,64
abr/15	72283,23	101240,4	28957,12
mai/15	70754,22	99863,86	29109,64
jun/15	89654,94	112443,4	22788,48
jul/15	81693,59	107693	25999,4
Total	805980,6	1191262	385281,75

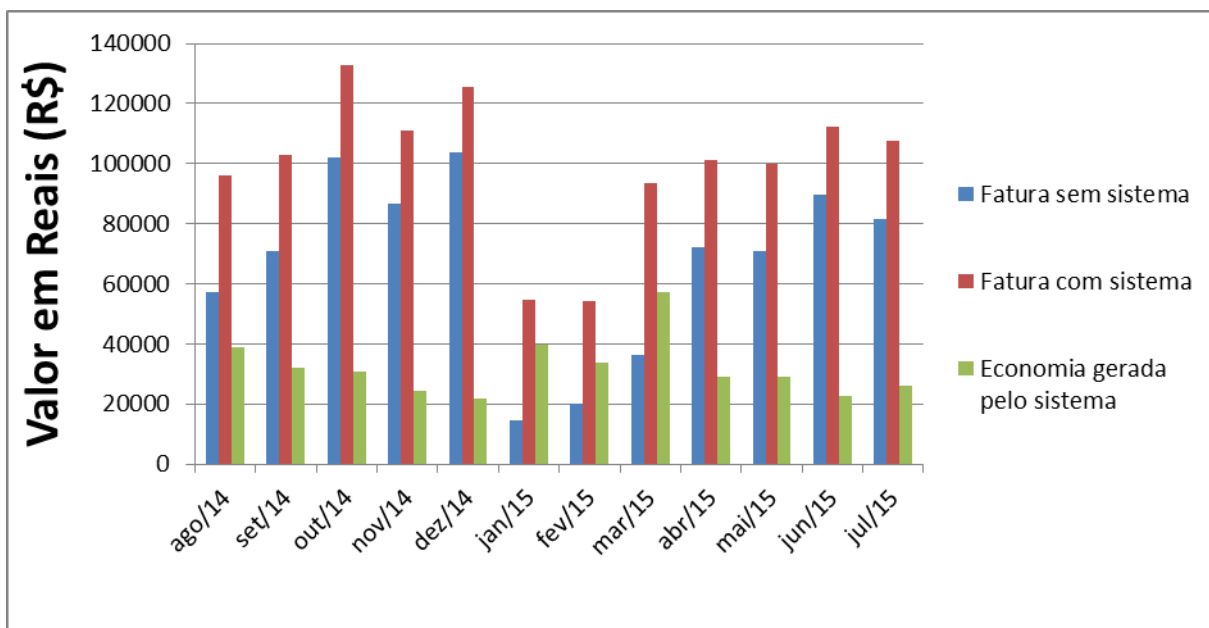


Figura 15. Gráfico com dados sobre a economia gerada todos os meses pelo sistema fotovoltaico.

No período analisado, foi calculada mês a mês a economia gerada pelo sistema fotovoltaico. Somando essa diferença nos 12 meses, chegou-se ao seguinte resultado: **R\$ 385.281,75**. Esse valor seria a economizado todos os anos, caso o sistema estivesse em funcionamento.

### 3.7. Custos necessários para a construção do sistema.

O orçamento foi disponibilizado pela PHB ELETRONICA LTDA em novembro de 2015. E estão descritos todos os componentes usados na construção do sistema fotovoltaico listados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16. Orçamento correspondente a um kit completo trifásico 380 V de 100 kWp

<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>QT.</u>
CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	450
CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	450
CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 4,0MM2	450
CONECTOR (PAR) MC4 4MM SOLAR	64
INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	720
END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	160
HOOK DE ACO KIT 1# TELHA BARRO	640
EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS	160
GRAMPO DE ATERRAMENTO	80
ABRACADEIRA CABOS	400
JUMPER DE ATERRAMENTO	160
CLIP DE ATERRAMENTO	720
PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (2,10M) GS	80
PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (4,20M) GS	160
STB04-1000V/02,STRING BOX CC+CA	5
PHB20K-DT,INVERSOR FOTOVOLTAICO	5
MODULO FOTOVOLTAICO 255WP; (CS6P-255P) CANADIAN SOLAR	400

Segundo o orçamento, para 100 kWp o valor investido será R\$ 481.552,68.

Tabela 17. Orçamento corresponde a um kit completo trifásico 380 V de 40 kWp.

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QT.</b>
CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	250
CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2	250
<b>CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 4,0MM2</b>	<b>250</b>
CONECTOR (PAR) MC4 4MM SOLAR	32
INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)	288
END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)	64
HOOK DE ACO KIT 1# TELHA BARRO	256
EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS	64
<b>GRAMPO DE ATERRAMENTO</b>	<b>32</b>
<b>ABRACADEIRA CABOS</b>	<b>160</b>
<b>JUMPER DE ATERRAMENTO</b>	<b>64</b>
<b>CLIP DE ATERRAMENTO</b>	<b>288</b>
PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (2,10M) GS	32
PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (4,20M) GS	64
<b>STB04-1000V/02,STRING BOX CC+CA</b>	<b>2</b>
<b>PHB20K-DT,INVERSOR FOTOVOLTAICO</b>	<b>2</b>
<b>MODULO FOTOVOLTAICO 255WP; (CS6P-255P) CANADIAN SOLAR</b>	<b>160</b>

Segundo o orçamento, o valor desse kit sairá por R\$ 201.735, 34 Reais.

Como o sistema em estudo ficou limitado a 640 kWp. Serão usados 6 kits de 100 kWp, e um kit de 40 kWp, calculados na Tabela 18.

Tabela 18. Calculo do preço total dos kits.

Kits	Quantidade (Kits)	R\$ Valor (kits)	R\$ Sub total	R\$ Total
100 kWp	x 6	481552,68	2889316,08	3.091.051,42
40 kWp	x 1	201735, 34	201735, 34	

Os seguintes impostos foram embutidos nos preços dos materiais empregados no orçamento do sistema fotovoltaico:

ICMS - 0% - isento - Convênio CONFAZ 101/97;

IPI - 0% - isento;

PIS (1,65%) e COFINS 3,0%;

O valor da mão de obra ficou estimado em 10%, totalizando R\$ 309.105,14.

Portanto, o valor final gasto com a construção do sistema fotovoltaico será de **R\$ 3.400.156,56.**

Para calcular o tempo de retorno do investimento (Payback), foi usado como base o montante economizado todos os anos pelo sistema. Então, Fazendo a relação entre o valor total gasto com a instalação do sistema e a economia gerada pelo sistema anualmente (Equação 2), chegou-se a um tempo de retorno do investimento de 9 (nove) anos.

$$\begin{aligned} \text{Payback do sistema} &= \frac{\text{Investimento total no sistema}}{\text{Economia gerada todos os anos pelo sistema}} \\ &= \frac{\text{R\$ 3.400.156,56}}{\text{R\$ 385.281,75}} = 9 \text{ ANOS} \end{aligned}$$

(Equação 2)

O tempo de retorno ficou dentro do estimado para os sistemas fotovoltaicos que oscilam entre 8 e 12 anos.

#### **4. CONCLUSÕES A CERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Segundo a empresa PHB ELETRONICA LTDA, os inversores usados tem 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação. Já os módulos fotovoltaicos têm garantia de 25 anos quanto a geração de energia (80%) eficiência. E 12 anos contra defeitos de fabricação.

Analisando o Payback do sistema, concluiu-se que o sistema é totalmente viável para ser implantado na instituição, pois, após 9 anos de funcionamento terá restituído todo o valor investido em forma de desconto nas tarifas de energia. Ainda que algum inversor seja danificado, e a instituição venha a ter que substituí-lo pagando por ele, essa situação ocorrerá somente após a garantia, pois durante a garantia a empresa é responsável por reparar eventuais defeitos no inversor, e passado o período de garantia do inversor, o valor investido no sistema (Payback) já foi restituído. Assim, mesmo com uma possível troca do inversor, o montante economizado no mês ainda será altamente satisfatório.

Nos 16 anos seguintes até o limite da garantia, o sistema só trará lucro para a instituição porque segundo a empresa nas informações técnicas dos painéis, estes chegarão aos 25 anos de funcionamento com uma perda de geração relativamente baixa, em torno de 20%.

Nos meses de janeiro e fevereiro de 2015, em que a geração superou o consumo, sobrando ainda créditos de energia, a unidade consumidora ainda foi taxada com valores referentes a demanda contratada e o TUSD, ou seja, não existe a possibilidade de zerar a fatura de energia.

## **5. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Simulação com vários cenários de potência dos sistemas fotovoltaicos para geração de energia para o campus;
- Realizar análises de eficiência energética das cargas do campus juntamente com os cenários de geração.

## 6. BIBLIOGRAFIA

**Atlas de energia elétrica do Brasil.** Agência nacional de energia elétrica, 2002. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf) > acesso em: 20 de janeiro de 2016.

**ANEEL.** Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoestecnicas%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_CegkWaVJWF5E%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoestecnicas%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_CegkWaVJWF5E%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2) > acesso em: 18 de março de 2016.

**ANEEL.** Agência nacional de energia elétrica. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> > Acesso em 20 de Março de 2016.

**Atlas de irradiação solar no Brasil**  
[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/3\\_3.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3.htm)> acesso em 01 de Abril de 2016.

**Base de dados do Solergo.** Programa computacional usado para obter o índice de radiação média por dia em Palmas-TO.

Cocian Luís F. E., Santos João C. V.; *“Sistemas Fotovoltaicos: Uma alternativa para a geração de energia elétrica”* Revista Lumière, julho de 2000.

**EPIA.** <http://www.ecovolts.net.br/downloads/Global%20das%20Renovaveis%202014.pdf>> acesso em 01 de Abril de 2016.

**Elco.** [www.elco.com.br](http://www.elco.com.br) < <http://infraroi.com.br/fraudes-regulacao-crise-hidrica-os-desafios-que-italiana-cesi-quer-enfrentar-brasil-2/>> acesso em 07 de Abril de 2016.

Erge, T., Hoffmann, V. V., Kiefer K.; *“The German Experience With Grid-Connected PV Systems”* Solar Energy, vol. 70, nº 6 pp 479-487, 2001.

**EPE/MME.** Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro, maio de 2012. Disponível em : < [http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos\\_23/nt\\_energiasolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf) > acesso em 05 de janeiro de 2016.

GABARDO. Renan Artur; RADASKIEVICZ. Tiago. **Aspectos técnicos e econômicos do uso residencial de painéis fotovoltaicos ligados à rede.** 2013, trabalho de conclusão de curso – universidade tecnológica federal do paraná.Disponível:  
<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1043/1/CT\\_EPC\\_2012\\_2\\_04.PDF](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1043/1/CT_EPC_2012_2_04.PDF)> Acesso em 14 de Agosto 2015.

Hoff T., Shugar D. S., *“The Value of Grid-Support Photovoltaics in Reducing Distribution System Losses”*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.10, No. 3, September 1995, pp 569-576.

**MME.**<http://minasenergia.rs.gov.br/upload/arquivos/201603/17091012-11-sme-energia-solar-1-1.pdf>> acesso em 01 de Abril de 2016.

**ONS.** < [http://www.ons.org.br/historico/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx)> Acesso em 05 de Abril de 2016.

PEREIRA. Enio Bueno; MARTINS. Fernando Ramos. et.al. **Atlas Brasileiro de energia solar,** 2006. Disponivel em: < [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)> acesso em 12 fevereiro de 2016.

**RealWatt.** Disponível em < <http://www.real-watt.com.br/como-funciona.php>> acesso em: 20 de dezembro de 2015.

SANTOS. Leonardo Dantas. **Proposta de um sistema fotovoltaico conectado à rede no estádio do maracanã**. 2008. Trabalho de conclusão de curso – Escola politécnica da universidade federal do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001138.pdf>> Acesso em 10 de janeiro de 2016.

**WWF**. Desafios e oportunidades para a energia fotovoltaica no Brasil: Recomendações para políticas públicas, Brasília, 2015. Disponível em: < [http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/15\\_6\\_2015\\_wwf\\_energ\\_solar\\_final\\_web\\_3.pdf](http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/15_6_2015_wwf_energ_solar_final_web_3.pdf)> Acesso em: 12 de janeiro de 2016.

SILVA. Rutelly Marques. **Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**, 2015. Disponível em: < <http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166> > Acesso em 30 de dezembro 2015.