

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS DE CURITIBA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CEZINANDO BITTENCOURT  
RAFAEL LOPES TRIDA BASSACO

**ESTUDO DO DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO  
CONECTADO À REDE: ESTUDO DE CASO - ESCRITÓRIO VERDE  
DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ -  
CAMPUS CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

CEZINANDO BITTENCOURT  
RAFAEL LOPES TRIDA BASSACO

**ESTUDO DO DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO  
CONECTADO À REDE: ESTUDO DE CASO - ESCRITÓRIO VERDE  
DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ -  
CAMPUS CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr.  
Eng.

CURITIBA

2013

**Cezinando Bittencourt**  
**Rafael Lopes Trida Bassaco**

## **Estudo do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede: Estudo de caso – Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 19 de dezembro de 2013.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Prof. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gerson Maximo Tiepolo, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Maria de Fátima R. R. Cabreira, Dr. Eng  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, que sempre nos apoiaram nas nossas escolhas e fizeram da nossa caminhada mais segura.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos nossos pais pelo apoio, sempre sendo um porto seguro na nossa caminhada acadêmica.

As nossas cônjuges que sempre tiveram paciência e compreensão nos momentos difíceis.

Aos familiares e amigos que sempre nos motivaram a seguir em frente e nunca desistir.

Ao professor orientador Jair Urbanetz Junior pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

**"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar."**

**(Anatole France)**

## RESUMO

BITTENCOURT, Cezinando; BASSACO, Rafael L. T. Estudo do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede: Estudo de caso – Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A geração distribuída é uma tendência como fonte alternativa de geração de energia elétrica, motivando o desenvolvimento deste trabalho, que foi realizado utilizando o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) do Escritório Verde (EV) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba. Esta pesquisa se desenvolveu em três pilares, sendo o primeiro a análise da qualidade da energia fornecida à carga com o sistema fotovoltaico (SFV) conectado e desconectado à rede de distribuição; o segundo ponto abordado foi a análise do desempenho do SFCR do EV no ano de 2013, referentes aos valores de índices de mérito (Produtividade, Fator de Capacidade e Desempenho Global); e, no terceiro, mostra-se a comparação dos meios de incentivo à utilização de SFV no Brasil, Alemanha, Itália, Espanha, EUA, China, Japão e Índia. Em relação aos índices de mérito, verificou-se uma diminuição na Produtividade e Fator de Capacidade em relação ao ano de 2012, no entanto há uma melhora no Desempenho Global quando se limpa os módulos fotovoltaicos. Já em relação à qualidade de energia, verificou-se uma tendência no aumento de tensão no ponto de conexão com carga, quando o inversor está em operação, bem como uma diminuição na Taxa de Distorção Harmônica de tensão (TDHu).

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos. Geração Distribuída. Qualidade de Energia. Índice de Mérito.

## ABSTRACT

BITTENCOURT, Cezinando; BASSACO, Rafael L. T. Study on Performance of Photovoltaic System Connected to the Network: Case Study - Green Office of the Federal Technological University of Paraná - Curitiba Campus. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Distributed generation is a trend as an alternative source of power generation, motivating the development of this work, which was done using the Grid-Connected Solar PV System of Green Office which belongs to Federal Technological University of Paraná, Curitiba Campus. This research was carried out on three pillars, the first to analyze the quality of power delivered to the load with the photovoltaic connected and disconnected from the grid; the second point discussed was the analysis of the performance of the Grid-Connected Solar PV Systems of Green Office in 2013, relative to the merit indexes (Final Yield, Performance Ratio and Capacity Factor); and the third shows the comparison of the means of encouraging the use of PV system in Brazil, Germany, Italy, Spain, USA, China, Japan and India. Relative to the merit indexes, there was a decrease in Productivity and Capacity Factor in 2012, however there was an improvement in overall performance when cleaning the photovoltaics modules. Regarding the quality of energy there is a trend in increased tension at the point of connection to load, when the inverter is in operation, as well as a decrease in the Total Harmonic Voltage Distortion (THDu).

Palavras-chave: Grid-Connected Solar PV Systems. Distributed Generation. Power Quality. Merit Indexes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Símbolo de módulo fotovoltaico .....	22
Figura 2 – Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol .....	25
Figura 3 – Bandas de Valência, banda proibida e banda de condução de: Isolantes, condutores e semicondutores.....	26
Figura 4 – Módulos Fotovoltaicos.....	28
Figura 5 – Esquema de um conversor CC-CA trifásico com uma célula solar fotovoltaica conectada em seus terminais CC.....	30
Figura 6 – Curva típica de eficiência de conversão CC-CA em função da potência para o inversor PVP2000.....	31
Figura 7 – Sistemas Fotovoltaicos Isolado.....	33
Figura 8 – Sistema FV conectado à rede elétrica.....	34
Figura 9 – Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2012.....	35
Figura 10 – Evolução da capacidade instalada acumulada mundial entre 2000-2012 (MW).....	40
Figura 11 – Evolução da instalação FV anual mundial entre 2000-2012 (MW).....	41
Figura 12 – Dados do mercado fotovoltaico alemão em 2013 .....	42
Figura 13 – Distúrbios associados à qualidade de energia elétrica.....	48
Figura 14 – Triângulo das potências .....	50
Figura 15 – Fachada do Escritório Verde da UTFPR .....	57
Figura 16 – Comportamento da relação $I \times V$ do módulo KD210GX em diferentes temperaturas .....	59
Figura 17 – Comportamento do módulo KD210GX em diferentes níveis de irradiância .....	60
Figura 18 – Gráfico de irradiância solar captada pela estação A807 do INMET no período de 3 a 7 Junho de 2013.....	62
Figura 19 – Gráfico de geração de energia do Escritório Verde no período de 3 a 7 Junho de 2013.....	62
Figura 20 – Entrada de dados no RADIASOL.....	64
Figura 21 – Geração de energia do EV para o ano de 2013.....	65
Figura 22 – Radiação de janeiro a março nos anos de a) 2012 e b) 2013.....	68

Figura 23 – Geração de energia no EV (07/09/2013).....	71
Figura 24 – Foto da sujeira acumulada sobre o módulo fotovoltaico .....	72
Figura 25 – Foto do painel sujo .....	73
Figura 26 – Foto do painel limpo .....	73
Figura 27 – Análise de harmônicos.....	76
Figura 28 – Forma de ligação do equipamento com o sistema.....	76
Figura 29 – Equipamento de medição conectado ao QGBT .....	77
Figura 30 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase A na saída do inversor (12/11/2013) .....	79
Figura 31 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase B na saída do inversor (12/11/2013) .....	79
Figura 32 – Potência aparente e harmônicos da fase A no ponto de conexão com a carga com o inversor ligado (13/11/2013) .....	80
Figura 33 – Potência aparente e harmônicos da fase B no ponto de conexão com a carga com o inversor ligado (13/11/2013) .....	81
Figura 34 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase A (13/11/2013).....	82
Figura 35 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase B (13/11/2013).....	82
Figura 36 – Potência aparente e harmônicos da fase A no ponto de conexão com a carga com o inversor desligado (13/11/2013).....	83
Figura 37 – Potência aparente e harmônicos da fase B no ponto de conexão com a carga com o inversor desligado (13/11/2013).....	84
Figura 38 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase A (13/11/2013).....	85
Figura 39 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase B (13/11/2013).....	85
Figura 40 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase A na saída do inversor (13/11/2013) .....	87
Figura 41 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase B na saída do inversor (13/11/2013) .....	87
Figura 42 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor desligado (14/11/2013) .....	88
Figura 43 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor desligado (14/11/2013) .....	88
Figura 44 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor ligado (14/11/2013) .....	89

Figura 45 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor ligado (14/11/2013) .....	90
Figura 46 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase A (14/11/2013) ....	92
Figura 47 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase B (14/11/2013) ....	93
Figura 48 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor ligado (14/11/2013) .....	94
Figura 49 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor ligado (14/11/2013) .....	94
Figura 50 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor desligado (14/11/2013) .....	95
Figura 51 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor desligado (14/11/2013) .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade instalada acumulada até 2012.....	45
Tabela 3 – Limites de distorção na corrente.....	51
Tabela 4 – Níveis de compatibilidade para os harmônicos de tensão em redes públicas de BT.....	52
Tabela 5 – Características do Módulo KD210GX em condição padrão de teste (STC) .....	59
Tabela 6 – Características elétricas do Inversor de Frequência PVP2000 .....	60
Tabela 7 – Irradiação diária média no plano horizontal para o ano de 2013 (Estação A807 do INMET).....	63
Tabela 8 – Irradiação diária média no plano inclinado do painel do EV para os anos de 2012 e 2013 (pelo software Radasol) .....	64
Tabela 9 – Geração mensal de 2012 e 2013 do SFCR do Escritório Verde .....	66
Tabela 10 – Índices de produtividade final do SFCR do EV.....	67
Tabela 11 – Fator Capacidade do SFCR do EV.....	69
Tabela 12 – Desempenho Global do SFCR do EV .....	70
Tabela 13 – Resultados das medições preliminares de harmônicos no SFCR do EV .....	78
Tabela 14 – Características do sistema com inversor ligado e desligado (13/11/2013) .....	86
Tabela 15 – Características do sistema com inversor ligado e desligado (14/11/2013) .....	90
Tabela 16 – TDHi para fase B.....	91
Tabela 17 – TDHi para fase A.....	91
Tabela 18 – Características do sistema com inversor ligado e desligado (14/11/2013) .....	96

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;

APAC – *Asia Pacific*;

a-Si – Silício Amorfo;

BEN – Balanço Energético Nacional;

CA – Corrente Alternada;

CC – Corrente Contínua

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica;

$C_F$  – Fator de Capacidade;

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito;

c-Si – Silício Cristalino;

DEC – Duração Equivalente de Interrupção;

DoE – *United States Department of Energy* (Departamento de Energia Norte Americano);

EV – Escritório Verde;

FFT - *Fast Fourier Transformation* (Transformada Rápida de Fourier);

FEC – Frequência Equivalente de Interrupção;

FIT – *Feed in tariff* (Tarifas de Alimentação);

FV – Fotovoltaico;

IGBT - *Insulated Gate Bipolar Transistor* (Transistor de porta isolada bipolar)

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

LpT – Programa Luz para Todos;

MEA – *Middle East and Africa* (Oriente Médio e África);

MME – Ministério de Minas e Energia;

m-Si - Silício Monocristalino

PADIS – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores;

$P_R$  – *Performance Ratio* (Desempenho Global);

PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios;

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica;

p-Si – Silício Policristalino;  
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento;  
QGBT - Quadro Geral de Baixa Tensão;  
ROW – *Rest of the World* (Resto do Mundo);  
SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede;  
SFV – Sistema Fotovoltaico;  
TDHi – Taxa de Distorção Harmônico de corrente;  
TDHu – Taxa de Distorção Harmônico de tensão;  
TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição;  
TUST – Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão;  
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná;  
Y<sub>F</sub> – *Final Yield* (Produtividade Anual).

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1. TEMA .....	17
1.1.1 Delimitação do tema .....	18
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS .....	18
1.3. OBJETIVOS .....	19
1.3.1. Objetivo geral .....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. JUSTIFICATIVA .....	19
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	20
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1. CONVERSÃO FOTOVOLTÁICA DE ENERGIA SOLAR.....	22
2.1.1. Terminologia.....	22
2.2. RADIAÇÃO SOLAR.....	24
2.3. EFEITO FOTOVOLTAICO.....	26
2.4. COMPONENTES BÁSICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	27
2.4.1. Módulos fotovoltaicos.....	27
2.4.2. Inversores .....	29
2.5. CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	31
2.6. PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO .....	34
2.6.1. Matriz energética brasileira .....	34
2.6.2. Capacidade instalada no Brasil.....	35
2.6.3. Formas de incentivo ao uso de SFCR no Brasil.....	36
2.6.4. ABINEE .....	38
2.7. PANORAMA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO MUNDO.....	39
2.7.1. Capacidade instalada acumulada .....	39
2.7.2. Evolução das instalações de sistemas fotovoltaicos .....	40
2.7.3.Meios de incentivo a utilização de sistemas fotovoltaicos no mundo .....	41
2.8. COMPARAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA ACUMULADA NO BRASIL E NO EXTERIOR.....	45

2.9. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	46
2.10. QUALIDADE DE ENERGIA .....	47
2.10.1. Harmônicos .....	48
2.10.2. Qualidade da energia para inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos .....	50
2.10.3. Monitoração da qualidade da energia elétrica.....	52
2.11. DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	53
2.11.1. Índices de Mérito utilizados na avaliação de um SFCR .....	53
<b>3. DESEMPENHO DO ESCRITÓRIO VERDE .....</b>	<b>57</b>
3.1. O ESCRITÓRIO VERDE (EV).....	57
3.2. O SFCR DO ESCRITÓRIO VERDE .....	58
3.3. DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR.....	61
3.4. IRRADIAÇÃO SOLAR NO PAINEL FOTOVOLTAICO DO EV .....	63
3.5. GERAÇÃO DO SFCR DO ESCRITÓRIO VERDE.....	65
3.6. INDÍCES DE MÉRITO DE SFCR DO ESCRITÓRIO VERDE .....	66
3.6.1. Produtividade final ( <i>Final Yield</i> ).....	67
3.6.2. Fator de capacidade.....	69
3.6.3. Desempenho global ( <i>Performance Ratio</i> ) .....	70
3.7. MANUTENÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	70
3.7.1. Possíveis melhorias .....	74
<b>4. MEDIÇÕES DE QUALIDADE DE ENERGIA .....</b>	<b>75</b>
4.1. O EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA .....	75
4.1.1. Funções do equipamento RE6000 .....	75
4.1.2. Forma de ligação do RE6000 com o sistema.....	76
4.2. MEDIÇÕES PRELIMINARES .....	77
4.3. MEDIÇÕES DEFINITIVAS .....	78
4.3.1. Medições de harmônicos em 12/11/2013.....	78
4.3.2. Medições de harmônicos em 13/11/2013.....	80
4.3.3. Medições de harmônicos em 14/11/2013.....	88
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>104</b>

<b>ANEXO B</b> .....	106
<b>ANEXO C</b> .....	108
<b>ANEXO D</b> .....	112

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. TEMA

Com o crescimento populacional acelerado, a energia consumida cresce incessantemente, exigindo uma nova demanda de energia elétrica, com uma capacidade maior de energia fornecida aos consumidores. Em paralelo necessita-se de um sistema mais eficiente e robusto, pois o ser humano torna-se cada vez mais dependente de novas tecnologias e sistemas que utilizam energia elétrica.

As formas de energia que suprem a demanda nacional em larga escala são basicamente compostas por usinas hidrelétricas, eólicas, térmicas e nucleares. No entanto, esse sistema está sobrecarregado e existem alguns fatores naturais e sociais que impedem a construção de novas usinas (URBANETZ, 2010).

Como hoje em dia se tem em mente a valorização dos recursos naturais e sociais, visando esse novo contexto, a energia solar se encaixa naturalmente, pois é renovável, não polui durante sua produção, pode ser introduzida em lugares remotos, pode ser adaptada a vários locais, e em larga escala se torna muito eficiente.

Levando em questão esse novo contexto, considerando as limitações das outras formas de geração de energia elétrica, é importante buscar uma nova fonte de energia que seja eficiente, limpa e renovável.

O efeito fotovoltaico consiste na transformação direta de energia radiante em eletricidade, sem a produção de nenhuma forma de energia intermediária durante o processo. Ela não gera poluição, pode ser adaptada em tetos e fachadas de edificações, em harmonia com a arquitetura. A potência instantânea incidente na superfície terrestre pode atingir valores superiores a  $1000 \text{ W/m}^2$ . Os valores anuais de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro variam entre  $1500$  e  $2500 \text{ kWh/m}^2$ , sendo que estes valores são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha ( $900$ - $1250 \text{ kWh/m}^2$ ), França ( $900$ - $1650 \text{ kWh/m}^2$ ) e Espanha ( $1200$ - $1850 \text{ kWh/m}^2$ ) (PEREIRA *et al.*, 2006).

### 1.1.1 Delimitação do tema

Esta pesquisa está focada em estudar o desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFCR), analisando a qualidade da energia gerada e fazendo uma comparação com a energia da concessionária. Além de demonstrar os índices de mérito do ano de 2013.

O SFCR a ser avaliado neste trabalho está instalado no Escritório Verde (EV) da UTFPR. Este escritório tem o propósito de servir como referência em construção sustentável, tendo como princípio, incentivar programas e implementar o uso de tecnologias que reduzam o impacto ambiental e promovam o desenvolvimento sustentável. O sistema consiste em um painel composto por 10 módulos fotovoltaicos Kyocera KD-210GX-LPU de 210 Watts cada, totalizando uma potência de pico de 2,1 kWp, conectado à rede elétrica, sem o uso de baterias, através de um inversor de 2,0 kW.

## 1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

O trabalho terá três pilares principais:

O primeiro ponto a ser tratado relaciona-se à qualidade da energia fornecida à rede de distribuição. Tendo em vista a influência harmônica que um inversor de frequência gera na rede de distribuição devido ao seu chaveamento para controlar a corrente de saída para a carga, faz-se os questionamentos:

- O SFCR da UTFPR está operando de forma otimizada, dentro dos parâmetros de qualidade de energia e com o desempenho esperado?
- Qual a taxa de harmônicos presente na carga com e sem o inversor CC-CA em operação?

O segundo ponto do trabalho visa detectar a ocorrência de perdas na geração de energia elétrica do SFCR da UTFPR com base nos índices de mérito referentes ao ano de 2012.

Por fim, há incentivos suficientes para o uso de SFCR no Brasil em proporção semelhante a países que nele já se destacam como, Alemanha, Itália, Espanha, EUA, China, Japão e Índia?

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo geral

Acompanhar e analisar o desempenho do SFCR do EV quanto à qualidade da energia fornecida às cargas e os índices de mérito para o ano de 2013.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o SFCR e qualidade de energia aplicada a ele;
- comparar a capacidade instalada de SFCR entre Brasil, Alemanha, Itália, Espanha, EUA, China, Japão e Índia;
- caracterizar o SFCR do EV quanto ao seus constituintes e funcionamento;
- realizar um estudo em relação à qualidade da energia gerada pelos SFCR;
- apresentar os índices de mérito para o ano de 2013, baseados nos dados de geração de energia elétrica e irradiação solar do SFCR do EV da UTFPR - Campus Curitiba;
- analisar os parâmetros da qualidade da energia fornecida às cargas com o inversor CC-CA do SFCR do EV estando ou não em operação.

### 1.4. JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo possibilitará a verificação da taxa de distorção de harmônicos fornecida às cargas, bem como análise do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede pública de eletricidade de 2,1 kWp, instalado no telhado do EV da UTFPR, tendo em vista aplicar métodos para melhorar esse desempenho se for possível.

Em relação aos índices de mérito, serão gerados indicadores que permitirão a comparação do desempenho deste sistema com outros, operando em diferentes

localidades sob diferentes configurações, identificando possíveis variáveis que possam interferir na geração de energia elétrica prevista, através da obtenção e manipulação dos dados necessários.

Este trabalho também permitirá a visualização comparativa em relação ao incentivo ao uso de SFCR no Brasil, Alemanha, Itália, Espanha, EUA, China, Japão e Índia.

## 1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, será realizada uma pesquisa bibliográfica referente à SFCR e a qualidade de energia, quais os parâmetros estipulados para se considerar um sistema ótimo, assim somando informações e material para se ter uma visão mais ampla sobre SFCR e a qualidade de energia gerada por estes sistemas utilizando-se de inversores CC-CA.

Em seguida será feita uma coleta de dados em relação ao crescimento de utilização dos SFCR no Brasil, Alemanha, Itália, Espanha, EUA, China e Índia tendo em vista como objetivo fazer uma comparação entre os países.

Posteriormente será feita uma caracterização do SFCR do EV, demonstrando quais os materiais e equipamentos utilizados e a forma que estão dispostos, tais como inversor de frequência e módulos solares.

Os dados de geração de energia elétrica do SFCR do EV da UTFPR do Campus Curitiba do ano de 2013 serão coletados através do site: <https://www.mypvpower.com/dashboard/976>, com visitas periódicas a cada 5 dias. Já os dados de irradiação solar serão coletados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Serão coletados dados referentes à qualidade da energia gerada pela concessionária e pelo SFCR do EV da UTFPR do Campus Curitiba. Estes dados serão obtidos através de medições. Para isso será necessário à utilização de ferramentas computacionais e equipamentos eletrônicos que captam distúrbios de energia ou eventos que envolvem tensão, corrente e frequência. Com isso, é possível comparar a qualidade da energia fornecida pela concessionária com a fornecida pelo SFCR do EV da UTFPR - Campus Curitiba.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho contará com cinco capítulos, sendo eles:

- Introdução – apresentação da proposta, definição do tema, definição dos objetivos e motivação para o desenvolvimento do trabalho;
- Referencial Teórico – Fundamentação teórica sobre SFCR, qualidade da energia gerada por SFCR, índices de mérito, estudo de meios de incentivo à utilização dos SFCR do Brasil, Alemanha, Itália, Espanha, EUA, China, Japão e Índia e apresentação da comparação da capacidade instalada de SFCR entre países citados;
- Desempenho do Escritório Verde – Caracterização do SFCR do EV, apresentação dos valores obtidos de índices de mérito, sendo eles: fator de capacidade ( $C_F$ ), produtividade anual ( $Y_F$  ou *Final Yield*) e desempenho global ( $P_R$  ou *Performance Ratio*) em relação ao ano de 2013.
- Medições de Qualidade de Energia – Coleta, análise e apresentação dos dados referente à qualidade de energia com e sem o SFCR do EV – Campus Curitiba;
- Conclusão.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. CONVERSÃO FOTOVOLTÁICA DE ENERGIA SOLAR

#### 2.1.1. Terminologia

A norma ABNT NBR 10.899 (2006), define os padrões brasileiros dos principais termos técnicos relativos à conversão de energia solar fotovoltaica, como unidades, simbologias e grandezas solarimétricas. A definição de alguns destes termos, segundo a norma, e que são relevantes para este trabalho, são citados a seguir:

- **albedo ( $G_{ALB}$ ):** índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devido à refletância nos arredores de onde está instalado um dispositivo;
- **ângulo de incidência ( $\theta$ ):** ângulo entre o raio incidente (direção do Sol) e a normal à superfície da célula ou módulo;
- **célula solar ou célula fotovoltaica:** dispositivo fotovoltaico elementar, especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica;
- **módulo fotovoltaico:** unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica. A Figura 1 apresenta o símbolo referente ao módulo, onde o triângulo indica o polo positivo;



Figura 1 – Símbolo de módulo fotovoltaico  
Fonte: ABNT NBR 10.899 (2006).

- **painel fotovoltaico:** um ou mais módulos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura;

- **arranjo ou gerador fotovoltaico:** um ou mais painéis fotovoltaicos interligados eletricamente, de modo a prover uma única saída de corrente elétrica;
- **sistema fotovoltaico:** conjunto de elementos composto de arranjo(s) fotovoltaico(s), podendo incluir: dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica; fiação; fundação e estrutura de suporte. O termo em inglês *BOS (Balance of System)* se refere ao sistema fotovoltaico, não incluindo os módulos fotovoltaicos;
- **corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ):** corrente de saída de um conversor fotovoltaico, na condição de curto-circuito e para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total.
- **declinação solar ( $\delta$ ):** ângulo de vértice no centro da Terra, formados pelas semirretas definidas pela direção do Sol e pelo plano do Equador, com faixa de variação  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$  e, por convenção, positivo quando estiver no hemisfério norte;
- **inclinação de uma superfície ( $\beta$ ):** ângulo de inclinação entre uma superfície e o plano horizontal;
- **radiação solar:** forma de transferência de energia advinda do Sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons;
- **irradiância solar ( $G$ ):** taxa da radiação solar incidente em uma superfície, por unidade de área. Normalmente medida em  $W/m^2$ ;
- **irradiância difusa ( $G_{DIF}$ ):** irradiância solar espalhada pela atmosfera, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal.
- **irradiância direta ( $G_{DIR}$ ):** irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser normal ou horizontal;
- **irradiância global ( $G_{HOR}$ ):** potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, sendo igual à irradiância direta mais a irradiância difusa;
- **irradiância total ( $G_{TOT}$ ):** potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebido em uma unidade de área em uma superfície;

- **irradiação solar ( $I$ ) ou ( $H$ ):** irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado. Sendo normalmente medida em  $J/m^2$  ou  $Wh/m^2$ , é simbolizada por " $I$ ", quando integrada no período de uma hora, ou por " $H$ ", quando integrado no período de um dia;
- **irradiação direta ( $H_{DIR}$ )** - irradiância direta integrada durante um dia, podendo ser horizontal ( $H_{DIR}$ ) ou normal ( $H_{DIRN}$ );
- **irradiação difusa ( $H_{DIF}$ )** - irradiância difusa integrada durante um dia;
- **irradiação global ( $H_{HOR}$ )** - irradiância global integrada durante um dia;
- **irradiação total ( $H_{TOT}$ )** - irradiância total integrada durante um dia.
- **ponto de máxima potência ( $P_{MP}$ ):** potência em um ponto da curva característica de um conversor fotovoltaico, onde o produto da corrente ( $I$ ) pela tensão ( $V$ ) é máximo, no quadrante de geração;
- **potência de pico ( $W_P$ ):** potência nominal de saída de um conversor fotovoltaico, sob as condições padrão de referência para ensaio;
- **eficiência de conversão fotovoltaica ( $\eta$ ):** razão, expressa em porcentagem, entre a potência máxima fornecida e o produto da área do módulo pela irradiância total, para valores preestabelecidos de temperatura;
- **tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ):** tensão gerada através de um conversor fotovoltaico sem carga (aberto), para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total.

## 2.2. RADIAÇÃO SOLAR

Conforme a equação  $E = mc^2$ , deduzida por Albert Einstein em 1905, pode-se obter energia a partir de reações entre núcleos atômicos que originem produtos com massa inferior à massa inicial do sistema. A energia nuclear pode ser obtida a partir da ligação entre dois núclídeos leves (fusão) ou da cisão de núcleos pesados (fissão). No interior do Sol, as reações que ocorrem entre dois prótons (núcleos de hidrogênio), transformando em núcleos de hélio. O Sol é assim um enorme reator de fusão (DEL BOSCO, 2013).

A terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia nesse período, confirmando o fato de

que a energia solar é de suma importância na vida na Terra e como uma fonte inesgotável de energia (CRESESB, 1999).

- Inclinação da Terra em relação ao plano equatorial

O planeta Terra tem uma trajetória elíptica e inclinada em  $23,5^\circ$  em relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no decorrer dos dias, dando origem às estações do ano (CRESESB, 1999).

A principal relação angular entre os raios solares e a terra é o chamado ângulo de Declinação Solar ( $\delta$ ) que pode ser visto entre os seguintes limites:

$$-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$$

A Figura 2 representa a inclinação da Terra em relação ao plano equatorial no decorrer do ano.



Figura 2 – Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol  
Fonte: Adaptado de Magnoli; Scalzaretto (1998).

- Radiação solar em nível do solo

A radiação solar que chega efetivamente à superfície terrestre é apenas uma fração da original, pelo fato de certa parcela ser absorvida pela atmosfera e outra ser refletida. Se a superfície receptora estiver inclinada, haverá uma nova parcela refletida pelo ambiente (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.), como definido anteriormente o chamado albedo.

Antes de atingir o solo a radiação solar é afetada pelas interações de absorção e espelhamento, dependendo da espessura da atmosfera, das condições meteorológicas, distância do Sol e a Terra, entre outras (CRESESB, 1999).

### 2.3. EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico acontece em materiais denominados semicondutores, que conduzem eletricidade mais eficientemente que os materiais isolantes e menos que os condutores. Estes materiais se caracterizam pela presença de faixas de energia onde é permitida a presença de elétrons, as chamadas faixas de valência. Outra faixa presente é a “vazia”, chamada faixa de condução, além dessas faixas existe uma terceira faixa chamada de faixa proibida, sendo esta a responsável por determinar se o material é semicondutor ou não, como se pode observar na Figura 3. Materiais isolantes contêm a faixa proibida na ordem de 6 eV, já os semicondutores possuem em média 1 eV.



**Figura 3 – Bandas de Valência, banda proibida e banda de condução de: Isolantes, condutores e semicondutores**

**Fonte: Mundo Educação (2013).**

Logo fótons, na faixa da luz visível, com energia superior ao hiato de energia (*gap*) do material podem excitar elétrons da faixa de valência para a faixa de condução (BRAGA, 2008).

O semicondutor mais usado é o silício, pelo seu custo benefício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem.

Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons (CRESESB, 1999).

## 2.4. COMPONENTES BÁSICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 2.4.1. Módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é o principal componente de um sistema fotovoltaico (SFV), sendo aonde ocorre a transformação de energia solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em CC. A corrente do gerador é definida pela conexão em paralelo dos painéis individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). Em relação à potência, esta é dada pela soma das potências nominais de cada módulo individual (RUTHER, 2004).

- Alguns tipos de módulos fotovoltaicos são mostrados na Figura 4.



**Figura 4 – Módulos Fotovoltaicos**  
Fonte: Solaria (2013).

Materiais mais empregados no mercado segundo RUTHER, 2004.

- Silício cristalino
  - **silício cristalino (c-Si):** o c-Si é o material mais consolidado no mercado fotovoltaico, isso ocorre por sua extrema robustez e confiabilidade. É o líder mundial em utilização para fabricação de módulos fotovoltaicos.
  - **m-Si (Silício monocristalino):** Uma tecnologia baseada no c-Si é silício monocristalino. No caso de células fotovoltaicas de silício monocristalino (m-Si), o monocristal é “crescido” a partir de um banho de silício fundido de alta pureza (Si = 99,99% a 99,9999%) em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas (da ordem de cm/h).
  - **p-Si (Silício policristalino):** Outra tecnologia baseada no c-Si é o p-Si. O silício policristalino (p-Si) apresenta menor eficiência de conversão, tendo também um menor custo de produção, já que a perfeição cristalina é menor que no caso do c-Si e o processamento muito mais simples.

- Filmes finos

- **silício amorfo hidrogenado (a-Si):** esse tipo de célula se mostrou extremamente eficiente sob aplicação de iluminação artificial, como por exemplo, sob lâmpadas fluorescentes e sob radiação difusa, que predomina em dias encobertos, sendo mais eficiente que o c-Si nestes casos.

- **telureto de cádmio (CdTe):** Os módulos são de placas de vidro num tom marrom/azul escuro, apresentam um atrativo estético em comparação ao c-Si. Assim como no caso do a-Si, os custos de produção do CdTe para grandes quantidades são menores que os anteriores.

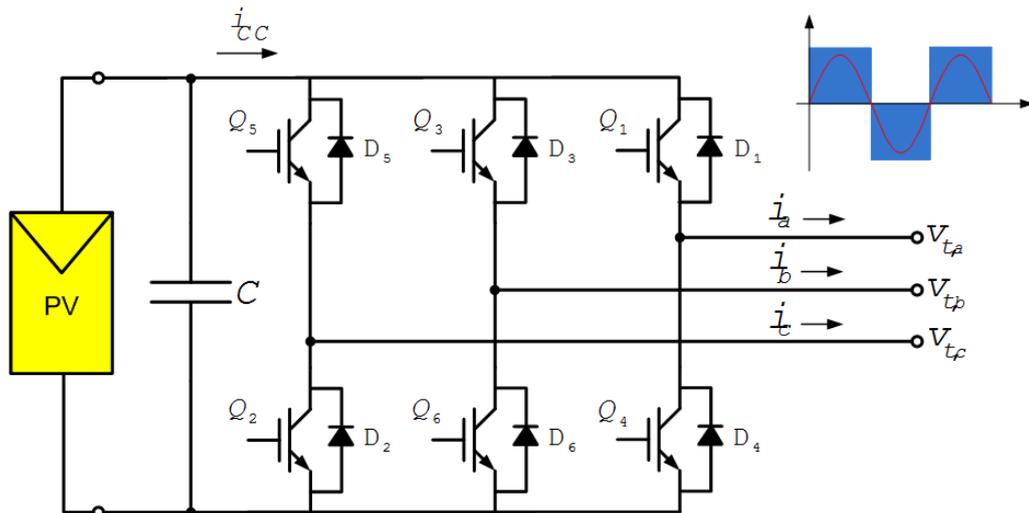
- **disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS):** As células solares fabricadas a partir da família de compostos baseados no disseleneto de cobre e índio ( $\text{CuInSe}_2$ , ou simplesmente CIS) e disseleneto de cobre, gálio e índio ( $\text{Cu(InGa)Se}_2$ , ou simplesmente CIGS), são materiais que tem um potencial de atingir eficiências relativamente elevadas. Dentre os filmes finos comercialmente disponíveis, módulos de CIGS são os que apresentam o melhor rendimento fotovoltaico, razão pela qual varias empresas vêm investindo nesta tecnologia.

#### 2.4.2. Inversores

Devido à natureza unidirecional em corrente contínua da energia elétrica gerada nos painéis solares fotovoltaicos é necessário o uso de conversores eletrônicos de potência (conversores estáticos) para condicionar a energia elétrica antes de esta ser disponibilizada para consumo na rede CA, alimentando cargas residenciais, comerciais e industriais.

O equipamento utilizado para processar essa energia é denominado conversor CC-CA. Este dispositivo eletrônico é composto por interruptores semicondutores de potência. Na Figura 5 é mostrada uma topologia básica de conversor CC-CA, trifásico, composto por seis chaves semicondutoras *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) que permitem o controle dos instantes de início de condução

e corte através de sinais eletrônicos aplicados em seus terminais de gatilho, sendo assim tendo na saída uma tensão senoidal (ALMEIDA, 2011).



**Figura 5 – Esquema de um conversor CC-CA trifásico com uma célula solar fotovoltaica conectada em seus terminais CC.**

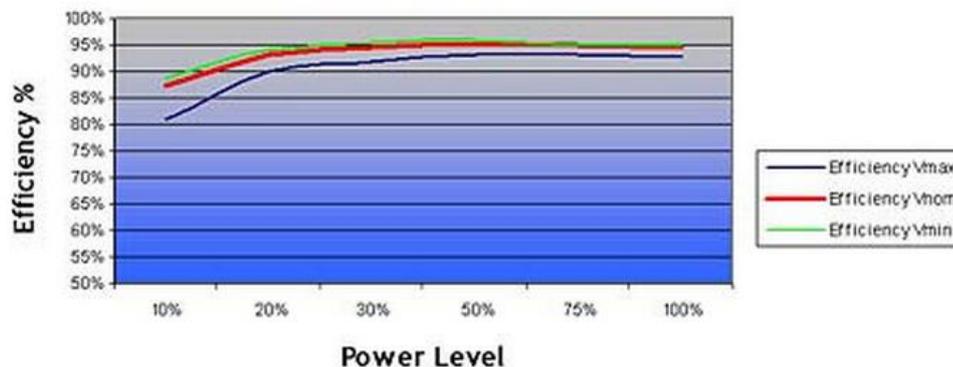
Fonte: ALMEIDA (2011).

Os inversores tem o objetivo de se obter tensão em corrente alternada com as características (frequência, conteúdo de harmônicos, forma de onda, etc.) necessárias para satisfazer às condições impostas pela rede elétrica pública e possibilitar assim a interconexão à rede (RUTHER, 2004).

- Tipos comuns de inversores:
  - comutados pela própria rede elétrica, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede;
  - auto comutados, onde um circuito eletrônico no inversor controla e sincroniza o sinal do inversor ao sinal da rede.
  
- Eficiência energética de inversores

Um diferencial pequeno na eficiência do inversor pode resultar em uma perda muito grande ao longo do tempo. Além da eficiência de operação, devem ser consideradas também as perdas quando em *standby*. A Figura 6 mostra a curva

característica da eficiência de conversão CC-CA do inversor da marca PVPOWERED, modelo PVP2000 em função da potência de operação.



**Figura 6 – Curva típica de eficiência de conversão CC-CA em função da potência para o inversor PVP2000**

Fonte: ADVANCED ENERGY, 2011.

- Segurança

É da máxima importância que o sistema inversor, sob hipótese alguma, injete energia gerada pelos módulos fotovoltaicos na rede elétrica quando esta estiver desligada. Este fenômeno, denominado ilhamento, pode resultar na rede elétrica estar energizada mesmo quando desconectada do sistema de geração central e oferece sérios riscos aos operadores da rede. São também recomendados transformadores de isolamento (trafo ou núcleo toroidal) no sistema inversor. Da mesma forma, é necessário prover proteção contra sobrecorrentes, surtos, sobre/subfrequência, sobre/subtensão tanto pela entrada CC como pela saída CA (RUTHER, 2004).

## 2.5. CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um SFV é um conjunto de equipamentos ligados entre si formando um circuito elétrico que permite gerar energia elétrica e disponibiliza-la para os equipamentos consumidores de forma estabilizada e padronizada (SUBIDA, 2013).

- Tipos principais de sistemas fotovoltaicos:

- sistemas isolados;
- sistemas conectados à rede elétrica.

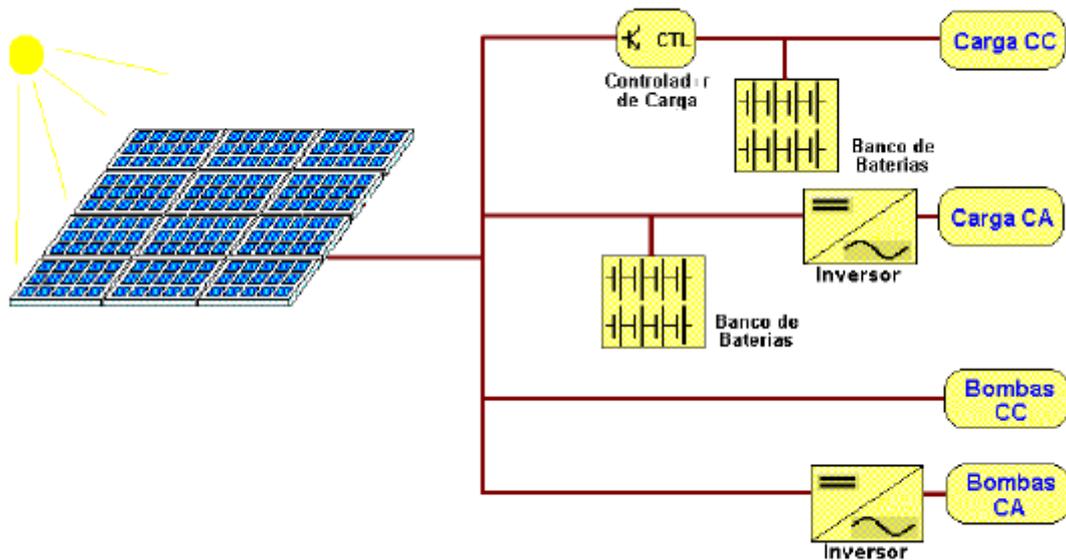
### 2.5.1. Sistemas isolados

Os sistemas isolados precisam acumular energia, pois não é sempre que existe a presença de sol, bem como o consumo de energia é diário, tanto residencial como industrial, principalmente. As baterias recarregáveis são as mais apropriadas como acumuladores de energia. A utilização de acumuladores obriga a que se torne indispensável a utilização de um regulador de carga e descarga adequado, que faça a gestão do processo de carga e descarga, de forma a proteger e garantir uma elevada confiabilidade e um maior tempo de vida útil dos acumuladores (SUBIDA, 2013).

- Componentes dos sistemas isolados:

- gerador fotovoltaico (um ou vários módulos fotovoltaicos, provavelmente dispostos em paralelo);
- regulador de carga;
- acumulador;
- inversor;
- carga.

A Figura 7 representa um sistema fotovoltaico isolado, sendo parte integrante desse sistema, um controlador de carga, bancos de baterias, inversores CC- CA e cargas CC e CA.



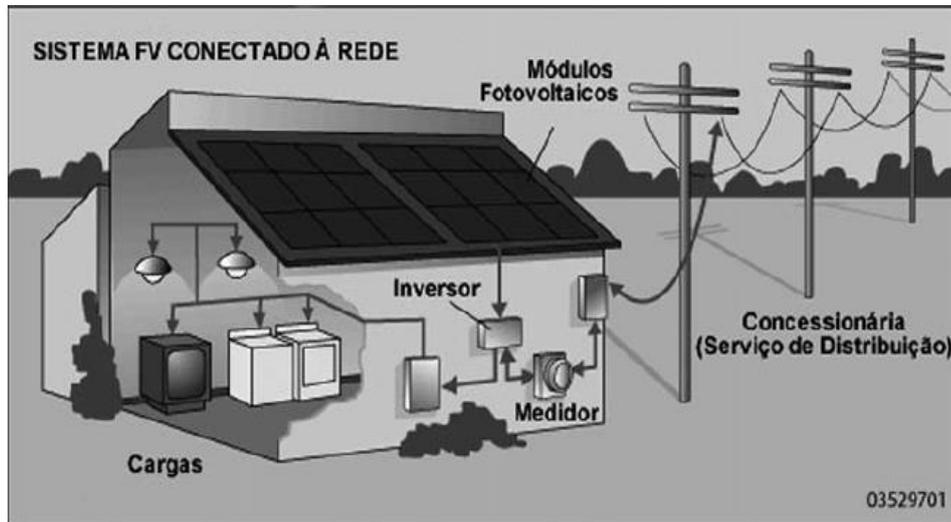
**Figura 7 – Sistemas Fotovoltaicos Isolado**  
**Fonte: MONTEZANO, 2007.**

### 2.5.2. Sistemas conectados à rede elétrica

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) normalmente não possuem acumuladores de energia, pois a energia é instantaneamente fornecida à rede de distribuição, representando uma outra fonte de geração quando estão produzindo energia elétrica, quando não estão produzindo, a energia vem diretamente da rede interligada ao sistema.

- Componentes dos SFCR:
  - gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo);
  - caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal DC);
  - cabos AC-DC;
  - inversor;
  - mecanismo de proteção e aparelhos de medição.

A Figura 8 mostra a configuração básica de um SFCR.

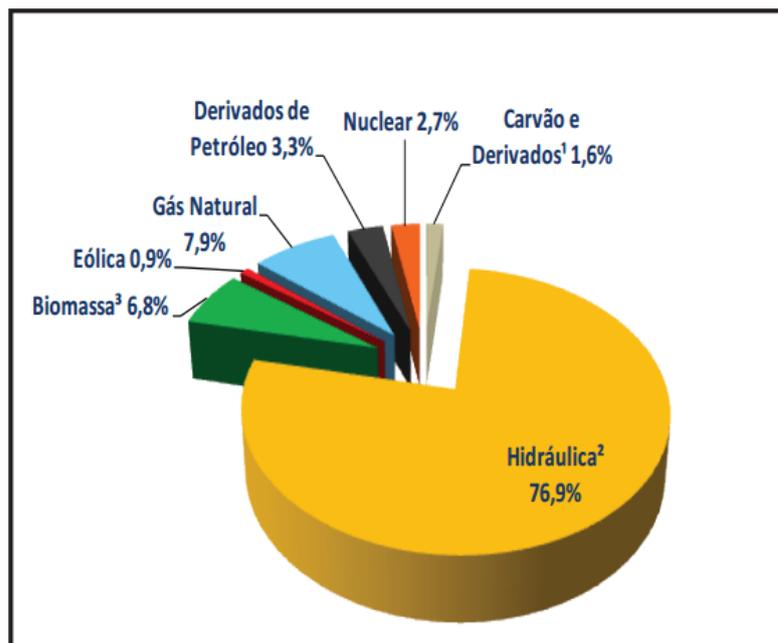


**Figura 8 – Sistema FV conectado à rede elétrica**  
**Fonte: PEREIRA; GONÇALVES (2008).**

## 2.6. PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

### 2.6.1. Matriz energética brasileira

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), no Brasil, no ano de 2012, a geração de energia elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 552,5 TWh, o que é 3,9% superior a geração de 2011. O principal contribuinte para geração de energia elétrica no Brasil é a energia hidráulica, que representa 76,9% da oferta interna de energia do Brasil (BEN, 2013). Na Figura 9, apresenta-se o gráfico da estrutura da oferta interna de energia elétrica no Brasil em 2012.



**Figura 9 – Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2012**  
**Fonte: BEN, 2013.**

Na Figura 9, destaca-se a geração elétrica a partir de matrizes renováveis em relação às demais, tendo a geração hidráulica correspondendo a 76,9% do total, incluindo importações, levando-se em conta que as importações são prioritariamente de origem renovável. Segundo a Figura 9 pode-se afirmar que 84,6% da eletricidade no Brasil provém de fontes renováveis (BEN, 2013).

#### 2.6.2. Capacidade instalada no Brasil

Em relação a capacidade instalada no Brasil, em 2012, as centrais de geração de energia elétrica do Brasil alcançaram 120.973 MW, aumento de 3,3% em relação ao ano de 2011, na soma das centrais de serviço público e autoprodutoras. Deste aumento de capacidade instalada de 2011 para 2012, o acréscimo em centrais hidráulicas correspondeu a 2,2%, ao passo que centrais térmicas responderam a 4,9% da capacidade adicionada. Ainda, as usinas eólicas foram responsáveis pelos 32,8% restantes de aumento de capacidade (BEN, 2013).

A capacidade instalada acumulada mais aceita por pesquisadores da área FV, até o final de 2011, é de aproximadamente 31,5 MW. Destes, 30 MW em sistemas

não conectados à rede, e 1,5 MW conectados a rede de distribuição de energia elétrica (ABINNE, 2012).

Segundo MME (2013), a capacidade instalada no Brasil em 2012 é de aproximadamente 8 MW.

O Brasil está perdendo a oportunidade de se posicionar como um ator no mercado fotovoltaico, como destacado pela (ABINEE, 2012).

“Assim sendo, permitir que o setor se desenvolva baseado somente nas forças de mercado existentes resultará numa curva de crescimento bastante tímida”. Os riscos associados a esta escolha estão relacionados principalmente à perda do *timing*<sup>1</sup>. A curva de aprendizado do setor é altamente acelerada.

Observa-se que a energia solar fotovoltaica ainda não tem um papel expressivo no cenário energético brasileiro.

Para reverter esse quadro, aonde a energia solar nem aparece nas estatísticas de fontes de energia, sendo sua atuação no mercado nacional ainda considerada insipiente, o governo brasileiro incentiva a introdução de SFCR, com alguns programas mostrados a seguir:

### 2.6.3. Formas de incentivo ao uso de SFCR no Brasil

- Alterar descontos do TUSD/TUST

A tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) teve elevação na porcentagem de descontos de 50% para 80%, aplicável nos 10 primeiros anos de operação da usina.

#### ➤ Características do programa:

Após esse prazo, o desconto será reduzido para 50%, sendo o valor utilizado atualmente (ANEEL, 2012).

---

<sup>1</sup> Timing – tempo de atuação.

- Facilitar a conexão à rede distribuição de mini e micro usinas

A ANEEL publicou no dia 17 de abril de 2012 uma nova resolução normativa (482/2012) para facilitar a conexão à rede de distribuição de mini e micro usinas de geração elétrica a partir de fontes renováveis.

Além de estabelecer os procedimentos gerais para a conexão à rede de mini e micros geradores, a resolução propõe a criação de um sistema de compensação de energia, conhecido internacionalmente como *net metering*.

Com ele, o proprietário de uma pequena usina não precisa consumir toda a energia produzida no momento da geração, uma vez que ela poderá ser injetada na rede e, nos meses seguintes, o consumidor receberá créditos em kWh na conta de luz referentes a esta eletricidade gerada mas não consumida.

- Proposta P&D Estratégico ANEEL – SFCR

Como citado anteriormente, os SFCR no Brasil ainda são pouco presentes. Em face dessa situação, justifica-se um programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), esse programa tem como objetivo englobar como um todo o SFCR, sendo caracterizado pela execução do projeto, instalação, operação e acompanhamento do desempenho de SFCR, sendo possível ter-se uma instalação de maior porte e maior escala, agindo nas áreas: residencial, comercial e industrial.

Publicado em agosto de 2011, o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Estratégico 013/2011 – “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, recebeu 18 propostas.

Destacando-se os projetos a seguir, cada um com capacidade instalada de até 3 MWp.

- arranjos técnicos e comerciais para a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira, da empresa FURNAS;
- central fotovoltaica da plataforma solar de petrolina, da empresa Companhia hidro elétrica do São Francisco;

- implantação de usina solar fotovoltaica (FV) de 3 MWp e avaliação do desempenho técnico e econômico da geração FV em diferentes condições climáticas na matriz elétrica brasileira, da empresa Tractebel energia S/A
- comparação da geração de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica e sua disponibilização na rede de distribuição sem e com acumulação em banco de baterias vanádio de ciclo ilimitado, da empresa Copel geração e transmissão S.A.

#### 2.6.4. ABINEE

Além das formas de incentivo foi criado um grupo aonde reúne empresas interessadas no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica cujo nome é Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE).

É um grupo setorial de SFV da ABINEE (“GS Fotovoltaico”) que foi constituído em janeiro de 2010 com o propósito de reunir as empresas interessadas no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país e na introdução dessa energia limpa e renovável na matriz elétrica brasileira (ABINNE, 2012).

- Barreiras na expansão fotovoltaica no Brasil

Existem três aspectos principais que dificultam a expansão de SFV no Brasil

- Aspectos técnicos

O ponto crítico nesse aspecto é em relação a intermitência da geração solar fotovoltaica, ou seja grandes variação de potência em um curto espaço de tempo, causada muitas vezes pela passagem de nuvens.

Existe a preocupação sobre eventual redução do controle operativo pela introdução na rede de energia “não firme”, o que demandaria maiores reservas girantes ao sistema.

Exigência de celebração de contrato de acordo operativo para se resguardar de responsabilidade em relação a acidentes ocorridos na instalação da geração distribuída, que ficaria fora de seu controle (ABINNE, 2012).

➤ Aspectos regulatórios

Talvez um dos fatores que prejudica a implantação de SFCR no Brasil, seja a lentidão na aplicação de regulamentação específica. A energia de fonte solar não teve seu nome citada em nenhum dos últimos leilões de energia nova, em outras palavras, o não aparecimento da energia solar nesses leilões fecha as portas de entrada da energia solar de maior porte no mercado.

➤ Barreiras no Desenvolvimento da Cadeia

Um dos principais motivos para o Brasil ainda não ter ingressado no mercado fotovoltaico de geração é o custo da produção da célula e do módulo, pois é difícil atingir um valor competitivo igual ao que se tem no exterior.

A solução para esse problema seria incentivos fiscais, como o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS) e condições específicas de financiamento (ABINNE, 2012).

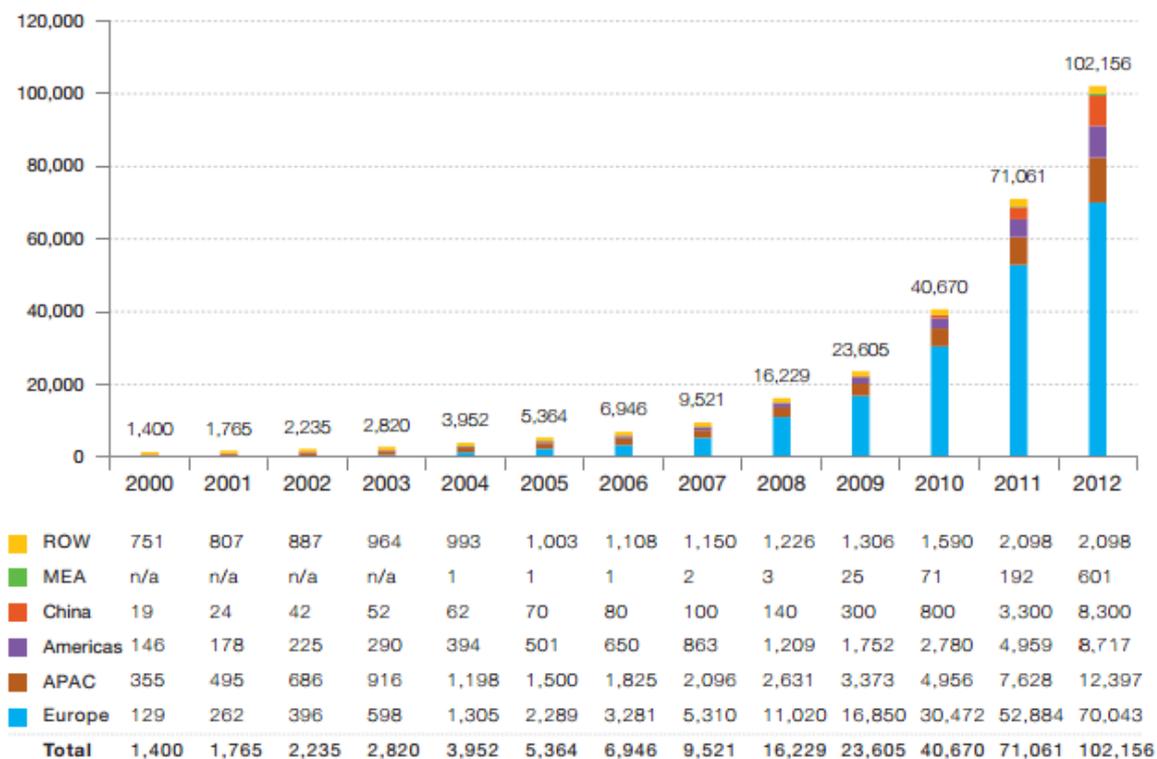
## 2.7. PANORAMA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO MUNDO

### 2.7.1. Capacidade instalada acumulada

A tecnologia FV vem se mostrando com um forte potencial para se tornar uma das principais fontes de energia no mundo e tem se apresentado com um crescimento contínuo. A capacidade instalada acumulada de SFV no mundo vem crescendo regularmente. No final de 2009, a capacidade instalada acumulada de SFV era de aproximadamente 24 GW. Já em 2010 era de 40,7 GW e em 2011, mais de 71,1 GW foram instalados no mundo, já em 2012 foram registrados 102 GW (EPIA, 2013).

Como se pode observar na Figura 10 em termos de capacidade mundial instalada acumulada, a Europa lidera com cerca de 70 GW instalados, representando

cerca de 70 por cento da capacidade cumulativa de SFV total do mundo. A Ásia-Pacífico apresenta 12,4 GW, já as Américas aparecem com 8,7 GW, e a China com 8,3 GW (EPIA, 2013).



**Figura 10 – Evolução da capacidade instalada acumulada mundial entre 2000-2012 (MW)**

Fonte: EPIA (2013).

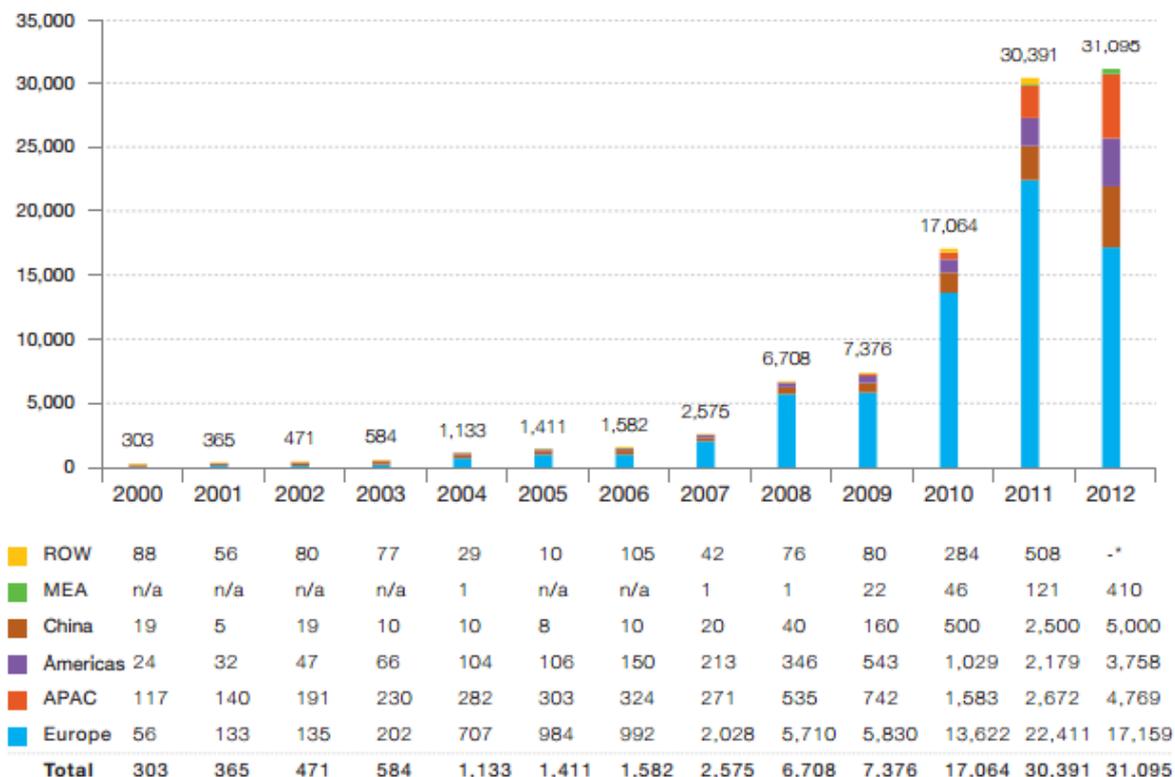
*ROW: Rest of the World*

*MEA: Middle East and Africa*

*APAC: Asia Pacific*

### 2.7.2. Evolução das instalações de sistemas fotovoltaicos

Já em relação à evolução das instalações anual de SFV no mundo a Europa diminuiu sua injeção de SFV em 2012 em relação ao ano anterior, de 22,4 MW para 17,6 MW, no entanto continua em destaque no cenário mundial, tendo inserido aproximadamente 55,2 por cento do total de instalações de SFV no mundo em 2012. A China adicionou 5 MW, as Américas cerca de 3,8 MW e a Ásia-Pacífico 4,8 MW, como se percebe na Figura 11.



**Figura 11 – Evolução da instalação FV anual mundial entre 2000-2012 (MW)**

Fonte: EPIA (2013).

*ROW: Rest of the World*

*MEA: Middle East and Africa*

*APAC: Asia Pacific*

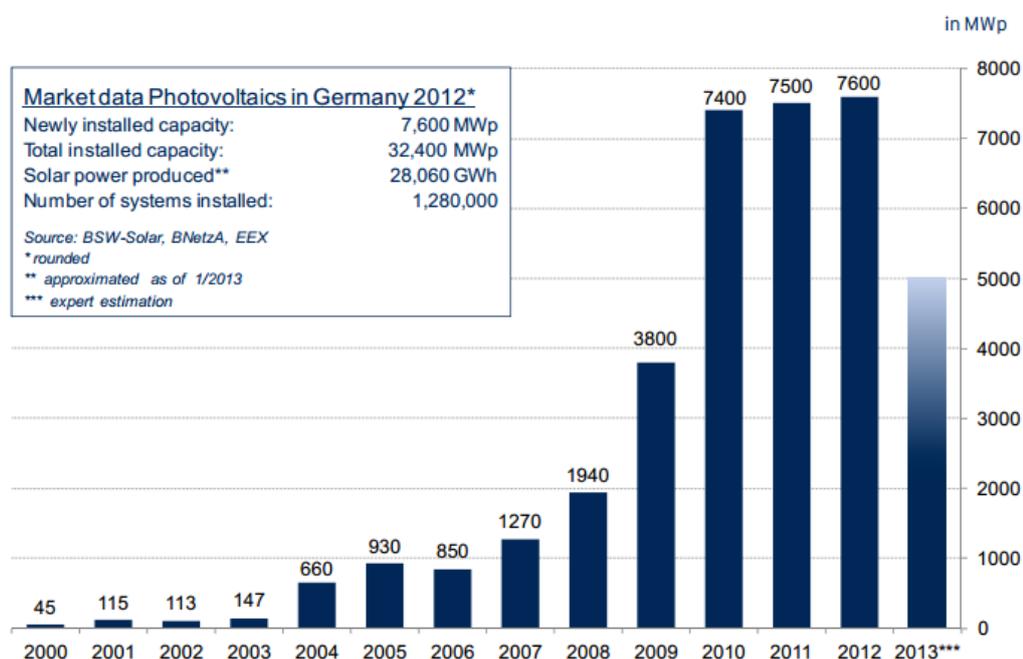
### 2.7.3. Meios de incentivo a utilização de sistemas fotovoltaicos no mundo

Existem vários programas de incentivo para encorajar a indústria fotovoltaica a atingir um status para competir com as outras fontes de energia mais convencionais (ABINNE, 2012).

- *Feed-in tariffs* (Alemanha)

A Alemanha foi pioneira no uso do programa de incentivo ao uso de energia fotovoltaica *feed-in tariff (FIT)*, em português, tarifa prêmio. Esse programa tem como objetivo acelerar os investimentos em energias renováveis através de contratos de produção de eletricidade tipicamente baseados no custo de geração de cada tecnologia. No caso da fotovoltaica, por exemplo, aos produtores é oferecido um preço mais elevado por MWh produzido, refletindo os maiores custos de produção desta fonte. Normalmente, os contratos com tarifa prêmio incluem cláusulas de redução de preços ao longo do tempo, com o intuito de forçar ou incentivar desenvolvimentos que levem a redução do custo de geração da fonte (ABINNE, 2012).

A Figura 12 mostra dados do mercado fotovoltaico Alemão até a metade do ano de 2013, tendo como potência adicionada 7600 MWp, em 2012.



**Figura 12 – Dados do mercado fotovoltaico alemão em 2013**

Fonte: BSW Solar (2013).

- Leilões e a Missão Solar Nacional (Índia)

Na Índia existe uma iniciativa para incentivar a introdução de fontes renováveis em sua matriz energética, sendo este o programa *Jawaharlal Nehru National Solar Mission*. O programa tem como objetivo tornar a Índia um dos líderes mundiais na indústria fotovoltaica, sendo que as perspectivas são para a instalação de 1 GW em plantas fotovoltaicas. Os projetos serão selecionados através de leilões e, embora existam controvérsias, deverão contar com índice de nacionalização da ordem de 60% (ABINNE, 2012).

- Subsídios à produção e o Projeto *Golden Sun* (China)

Na China foi instituído em 2009 um programa para promover as instalações de plantas fotovoltaicas em parceria com o *Solar Roofs Plan* para promover a instalação de módulos em telhados. Os subsídios seriam da ordem de 50% do valor do investimento em sistemas de geração. Em áreas remotas, com sistemas *off grid* (sistemas isolados), o subsídio poderia chegar a 70%. De acordo com o plano, esperava-se atingir uma capacidade total de 500 MW, com o volume de subsídios de 10 bilhões de yuans (aproximadamente 1,6 bilhões de dólares).

Em 2011, o governo chinês introduziu o mecanismo de tarifa prêmio, com redução de preços acompanhando a queda de custos (ABINNE, 2012).

- *Net metering*, crédito e incentivos tributários (Estados Unidos)

Os Estados Unidos são um dos maiores mercados de energia solar fotovoltaica no mundo, com muitos programas de incentivos ao uso desta energia. Em 2008, o *United States Department of Energy* (DoE) (Departamento de Energia do governo norte-americano) anunciou o investimento de um montante de US\$ 17,6 milhões em seis companhias que seriam incubadas dentro do projeto chamado *Solar America Initiative*. O objetivo do programa é tornar a energia solar fotovoltaica competitiva – em relação a outras formas de energia, através do desenvolvimento tecnológico, até 2015 (ABINNE, 2012).

Alguns dos programas de incentivo ao uso de energia de fonte solar dos EUA:

- **crédito e incentivos tributários:** os programas de incentivo ao mercado fotovoltaico nos Estados Unidos seguem basicamente a linha de condições especiais de financiamento ou incentivos tributários;
- **net metering:** é uma forma de incentivo ao consumo de energia solar fotovoltaica que consiste na injeção à rede do excesso de eletricidade gerado pelo consumidor, usualmente através de créditos em kWh;
- **certificados de energia renovável:** os certificados são produzidos a cada 1.000 kWh de produção de um sistema fotovoltaico, uma vez que este sistema seja registrado e certificado por agências regulatórias locais. Dependendo da legislação específica do Estado, os parâmetros do certificado são obtidos através de medição ou estimativa;
- **incentivos à Indústria:** uma grande variedade de incentivos para encorajar a instalação ou expansão de indústrias da cadeia fotovoltaica.

- Real Decreto (Espanha)

A Espanha incentiva o uso de SFCR, baseando-se no programa *Feed-in tariff*, que tem como objetivo beneficiar o produtor com tarifas que podem variar de 0,33 €/kWh até 0,44 €/kWh, nos primeiros 25 anos, dependendo da aplicação e tamanho do sistema (VARELLA, 2009).

- Quinto Conto Energia (Itália)

O programa *Quinto Conto Energia* incentiva a produção de eletricidade produzida por centrais fotovoltaicas conectadas à rede. Existe uma taxa global em relação à parcela de energia líquida fornecida à rede a partir da planta e, uma taxa prêmio em relação à energia produzida e consumida no local. (GSE, 2012).

- *Residential PV System Dissemination* (Japão)

O programa é subsidiado pelo governo japonês ajudando o proprietário residencial com uma parte do custo de instalação. O subsídio é passo a passo, gradualmente, reduzido de 1/2 a 1/3 ou um valor fixo do montante especificado anualmente (INOUE; MIYAZAKI, 2010).

## 2.8. COMPARAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA ACUMULADA NO BRASIL E NO EXTERIOR

Segundo dados retirados do *Global Market Outlook*, 2013, a capacidade instalada acumulada em relação aos países se dá pela **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Como se pode observar a Alemanha aparece em primeiro lugar com 32,4 GW instalados, seguidos de Itália com 16,3 GW, o Brasil tem uma parcela muito menos expressiva em comparação com esses países, a capacidade instalada acumulada do Brasil, representa 0,0247 % da capacidade acumulada da Alemanha.

**Tabela 1 – Capacidade instalada acumulada até 2012**

<b>Países</b>	<b>Capacidade Instalada (MW)</b>
<b>Brasil</b>	8
<b>Alemanha</b>	32400
<b>Itália</b>	16336
<b>Espanha</b>	5166
<b>China</b>	8300
<b>USA</b>	7800
<b>Japão</b>	6900
<b>Índia</b>	1200

Fonte: adaptado de EPIA (2013); adaptado de MME (2013).

## 2.9. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O sistema elétrico brasileiro se encaminha para a condição de mercado livre, com a introdução da figura do produtor independente de energia e também do consumidor livre. No dia 17 de abril de 2012, a ANEEL disponibilizou através da Resolução Normativa nº. 482, a regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica possam ser também geradores de energia.

Inicia-se assim, a era da micro (potência até 100 kW) e minigeração distribuída (potência entre 100 kW e 1 MW) no Brasil. Aos consumidores de eletricidade é permitido gerar parte ou todo o potencial elétrico que consomem, utilizando geradores que trabalham junto com a rede de distribuição, em regime de troca de energia.

O sistema de “troca de energia” entre consumidor e distribuidora de eletricidade não prevê a compra de energia, mas sim o armazenamento dos créditos energéticos, por um período de até 3 anos. Ou seja, o foco da regulamentação está na possibilidade do consumidor gerar a sua própria energia e poder injetar o excedente de energia na rede elétrica da concessionária sem remuneração, porém com o benefício do sistema de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação seguirá os seguintes procedimentos, segundo a Resolução Normativa nº. 482, ANEEL, 2012, disponível para consulta no ANEXO D.

Mais recentemente, foram publicadas nos dias 1 e 4 de Março de 2013 as normas ABNT NBR 16.149, ABNT NBR 16.150 e NBR/IEC 62116, com o intuito de normatizar a interface (inversores) de conexão do sistema de geração FV às redes de distribuição, bem como especificar os procedimentos de ensaio para os mesmos.

A norma de requisitos é a ABNT NBR 16.149 e as normas de procedimento de ensaios são as: ABNT NBR 16.150 e NBR/IEC62116. ABNT NBR 16.149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição, ABNT NBR 16.150 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade e NBR/IEC62116 – Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

## 2.10. QUALIDADE DE ENERGIA

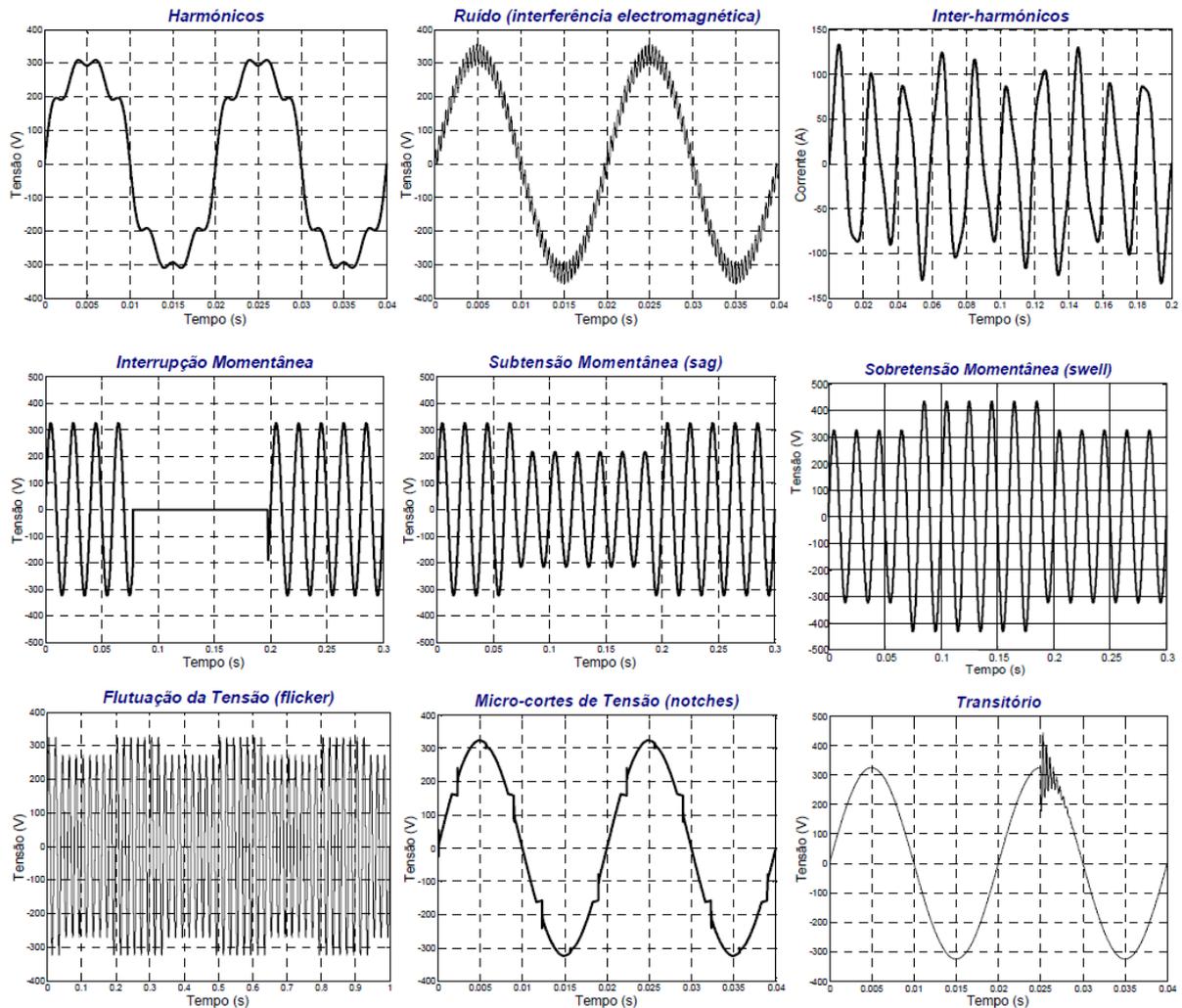
A qualidade de energia tem se tornado um termo muito utilizado nos dias atuais, embora não exista ainda um consenso quanto ao seu emprego, podendo ter significados diferentes dependendo do referencial e ponto de vista. As concessionárias de energia elétrica têm definido atualmente a qualidade de energia com base em indicadores estatísticos de continuidade (DEC – Duração Equivalente de Interrupção e FEC – Frequência Equivalente de Interrupção) e dos limites de variação estabelecidos pelas portarias da ANEEL (ANEEL, 2013).

Para o consumidor final, a qualidade de energia é dispor do produto de forma contínua e eficiente. De um modo geral, a qualidade de energia tem sido empregada por englobar uma grande variedade de distúrbios nos sistemas elétricos, os quais sempre foram objetos de preocupação das concessionárias e indústrias.

Os fabricantes de equipamentos podem definir a qualidade de energia como sendo as características de fornecimento de energia capazes de suprir as necessidades do equipamento, sendo que isto pode variar de fabricante para fabricante (BALTAZAR, 2007).

Em qualquer ponto de um sistema elétrico trifásico ideal, as tensões deveriam ser, de forma permanente, perfeitamente senoidais, equilibradas com amplitude e frequência constantes. Qualquer desvio na característica desses parâmetros é considerado um problema de qualidade de energia (distúrbios) (AFONSO *et al.*, 2003).

Na Figura 13 destaca os principais distúrbios associados à qualidade de energia.



**Figura 13 – Distúrbios associados à qualidade de energia elétrica**

Fonte: AFONSO et al., 2003.

### 2.10.1. Harmônicos

Grande parte dos problemas que surgem nos sistemas elétricos tem origem na excessiva distorção das correntes ou tensões junto ao consumidor final e a principal causa deste fenômeno, que pode ser visto como um tipo de poluição eletromagnética é o crescente uso de equipamentos eletrônicos alimentados pela rede elétrica, tais como computadores, aparelhos de televisão, etc (RIBEIRO, 2007).

Quase todos os equipamentos eletrônicos com alimentação monofásica ou trifásica incorporam um circuito retificador à sua entrada, seguindo de um conversor do tipo CC-CC ou CC-CA. Um dos tipos de retificadores mais utilizados em equipamentos de baixa potência é o retificador monofásico de onda completa com

filtro capacitivo, que possui uma corrente de entrada altamente distorcida. O elevado conteúdo harmônico da corrente distorce a tensão de alimentação devido à queda de tensão nas impedâncias das linhas. Mesmo as lâmpadas fluorescentes normais contribuem significativamente para os harmônicos na rede, devido ao comportamento não linear das descargas em meio gasoso e ao circuito magnético do reator, que pode operar na região de saturação (Cavallini *et al.*, 1999).

Além das distorções nas formas de onda, a presença de harmônicos nas linhas de distribuição de energia origina problemas nos equipamentos e componentes do sistema elétrico, desde o aumento das perdas dos condutores elétricos até o mau funcionamento ou falhas de operação em equipamentos eletrônicos ligados à rede elétrica.

#### Fator de Potência

O fator de potência pode ser definido como a relação entre a potência ativa e a potência aparente consumida por um dispositivo ou equipamento, independentes das formas que as ondas de tensão e corrente apresentem. Os sinais variantes no tempo devem ser periódicos e de mesma frequência (MATEUS, 2001).

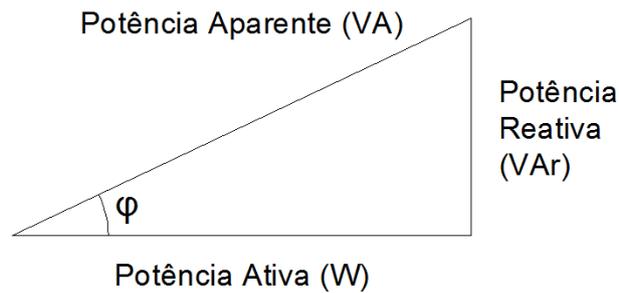
$$FP = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Onde:

P = potência ativa (W);

S = potência aparente (VA).

A Figura 14 mostra o triângulo das potências, com suas componentes de potência ativa (W), reativa (Var) e aparente (VA).



**Figura 14 – Triângulo das potências**  
**Fonte: Autoria própria.**

Em um sistema ideal com formas de onda senoidais, o FP torna-se igual ao  $\cos(\varphi)$ , também chamado de cosseno da defasagem, sendo esta defasagem entre as ondas de tensão e de corrente, essa defasagem é geralmente causada por cargas indutivas ou capacitivas.

Já o cálculo do FP com harmônicos, que é o caso real, este pode ser definido pela equação 2 (MATEUS, 2001).

$$FP = \frac{\cos(\varphi_1)}{\sqrt{1 + TDH^2}} \quad (2)$$

Proporcionalmente quanto maior a diferença entre o FP e o  $\cos(\varphi_1)$ , maior será a taxa de distorção harmônica (TDH).

Define-se TDH como sendo a relação entre o valor RMS das componentes harmônicas da corrente e a fundamental:

$$TDH = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3)$$

#### 2.10.2. Qualidade da energia para inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos

O aparecimento de frequências harmônicas faz com que a forma de onda da tensão e da corrente dos inversores utilizados em SFCR apresente distorções, principalmente na corrente. Quanto mais se opera próximo da potência nominal do inversor, menor é a distorção harmônica verificada (URBANETZ, 2010).

A forma de onda obtida na saída dos inversores de SFCR deve possuir baixa distorção harmônica. A distorção harmônica total relacionada à corrente deve ser menor que 5% da corrente fundamental e cada harmônico individual deve estar limitado conforme apresentado na Tabela 2 (IEC 61727, 2004; IEEE 519, 1992; IEEE 929, 2000).

**Tabela 2 – Limites de distorção na corrente**

<b>Ordem dos harmônicos</b>	<b>Limite de distorção</b>
3 <sup>a</sup> – 9 <sup>a</sup>	< 4,0%
11 <sup>a</sup> – 15 <sup>a</sup>	< 2,0%
17 <sup>a</sup> – 21 <sup>a</sup>	< 1,5%
23 <sup>a</sup> – 33 <sup>a</sup>	< 0,6%
Acima da 33 <sup>a</sup>	< 0,3%

Fonte: IEC 61727, 2004 (adaptado).

Por outro lado, a norma IEC 61000-2-2 define os níveis de compatibilidade para harmônicos de tensão para redes de baixa-tensão, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis de compatibilidade para os harmônicos de tensão em redes públicas de BT.

Harmônicos ímpares não múltiplos de 3		Harmônicos ímpares múltiplos de 3		Harmônicos pares	
Ordem n	Tensão harm. (%)	Ordem n	Tensão harm. (%)	Ordem n	Tensão harm. (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	0,2+0,5x25/n				

Fonte: IEC 61000-2-2, 1990-05 (adaptado).

### 2.10.3. Monitoração da qualidade da energia elétrica

Nos dias de hoje, a “medição” da qualidade de energia elétrica é determinada pela sensibilidade e desempenho dos equipamentos do consumidor. Assim, por este enfoque, a qualidade satisfatória é aquela que venha a garantir o funcionamento contínuo, seguro e adequado dos equipamentos elétricos e processos associados. Para uma avaliação mais adequada de um equipamento é sempre necessário verificar os limites de operação deste referido equipamento e comparar com os valores obtidos pelo monitoramento da energia elétrica.

A utilização de medidores de qualidade de energia elétrica é a melhor forma de detectar e diagnosticar problemas nos sistemas elétricos de potência. Estes equipamentos permitem, basicamente, medir e registrar ao longo do tempo valores de tensões, correntes e potências em vários canais.

No mercado existe um leque bastante variado de equipamentos para monitorar a qualidade da energia elétrica. Contudo, estes equipamentos são

normalmente muito caros, sobretudo os que apresentam bons desempenhos e múltiplas funções.

## 2.11. DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 2.11.1. Índices de Mérito utilizados na avaliação de um SFCR

Índices de méritos são fórmulas algébricas que expressam um compromisso entre duas características ou propriedades. Em sua forma mais simples um índice de mérito é geralmente uma fração, tendo no numerador a propriedade que se quer maximizar e no denominador a que se deseja minimizar.

Podem ser usados três destes parâmetros de performance para definir a eficiência global de um sistema fotovoltaico conectado à rede, no que diz respeito ao aproveitamento da radiação solar, produção de energia e efeitos das perdas do sistema. Estes parâmetros são respectivamente: fator de capacidade ( $C_F$ ), produtividade anual ( $Y_F$  ou *Final Yield*) e desempenho global ( $P_R$  ou *Performance Ratio*).

A análise destes índices de mérito permite a comparação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica operando com diferentes configurações e tecnologias e em diferentes localidades. Deste modo, é possível avaliar se um sistema fotovoltaico opera de forma otimizada, ou se pode ser reconfigurado de modo a maximizar sua eficiência (BENEDITO, 2009).

#### 2.11.1.1. Fator capacidade de um SFCR

Este índice representa a razão entre a energia gerada pelo sistema pela potência nominal de forma contínua, 24 horas por dia durante o ano inteiro. Este índice geralmente é apresentado em percentual e é muito utilizado para comparar a capacidade de geração de diferentes tipos de fontes de energia (BENEDITO, 2009).

$$C_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência Nominal FV} * 24 * \text{dias}} \quad (4)$$

Sistemas fotovoltaicos possuem fatores de capacidade relativamente baixos se comparados com outros sistemas de geração de energia elétrica. Isto ocorre devido à própria natureza do recurso solar, que é intermitente devido ao movimento da Terra em relação ao sol e às variações climáticas.

No caso dos SFCR brasileiros, o  $C_F$  normalmente está entre 13% e 18%, variando de acordo com a disponibilidade do recurso solar e do tipo de tecnologia e de dimensionamento adotados (BENEDITO, 2009).

#### 2.11.1.2. Produtividade anual de um SFCR

O índice de produtividade anual ( $Y_F$  ou *Final Yield*) de um SFCR é encontrado através da divisão entre a energia gerada dividida pela potência nominal instalada do sistema fotovoltaico. Ele representa qual a produção anual, em kWh para cada kWp instalado. Este parâmetro também indica o número de horas que o sistema deveria operar, em carga nominal, para prover a energia entregue no período de um ano (BENEDITO, 2009).

$$Y_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência Nominal FV}} \quad (5)$$

O índice de produtividade anual ( $Y_F$ ) é calculado dividindo-se o total de energia gerada, registrada através de um medidor, em kWh, pela potência DC equivalente a soma das potências de cada módulo fotovoltaico instalado no painel. Como esta potência é definida nas condições padrões de ensaio, onde se tem a incidência de 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiância e o controle de temperatura das células em 25°C, a equação de  $Y_F$  oferece a vantagem de relacionar a potência AC entregue ao sistema com uma condição padrão, permitindo a comparação de outros sistemas, com relação à eficiência de conversão DC para AC ou de diferentes configurações e ambientes de montagem, onde teremos variação na temperatura dos módulos fotovoltaicos (BENEDITO, 2009).

### 2.11.1.3. Desempenho Global de um SFCR

O índice de desempenho global ( $P_R$  ou *Performance Ratio*) é muito útil, pois ele quantifica as perdas globais ocorridas no sistema devido à ineficiência do inversor, às perdas na fiação, às incompatibilidades na conversão DC para AC, temperatura dos módulos, instalação incorreta do painel, sujeira e eventuais desligamentos. Este índice de mérito representa a real capacidade do sistema em converter a energia solar disponível no plano dos módulos em eletricidade, pois é a razão entre a energia entregue pelo sistema e a energia que esteve disponível no plano considerado, como consta na Equação 6 (BENEDITO, 2009).

$$P_R = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (6)$$

Onde:

$Y_R$  = produtividade de referência do sistema em função da radiação solar incidente.

O  $Y_R$  dependerá da localização e orientação do painel e da variação do clima no local, de acordo com a Equação 7.

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{ref}} \quad (7)$$

Onde:

$H_T$  = irradiação no plano do arranjo, em kWh/m<sup>2</sup> no período considerado;

$G_{ref}$  = irradiância de referência na condição padrão de testes, sendo igual a 1000 W/m<sup>2</sup>.

O desempenho global é um valor adimensional que indica o efeito global das perdas na saída nominal. Sozinho, este número não permite a verificação da real capacidade de energia a ser produzida, pois um sistema com um índice  $P_R$  baixo em um local com altos recursos de energia solar pode produzir mais energia do que um sistema com um  $P_R$  alto em um local de baixo recurso solar.

Valores de desempenho global são úteis para determinar se o sistema está funcionando conforme o esperado e para identificar a ocorrência de problemas

operacionais, como falhas ou defeitos no inversor, atuações de disjuntor, falhas em soldas e conexões, falhas de diodo, sombreamento, neve, sujeira, degradação do sistema fotovoltaico ao longo do tempo, entre outras falhas.

Quedas abruptas nos índices de  $P_R$  podem indicar ocorrências significativas impactando no desempenho do sistema, tais como inversores não operacionais ou atuação de proteção. Já pequenas diminuições ao longo do tempo no  $P_R$ , podem indicar a existência de problemas menos graves, como, por exemplo, o acúmulo de poeira. Normalmente os valores de  $P_R$  são demonstrados em intervalos de meses ou anos, sendo que intervalos menores podem ser úteis para identificar ocorrências ou falhas nos componentes do SFCR. Devido às perdas por temperatura dos módulos serem um dos fatores que mais influenciam na eficiência do sistema, os valores de  $P_R$  tendem a serem maiores no inverno do que no verão (FUSANO apud BENEDITO, 2009).

Segundo Benedito (2009), em sua metodologia para estimativa de custo de geração a partir de um SFCR, o valor de 75% para o desempenho global demonstra-se razoável, tendo em vista o desempenho de sistemas pré-existentes descritos na literatura.

### 3. DESEMPENHO DO ESCRITÓRIO VERDE

#### 3.1. O ESCRITÓRIO VERDE (EV)

O Escritório Verde Figura 15 é um órgão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR que tem a aprovação do Gabinete da Diretoria do *Campus* Curitiba para desenvolver a política de sustentabilidade do *campus*, unindo pesquisadores, professores, estudantes e pessoal administrativo.

Seu principal objetivo é implantar uma série de programas para se reduzir o impacto ambiental das atividades acadêmicas e também servir de referência a outras instituições de ensino e empresas.

A sede do Escritório Verde se encontra dentro dos princípios da construção sustentável, estando localizada à Av. Silva Jardim, 807. Tem como proposta ser um “laboratório vivo” aberto ao público para demonstração da ecoeficiência dos produtos e das tecnologias empregadas em sua construção, por meio de visitas previamente agendadas com acompanhamento técnico.



**Figura 15 – Fachada do Escritório Verde da UTFPR**  
**Fonte: Escritório Verde Online<sup>2</sup> (2013).**

---

<sup>2</sup> Disponível em: <[http://www.escriptorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2011/01/IMG\\_9334.jpg](http://www.escriptorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2011/01/IMG_9334.jpg)>. Acesso em ago. 2013.

Os Centros Universitários Sustentáveis, chamados “greencampi”, constituem uma realidade nos Estados Unidos, Europa, Austrália e Nova Zelândia. Principalmente nos Estados Unidos, os campi universitários assumem função ainda mais relevante, por se tratarem de verdadeiras vilas, uma vez que englobam também as moradias dos estudantes. A grande maioria dessas universidades possui um “Green Office” – Escritório Verde, onde são planejadas e implantadas as práticas sustentáveis nos campi. Atuando em conjunto com outros departamentos das universidades, responsáveis pela manutenção, reformas, energia, água, resíduos, e até no planejamento de novas edificações, a gestão ambiental de um campus se torna mais fácil e eficiente.

No Brasil, este movimento já começa a acontecer em algumas Instituições de Ensino Superior (IES), pois tais iniciativas seguem uma tendência global da necessidade das universidades se posicionarem diante dos anseios da sociedade por um desenvolvimento sustentável, não apenas no ensino como também em práticas internas ambientalmente corretas. A busca da construção de sociedades sustentáveis pode acontecer com a colaboração das ciências puras e das ciências aplicadas, gerando o desenvolvimento de práticas adequadas convergentes para políticas e ações pró-ambientais (ESCRITÓRIO VERDE ONLINE<sup>3</sup>).

### 3.2. O SFCR DO ESCRITÓRIO VERDE

O SFCR presente no EV conta com módulos Kyocera KD210GX, produzidos em silício policristalino e possuem tensão de circuito aberto de 33,2 V. O painel é constituído da associação em série de 10 módulo fotovoltaicos.

Na Tabela 4 mostram-se as características elétricas do módulo KD210GX, em condições de teste.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.escriptorioverdeonline.com.br/o-que-e-o-escriptorio-verde/>>. Acesso em ago. 2013.

Tabela 4 – Características do Módulo KD210GX em condição padrão de teste (STC)

<b>Potência Máxima</b>	<b>210 W</b>
<b>Tensão de Máxima Potência</b>	26,6 V
<b>Corrente de Máxima Potência</b>	7,90 A
<b>Tensão de Circuito Aberto</b>	33,2 V
<b>Corrente de Curto-circuito</b>	8,58 A
<b>Tensão Máxima do Sistema</b>	600 V
<b>Coefficiente de Temperatura da Voc</b>	-0,120 V/°C
<b>Coefficiente de Temperatura da Isc</b>	5,15x10 <sup>-3</sup> A/°C
<b>Número de Células por Módulo</b>	54
<b>Comprimento x Largura x Espessura</b>	1500 mm x 990 mm x 46 mm
<b>Peso</b>	18 kg
<b>Temperatura de Operação</b>	-40 °C até 90 °C

Fonte: Kyocera (adaptado).

Na Figura 16, mostra-se a curva característica da relação de corrente por tensão dos módulos KD210GX em diferentes temperaturas.

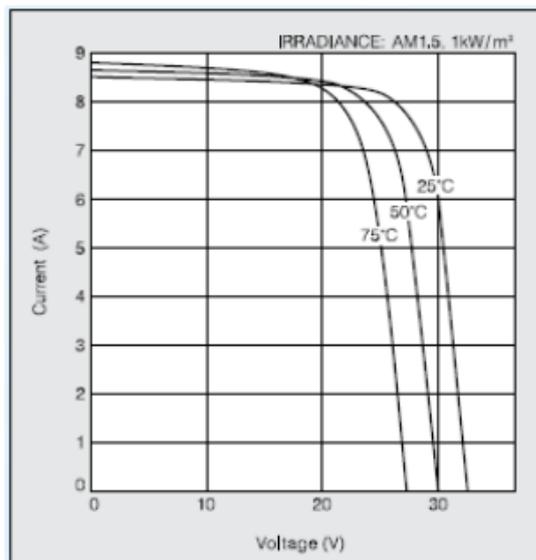


Figura 16 – Comportamento da relação IxV do módulo KD210GX em diferentes temperaturas

Fonte: Kyocera (2012).

Na Figura 17, mostra-se a curva característica da relação de corrente por tensão dos módulos KD210GX em diferentes níveis de irradiância.

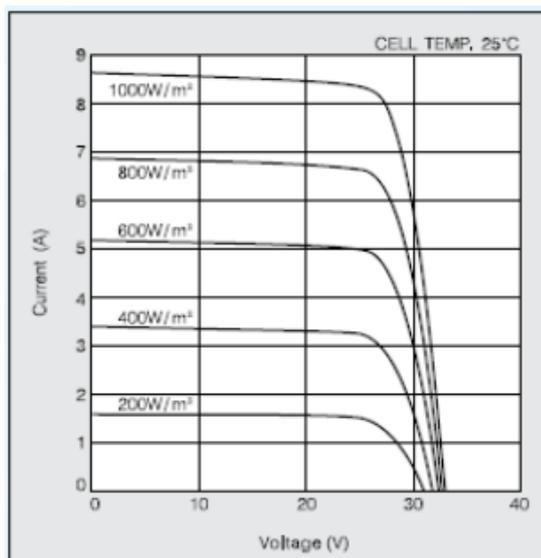


Figura 17 – Comportamento do módulo KD210GX em diferentes níveis de irradiância

Fonte: Kyocera (2012).

O SFCR presente no EV conta com um inversor monofásico em 220 V de 2000 W, modelo PVP2000 da PVPOWERED, possuindo as especificações elétricas relacionadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Características elétricas do Inversor de Frequência PVP2000

<b>Potência Nominal (Watts)</b>	<b>2000</b>
<b>Eficiência (%)</b>	92
<b>Máxima Tensão DC de Entrada (V)</b>	500
<b>Faixa de Tensão DC de Operação (V)</b>	115 – 450
<b>Mínima Tensão DC de Start (V)</b>	130
<b>Máxima Corrente DC (A)</b>	18,5
<b>Corrente AC Nominal (A)</b>	8,5
<b>Tensão AC Nominal (V)</b>	240
<b>Faixa de Tensão AC de Operação (V)</b>	211 – 264
<b>Faixa de Frequência AC (Hz)</b>	59,3 – 60,5

Fonte: PVPOWERED (2012) (adaptado).

### 3.3. DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR

Foram realizados estudos acerca dos índices de mérito inerentes ao desempenho do SFCR do EV, como fator de capacidade ( $C_F$ ), produtividade anual ( $Y_F$  ou *Final Yield*) e desempenho global ( $P_R$  ou *Performance Ratio*). Esses estudos confrontaram as medidas de irradiação solar no EV a partir de um piranômetro instalado no mesmo com as medidas do Projeto SWERA e também da estação A807 do INMET. Os dados obtidos permitiram definir a estação do INMET como padrão para coleta de dados a serem usados em novos estudos no Escritório Verde, pois foram os resultados que mais se aproximaram dos resultados do piranômetro (FUSANO, 2013).

Portanto, neste trabalho, foram utilizados os dados provenientes da estação A807 do INMET, para o cálculo dos índices de mérito e geração de energia elétrica no EV. Essa estação do INMET situa-se no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba. A compatibilidade nos dados adquiridos pela estação A807 do INMET e pelo Escritório Verde pode também ser verificada observando-se os gráficos de radiação solar do primeiro (Figura 18) e de geração de energia do segundo (Figura 19).

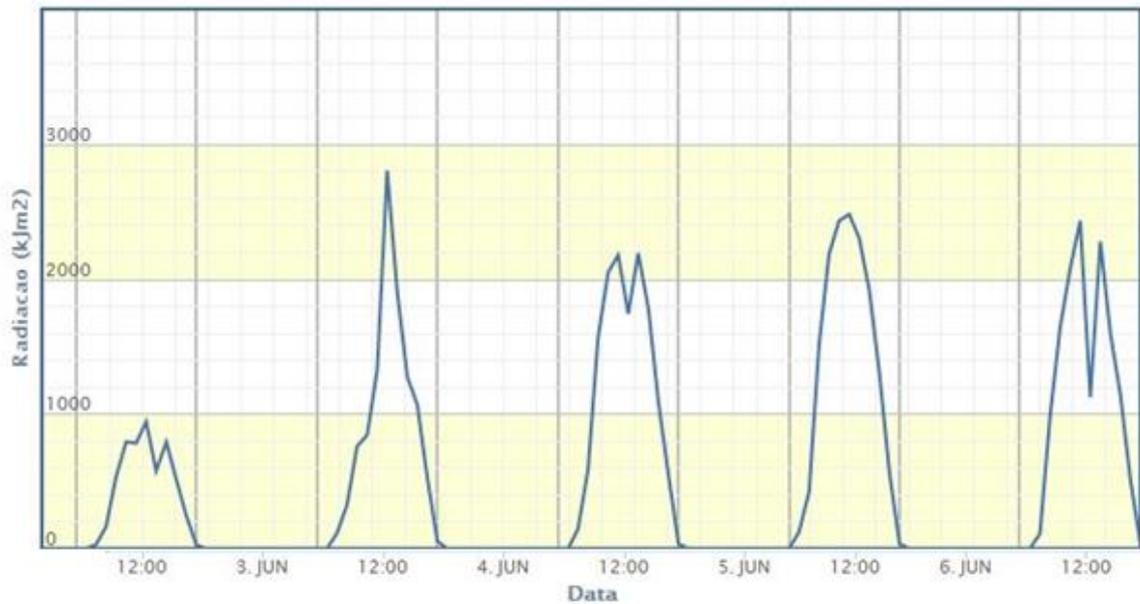


Figura 18 – Gráfico de irradiação solar captada pela estação A807 do INMET no período de 3 a 7 Junho de 2013.

Fonte: INMET – Estações automáticas de dados em gráficos<sup>4</sup>.

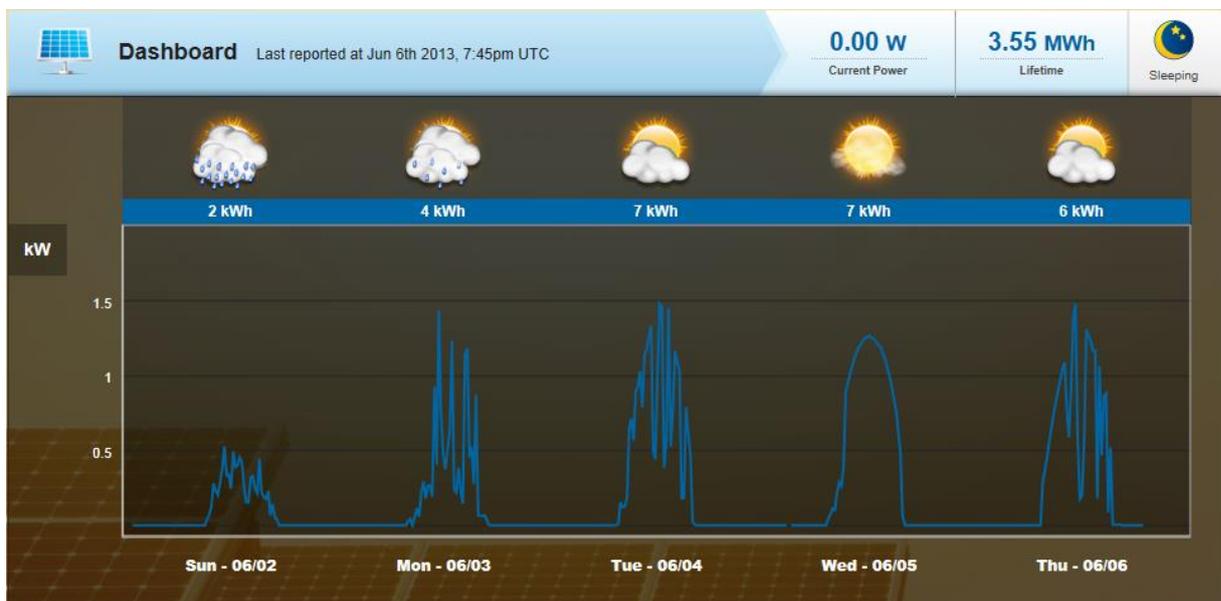


Figura 19 – Gráfico de geração de energia do Escritório Verde no período de 3 a 7 Junho de 2013.  
Fonte: SOLAR ENERGY<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf)>. Acesso em ago. 2013.

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.mypvpower.com/dashboard/976>>. Acesso em ago. 2013.

Apesar dos gráficos não terem sido construídos utilizando as mesmas grandezas, a radiação e a potência gerada são proporcionais entre si, de modo que o perfil das curvas periódicas obtidas são semelhantes.

### 3.4. IRRADIAÇÃO SOLAR NO PAINEL FOTOVOLTAICO DO EV

O painel do SFCR do EV apresenta um deslocamento azimutal de aproximadamente  $22,4^\circ$  para oeste com  $10^\circ$  de inclinação em relação à horizontal, no mesmo ângulo do telhado da construção. De posse desta informação, juntamente com os dados de irradiação no plano horizontal (Tabela 6) adquiridos junto ao INMET, pode-se calcular a irradiação diária média no plano inclinado do painel do EV através do software computacional RADIASOL.

**Tabela 6 – Irradiação diária média no plano horizontal para o ano de 2013 (Estação A807 do INMET)**

<b>Mês</b>	<b>Irradiação (kWh/dia) 2013</b>
<b>Janeiro</b>	5,12
<b>Fevereiro</b>	4,68
<b>Março</b>	3,85
<b>Abril</b>	4,16
<b>Mai</b>	3,12
<b>Junho</b>	2,38
<b>Julho</b>	3,14
<b>Agosto</b>	3,88
<b>Setembro</b>	3,76
<b>Outubro</b>	5,14
<b>Novembro</b>	4,72
<b>Dezembro</b>	5,55
<b>ANO</b>	4,00

Fonte: INMET (2013) (adaptado).

No software RADIASOL foi criado um ponto de referência com as coordenadas geográficas do EV, conforme Figura 20, onde é apresentada a tela em que foi inserida a latitude, a longitude e os valores de irradiação no plano horizontal do INMET do ano de 2013, para realizar conversão para o plano inclinado do EV.

**Selecione um país e uma estação**

País:

Estação:

Latitude:  N/S:  Longitude:  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5.12	4.68	3.85	4.16	3.12	2.38	3.14	3.88	3.76	5.14	4.72	5.55

Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

Figura 20 – Entrada de dados no RADIASOL

Fonte: Radasol.

A Tabela 7 apresenta os valores de irradiação diária média no plano do EV para os anos de 2012 e 2013, calculados pelo software RADIASOL.

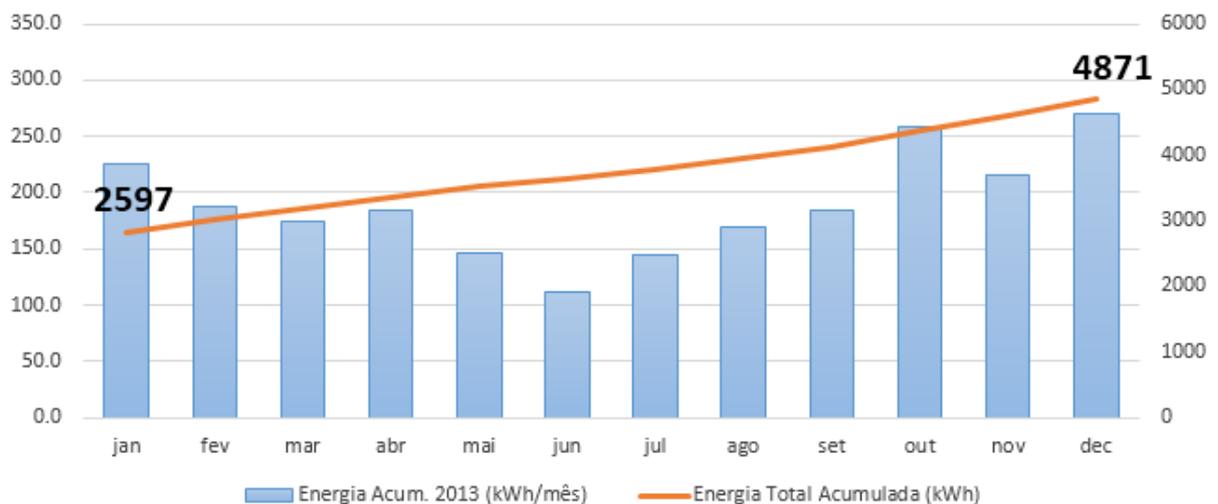
Tabela 7 – Irradiação diária média no plano inclinado do painel do EV para os anos de 2012 e 2013 (pelo software Radasol)

Mês	Irradiação (kWh/dia)	
	2012	2013
Janeiro	5,42	5,14
Fevereiro	5,20	4,73
Março	5,15	3,94
Abril	3,75	4,38
Mai	2,76	3,32
Junho	2,84	2,52
Julho	3,09	3,41
Agosto	4,26	4,13
Setembro	4,73	3,88
Outubro	4,25	5,24
Novembro	5,12	4,75
Dezembro	5,31	5,56
<b>ANO</b>	<b>4,32</b>	<b>4,25</b>

Fonte: Radasol.

### 3.5. GERAÇÃO DO SFCR DO ESCRITÓRIO VERDE

A Figura 21 destaca a geração mensal (eixo primário) do SFCR do EV da UTFPR durante o ano de 2013 e o total de energia acumulada durante o ano de 2013 (eixo secundário). Os dados de geração são obtidos diariamente de forma online pelo site da SOLAR ENERGY<sup>6</sup>.



**Figura 21 – Geração de energia do EV para o ano de 2013**

Fonte: Autoria Própria.

Vale ressaltar que os valores 2597 kWh e 4871 kWh são referentes ao início de janeiro e final de dezembro de 2013, respectivamente.

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.mypvpower.com/dashboard/976>>. Acesso em jan. 2014.

A partir dos dados armazenados a Tabela 8 mostra a geração mensal do ano de 2012 e 2013.

**Tabela 8 – Geração mensal de 2012 e 2013 do SFCR do Escritório Verde**

<b>Mês</b>	<b>Geração (kWh/mês) 2012</b>	<b>Geração (kWh/mês) 2013</b>
<b>Janeiro</b>	274,00	225,00
<b>Fevereiro</b>	241,00	188,00
<b>Março</b>	271,00	175,00
<b>Abril</b>	185,00	185,00
<b>Mai</b>	135,00	147,00
<b>Junho</b>	115,00	112,00
<b>Julho</b>	157,00	144,00
<b>Agosto</b>	196,00	170,00
<b>Setembro</b>	212,00	184,00
<b>Outubro</b>	202,00	258,00
<b>Novembro</b>	227,00	216,00
<b>Dezembro</b>	223,00	270,00
<b>ANO</b>	2438,00	2274,00

Fonte: FUSANO (2013) (adaptado); SOLAR ENERGY<sup>7</sup> (adaptado).

### 3.6. INDÍCES DE MÉRITO DE SFCR DO ESCRITÓRIO VERDE

Como já mencionado, no trabalho de FUSANO (2013) foi realizado o estudo dos índices de mérito relativos ao ano de 2012 para o SFCR do EV.

Com base nos dados obtidos para o ano de 2013 foi possível calcular os índices de mérito do SFCR do EV e compará-los com os dados apresentados no ano anterior.

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://www.mypvpower.com/dashboard/976>>. Acesso em jan. 2014.

### 3.6.1. Produtividade final (*Final Yield*)

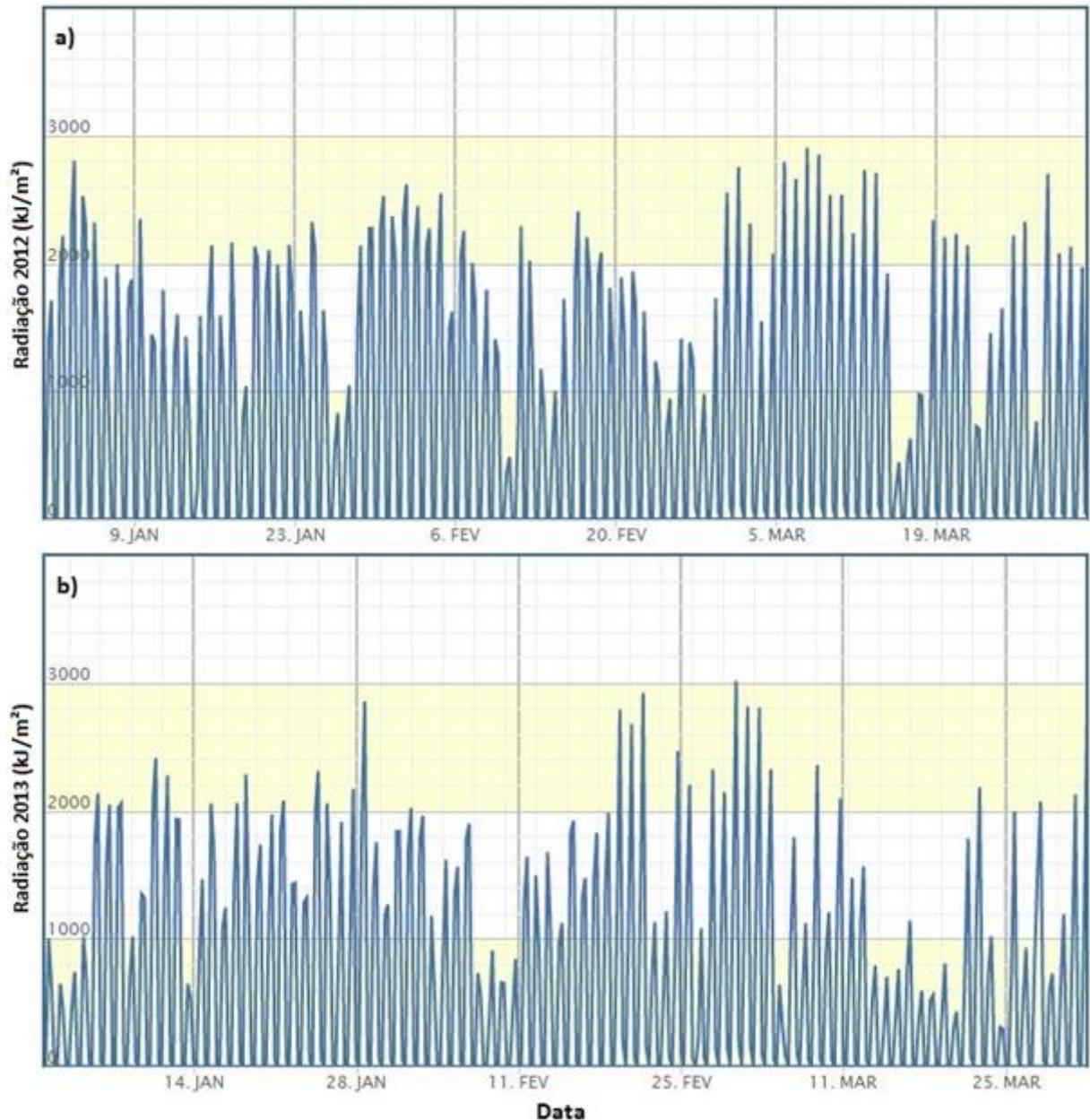
Na Tabela 9 constam os índices de produtividade mensal e final do sistema para os anos de 2012 e 2013.

**Tabela 9 – Índices de produtividade final do SFCR do EV**

<b>Mês</b>	<b>Yield (kWh/kWp) 2012</b>	<b>Yield (kWh/kWp) 2013</b>
<b>Janeiro</b>	130,48	107,14
<b>Fevereiro</b>	114,76	89,52
<b>Março</b>	129,05	83,33
<b>Abril</b>	88,10	88,10
<b>Mai</b>	64,29	70,00
<b>Junho</b>	54,76	53,33
<b>Julho</b>	74,76	68,57
<b>Agosto</b>	93,33	80,95
<b>Setembro</b>	100,95	87,62
<b>Outubro</b>	96,19	122,86
<b>Novembro</b>	108,10	102,86
<b>Dezembro</b>	106,19	128,57
<b>ANO</b>	1160,96	1082,86

Fonte: FUSANO (2013); Autoria própria (adaptado).

Observa-se um índice de produtividade dentro dos valores típicos para este tipo de sistema. Ainda, para o ano de 2013 os valores de produtividade ficaram abaixo em relação ao ano de 2012. As maiores discrepâncias foram observadas para os três primeiros meses do ano. Na Figura 22 estão detalhadas as curvas de radiação referentes à esses meses em ambos os anos, confirmando maior incidência de radiação no ano de 2012 para esse período.



**Figura 22 – Radiação de janeiro a março nos anos de a) 2012 e b) 2013**  
**Fonte: INMET – Estações automáticas de dados em gráficos<sup>8</sup> (adaptado).**

A Figura 22 esboça, de forma didática, as curvas de irradiação em  $\text{kJ/m}^2$ . Apesar do padrão utilizado em todos os dados ser apresentado em  $\text{kWh/m}^2$ , os gráficos acima estão em  $\text{kJ/m}^2$  por ser a forma disponibilizada dos dados no site do INMET.

<sup>8</sup> Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf)>. Acesso em ago. 2013.

### 3.6.2. Fator de capacidade

Na Tabela 10 constam os fatores de capacidade do sistema para os anos de 2012 e 2013.

**Tabela 10 – Fator Capacidade do SFCR do EV**

<b>Mês</b>	<b>C<sub>F</sub> (%) 2012</b>	<b>C<sub>F</sub> (%) 2013</b>
<b>Janeiro</b>	17,54	14,40
<b>Fevereiro</b>	16,49	13,32
<b>Março</b>	17,35	11,20
<b>Abril</b>	12,24	12,24
<b>Mai</b>	8,64	9,41
<b>Junho</b>	7,61	7,41
<b>Julho</b>	10,05	9,22
<b>Agosto</b>	12,54	10,88
<b>Setembro</b>	14,02	12,17
<b>Outubro</b>	12,93	16,51
<b>Novembro</b>	15,01	14,29
<b>Dezembro</b>	14,27	17,28
<b>ANO</b>	13,25	12,36

Fonte: FUSANO (2013); Autoria própria (adaptado).

Como os índices de  $Y_F$  e  $C_F$  estão relacionados às mesmas variáveis, é de se esperar que o índice de fator de capacidade tenha variação similar ao índice anterior.

### 3.6.3. Desempenho global (*Performance Ratio*)

Na Tabela 11 constam desempenho global do sistema para os anos de 2012 e 2013.

**Tabela 11 – Desempenho Global do SFCR do EV**

<b>Mês</b>	<b>PR (%) 2012</b>	<b>PR (%) 2013</b>
<b>Janeiro</b>	77,59	67,22
<b>Fevereiro</b>	76,13	67,58
<b>Março</b>	80,82	68,18
<b>Abril</b>	78,27	66,98
<b>Mai</b>	75,11	67,95
<b>Junho</b>	64,30	70,43
<b>Julho</b>	78,06	64,85
<b>Agosto</b>	70,73	63,23
<b>Setembro</b>	71,16	75,29
<b>Outubro</b>	72,98	75,69
<b>Novembro</b>	70,36	72,18
<b>Dezembro</b>	64,50	74,59
<b>ANO</b>	73,33	69,32

Fonte: adaptado de FUSANO (2013); Autoria própria (adaptado).

### 3.7. MANUTENÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Não é incomum que haja acúmulo de poeira ou fuligem sobre os painéis solares, principalmente nas grandes cidades. Em geral, o principal mecanismo de limpeza costuma ser a própria chuva, que remove os resíduos, mas ela pode não ser suficiente quando há grandes períodos de estiagem ou quando os painéis solares tiverem inclinação menor do que 15°, que é o caso do EV. Nesse caso, não há inclinação suficiente para que os resíduos sejam levados, de modo que seu acúmulo diminui a capacidade de absorção da radiação solar, levando à redução na produção de energia, tornando o sistema menos eficiente (CRESESB, 1999).

Desde a instalação do painel solar fotovoltaico no EV dia 14 de dezembro de 2011, os mesmos nunca foram lavados ou passaram por qualquer processo de

limpeza. Ciente disto foi decido lavar os módulos, de preferência no último dia de algum mês para que o próximo mês já iniciasse com o sistema mais eficaz devido à limpeza realizada.

No dia 31 de agosto de 2013 às 14h00, o sistema FV estava fornecendo 1240 W de potência elétrica antes do processo de lavagem, era um dia ensolarado, sem nuvens, e ao fim da lavagem dos módulos por volta das 14h40 do mesmo dia, o sistema já estava fornecendo 1470 W. Considerando que a incidência de radiação solar nos módulos atinge seu pico por volta das 12h00 e que essa mesma incidência de radiação solar diminui conforme as horas passam, conseguiu-se uma boa otimização do sistema.

No dia 07 de setembro de 2013, exatamente uma semana após a limpeza realizada nos módulos, estava ensolarado e com poucas nuvens. A Figura 23 mostra os resultados das medidas de geração de energia nesse dia.

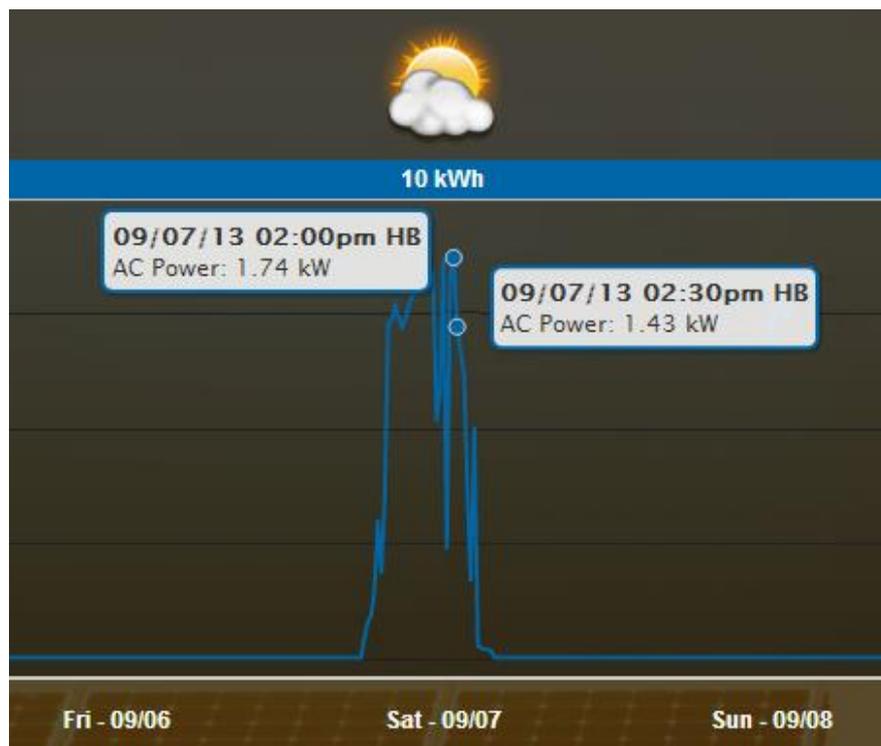


Figura 23 – Geração de energia no EV (07/09/2013)

Fonte: SOLAR ENERGY<sup>9</sup> (adaptado).

<sup>9</sup> Disponível em: <<https://www.mypvpower.com/dashboard/976>>. Acesso em ago. 2013.

É possível notar que para as 14h30 nos dois dias, as gerações se equivalem, pois estavam funcionando nas mesmas condições. Já para as 14h00 há uma grande diferença, que está relacionada à realização da limpeza. Antes, o sistema estava fornecendo 1240 W e, após a limpeza dos módulos, o sistema passou a gerar 1740 W.

Pode-se afirmar que houve um aumento na capacidade de geração de energia, levando em consideração o aumento da geração no próprio dia da limpeza. Ressaltando a importância em manter os módulos FV limpos para uma maior eficiência na geração de energia elétrica.

Para a limpeza dos módulos FV, foram utilizados água, sabão neutro concentrado e vassoura. Foram diluídos 200 mL de sabão em um balde d'água com aproximadamente 5 L. Os módulos foram enxaguados com água corrente, e secos naturalmente. Na Figura 24 pode-se notar a quantidade de sujeira que estava presente no módulo fotovoltaico durante a lavagem do mesmo.



**Figura 24 – Foto da sujeira acumulada sobre o módulo fotovoltaico**  
**Fonte: Autoria própria**

Nas Figuras 25 e 26, é possível observar com maior riqueza de detalhes a diferença no aspecto dos painéis antes e após a limpeza, respectivamente.



**Figura 25 – Foto do painel sujo**

Fonte: Autoria própria.



**Figura 26 – Foto do painel limpo**

Fonte: Autoria própria.

### 3.7.1. Possíveis melhorias

Para as próximas limpezas, no intuito de evitar a subida ao telhado apenas para verificar se há necessidade de realizá-las novamente, sugere-se manter os cálculos de índices de mérito. Quando for verificada uma queda considerável do índice de desempenho global, é um indício de que há a necessidade de realizar uma nova limpeza. Caso o índice não melhore após a limpeza, significa que há outras perdas no sistema. Após a segunda limpeza e, com base no intervalo de tempo decorrido entre essas duas limpezas, pode ser elaborado um cronograma para limpeza rotineira dos módulos FV.

## 4. MEDIÇÕES DE QUALIDADE DE ENERGIA

Com relação à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente, as medições realizadas no Escritório Verde utilizam a Resolução Nº 505, de 26 de Novembro de 2001, que define limites do valor eficaz da tensão no ponto de entrega ou conexão. Os valores podem ser classificados de acordo com a Tabela 4 desta resolução, sendo que para uma análise preliminar, e em acordo ao Artigo 6º, para unidades consumidoras atendidas em tensão nominal de operação igual ou inferior a 1 kV, a tensão a ser contratada com a concessionária deve ser a tensão nominal do sistema no ponto de entrega.

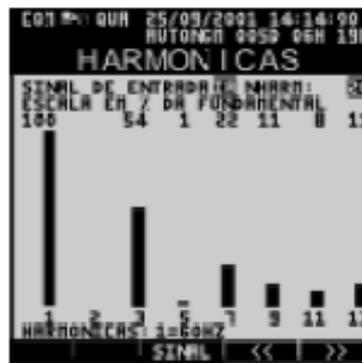
### 4.1. O EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA

Os equipamentos utilizados para se medir a qualidade da energia foram o *Power Quality Analyser* da Metrel e o Analisador de Energia RE6000 da Embrasul. O primeiro foi utilizado para medições preliminares, sendo que este aparelho possui bobinas com range de 30 a 3000 A, não se enquadrando na faixa de corrente presente no SFCR do EV, no entanto, dá para se ter uma noção do comportamento do sistema. Já o segundo, se enquadra na faixa de corrente presente no EV, desta maneira tendo dados mais confiáveis para análise. Os dois medidores são instrumentos portáteis multifuncionais para medição e estudo de até três fases de sistemas de energia.

#### 4.1.1. Funções do equipamento RE6000

- Funções completas para análise de sistemas elétricos;
- registro e avaliação de perturbações e transientes;
- curva de carga de motores, geradores e transformadores;
- estudos de eficiência energética;
- medição e diagnóstico de distorções harmônicas;
- dimensionamento de bancos para correção do FP.

A principal função a ser utilizada é a de diagnóstico de distorções harmônicas. Esta função exibe os resultados de cálculos de Transformada de Fourier em modo numérico e gráfico. Os gráficos possuem auto escala, a fim de garantir o máximo de resolução. O RE-6000 apresenta as harmônicas no seu display. As distorções harmônicas são visualizadas no formato histograma, sendo exibidas da 1ª até 51ª ordem. É possível selecionar o sinal de entrada e visualizar as harmônicas encontradas no sinal (Figura 27).

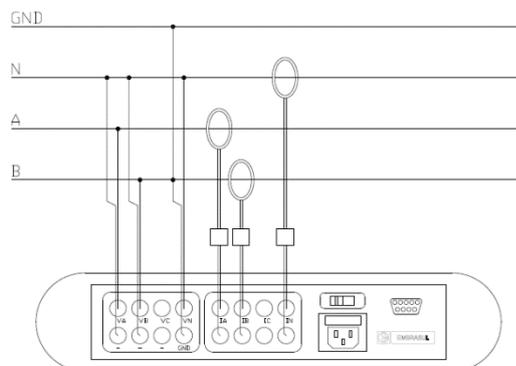


**Figura 27 – Análise de harmônicos.**  
Fonte: Manual RE-6000.

O instrumento capta harmônicos com sinais amostrados com um conversor A/D. Com intervalo de gravação de 100 ms até 65.000 intervalos.

#### 4.1.2. Forma de ligação do RE6000 com o sistema

Foi utilizado o esquema de ligação da Figura 28, sendo considerado apenas duas fases e o neutro.



**Figura 28 – Forma de ligação do equipamento com o sistema.**  
Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 29, é possível observar o equipamento conectado ao quadro geral de baixa tensão (QGBT).



**Figura 29 – Equipamento de medição conectado ao QGBT**  
**Fonte: Autoria própria.**

As medições da qualidade de energia do EV têm como finalidade demonstrar à qualidade da energia que é fornecida a carga, em relação à distorção harmônica.

#### 4.2. MEDIÇÕES PRELIMINARES

No dia 31 de agosto de 2013 foram realizadas medições preliminares, utilizando o aparelho *Power Quality Analyser* da Metrel. Para facilitar a visualização dos resultados obtidos, foi elaborada a Tabela 12, onde é feita uma análise da influência do inversor do SFCR do EV na qualidade de energia presente na instalação.

Como se pode visualizar houve uma leve diminuição na Taxa de Distorção Harmônica de Tensão (TDHu) e uma elevação de tensão quando o inversor estava em operação.

Tabela 12 – Resultados das medições preliminares de harmônicos no SFCR do EV

Inversor	ETAPA 1		ETAPA 2		ETAPA 3	
	Ligado*	Desligado	Ligado**	Desligado	Ligado***	Desligado
U1 (V)	130,6	128,7	129,7	129,3	129,8	128,7
U1h (%)	2,8	2,9	2,7	2,8	2,7	2,7
U2 (V)	126,8	127,9	129,2	128,3	128,1	128,2
U2h (%)	2,3	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4

Fonte: Autoria própria.

(\*) P = 1329 W e I = 6 A

(\*\*) P = 1270 W e I = 6 A

(\*\*\*) P = 1242 W e I = 5 A

### 4.3. MEDIÇÕES DEFINITIVAS

Durante o período 12 até 14 de novembro foram feitas medições definitivas, utilizando o analisador de energia RE-6000 da Embrasul, sendo que este aparelho possui um range de 0 a 10 A, desta maneira se enquadrando na faixa de corrente presente no SFCR do EV. Foram coletados dados de energia com uma escala de 100 ms, sendo o menor intervalo do aparelho, caracterizando uma medição mais confiável. Para análise dos dados foi utilizado o software ANL6000, que possibilita a completa análise dos harmônicos presentes no circuito.

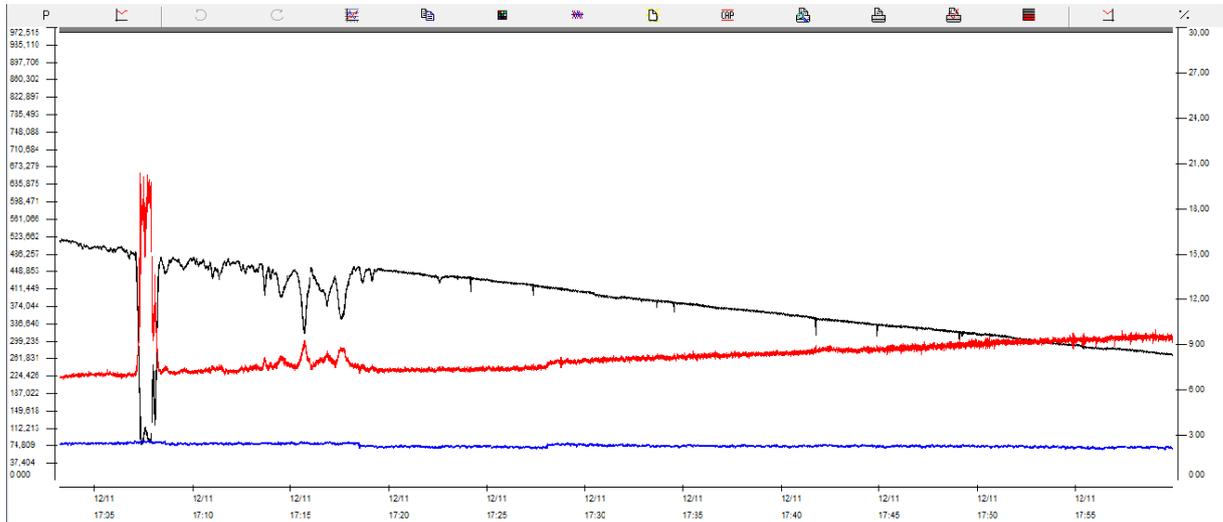
#### 4.3.1. Medições de harmônicos em 12/11/2013

##### Saída do inversor CC-CA

Foi feita uma medição entre 17 h 00 min e 18 h 00 min, com o inversor CC-CA em operação, a medição foi feita na saída do inversor. A Figura 30 mostra a potência aparente gerada pelo SFCR na fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).

Fica evidente que a diminuição na geração de energia acarreta um aumento na Taxa de Distorção Harmônico de corrente (TDHi), no primeiro registro tinha-se

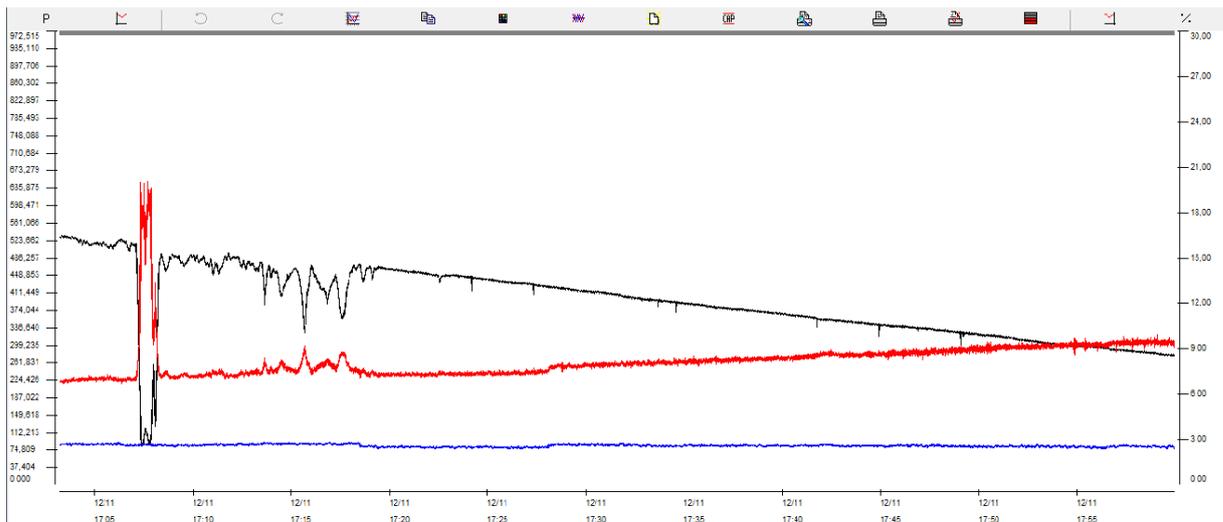
15,54 % e no último 20,11 %. Por sua vez a TDHu se mantém constante, tendo seu valor médio em 2,323 %.



**Figura 30 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase A na saída do inversor (12/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

De maneira análoga, a Figura 31 mostra a fase B, que tem características bem semelhantes pelo fato da potência gerada ser distribuída nas duas fases. A TDHu teve média de 2,604 %. Já a TDHi teve 15,43 % no primeiro momento e no último 19,94 %.



**Figura 31 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase B na saída do inversor (12/11/2013)**

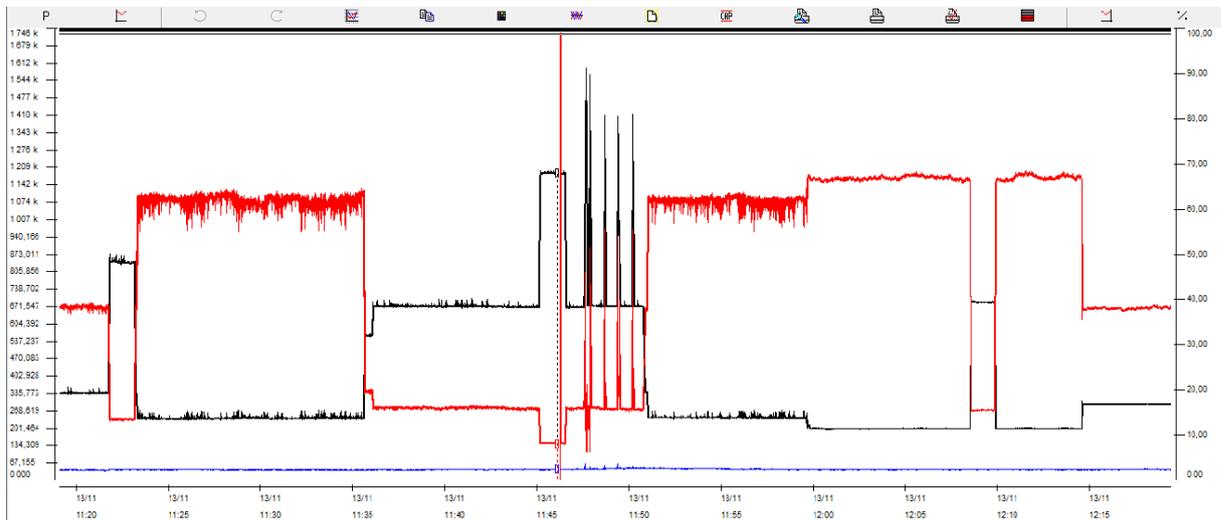
Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.2. Medições de harmônicos em 13/11/2013

##### ▪ INVERSOR LIGADO

##### Ponto de conexão com a carga

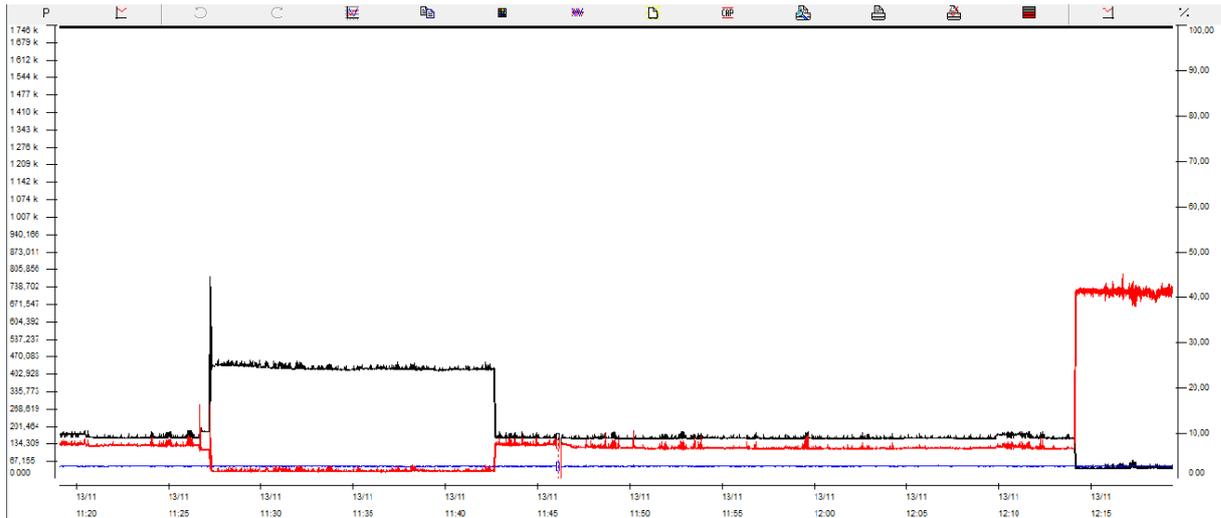
Foi feita uma medição entre 11 h 30 min e 12 h 30 min, com o inversor CC-CA em operação, a medição foi feita no ponto de conexão com a carga. A Figura 32 mostra a potência aparente na carga da fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul). Verifica-se que a TDHi teve picos de até 70 % quando a carga diminuía.



**Figura 32 – Potência aparente e harmônicos da fase A no ponto de conexão com a carga com o inversor ligado (13/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

A Figura 33 mostra a potência aparente na carga da fase B (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



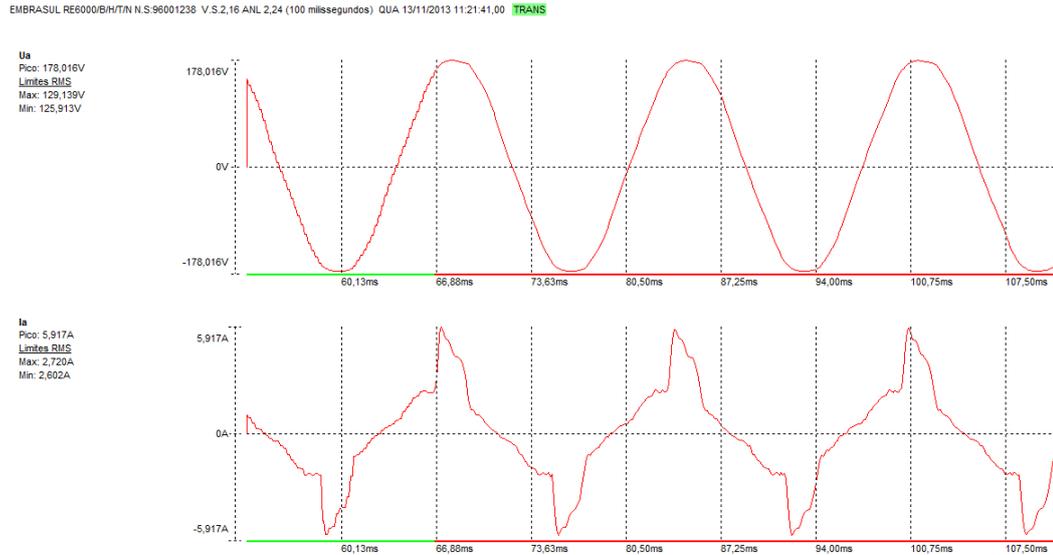
**Figura 33 – Potência aparente e harmônicos da fase B no ponto de conexão com a carga com o inversor ligado (13/11/2013)**

**Fonte: Autoria própria.**

As TDHu's se mantiveram constantes durante o período de medição, tendo uma média de 2,440 % para a fase A e 2,803 % para a fase B, no entanto a TDHi variou inversamente a carga aplicada. Esse fato acontece, pois a TDHi é dada pela proporção de corrente que está presente no circuito, ou seja, a carga plena, a corrente aumenta consideravelmente e a TDHi cresce infinitamente, pois as cargas do EV têm FP aproximadamente 1, dessa forma fazendo a proporção entre o novo valor de TDHi com o aumento de carga e a corrente no circuito, a TDHi resultante diminui bruscamente.

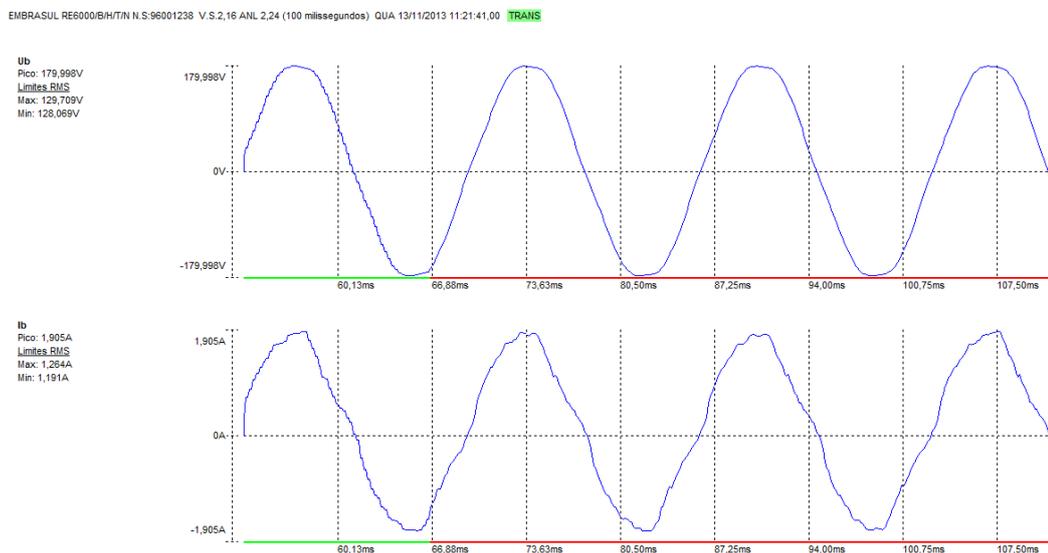
### Formas de onda

A Figura 34 mostra as formas de onda de tensão e corrente em 11 h 21 min e 41 s para a fase A, como pode-se visualizar o valor máximo de tensão foi 129,139 V e mínimo de 125,13 V, em RMS, cujos valores estão dentro da faixa tolerável por norma, sendo eles de 120,65 V a 133,35 V. Em relação a forma de onda de corrente, percebe-se uma distorção elevada.



**Figura 34 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase A (13/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

Já a Figura 35 mostra as formas de onda de tensão e corrente para a fase B, também em 11 h 21 min e 41 s como pode-se visualizar o valor máximo de tensão foi 129,709 V e mínimo de 128,069 V, em RMS. Diferentemente da fase A, a distorção de corrente visualmente é menor.

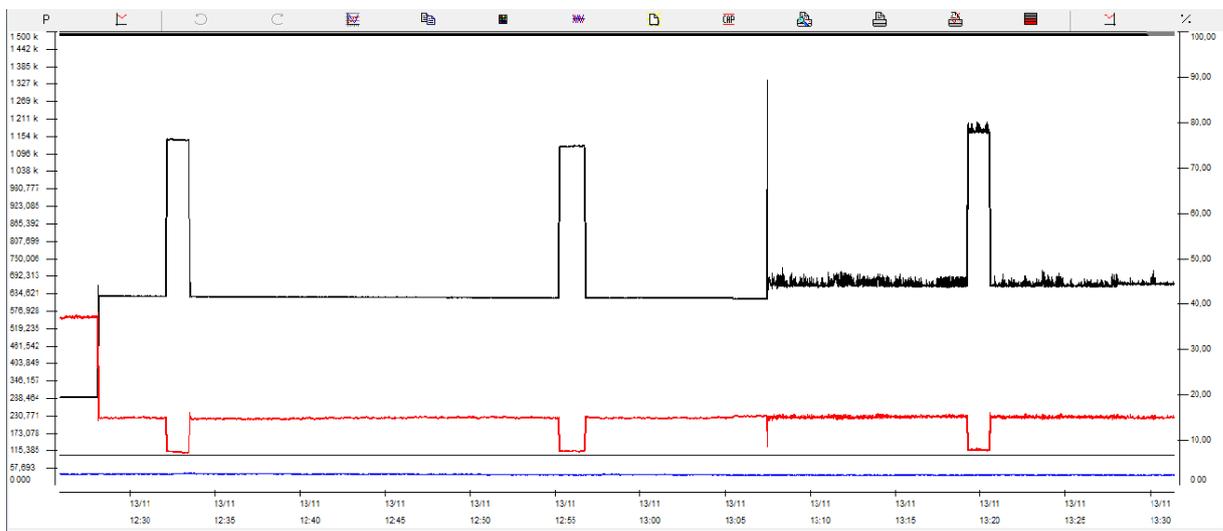


**Figura 35 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase B (13/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

## ▪ INVERSOR DESLIGADO

### Ponto de conexão com a carga

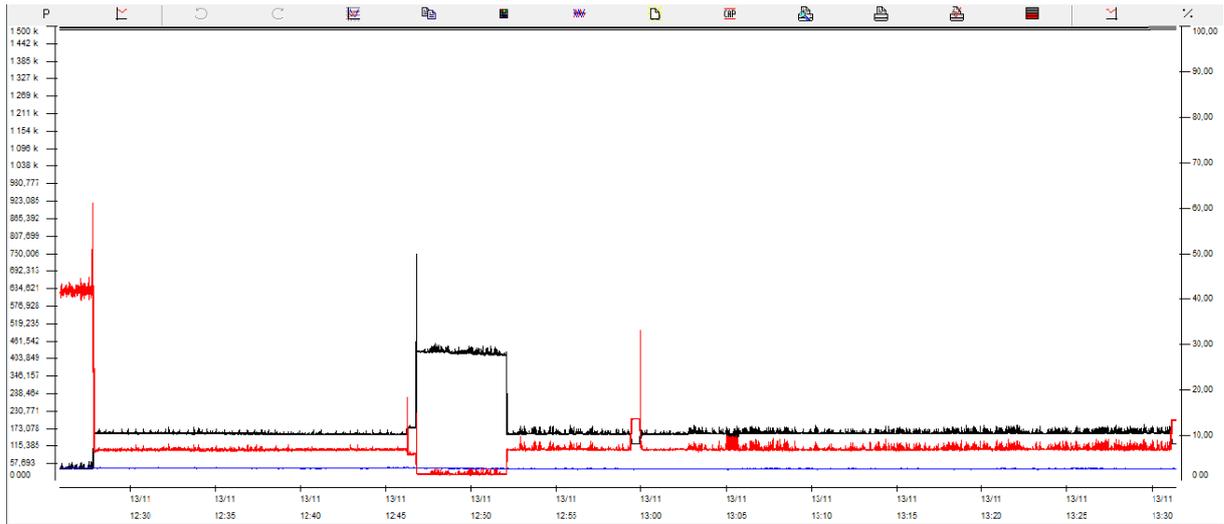
Foi repetido o processo com o inversor CC-CA desligado entre 12 h 30 min e 13 h 30 min. A Figura 36 mostra a potência aparente fornecida à carga para a fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



**Figura 36 – Potência aparente e harmônicos da fase A no ponto de conexão com a carga com o inversor desligado (13/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

A Figura 37 mostra a potência aparente fornecida para a carga da fase B (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



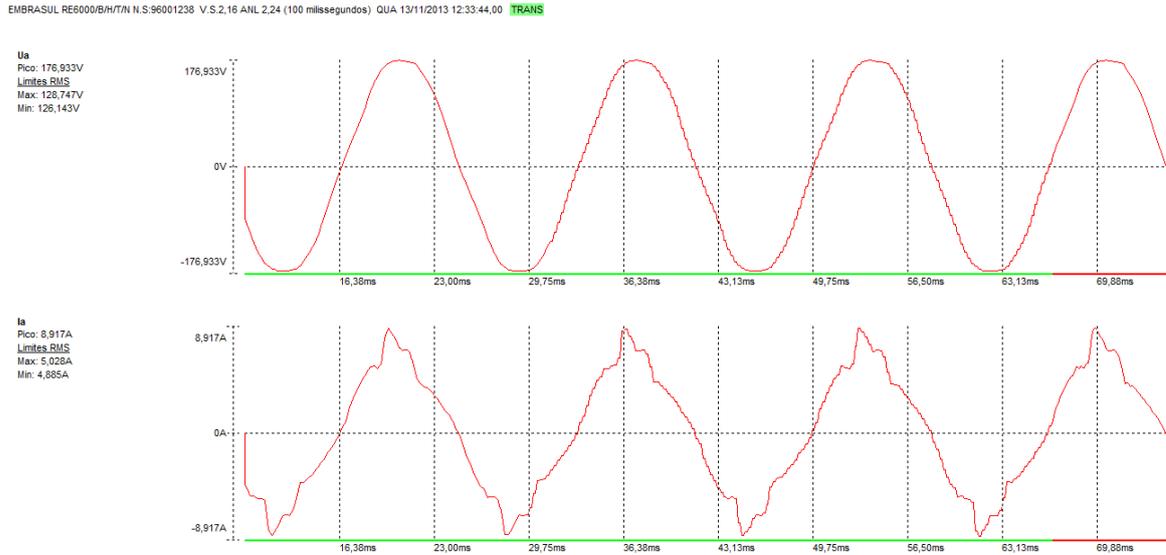
**Figura 37 – Potência aparente e harmônicos da fase B no ponto de conexão com a carga com o inversor desligado (13/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

Como pode-se visualizar, as TDHu's se mantiveram constantes durante o período de medição, tendo uma média de 2,451 % para a fase A e 2,751 % para a fase B, de maneira análoga a fase A, os harmônicos de corrente variaram inversamente a carga aplicada, nesse caso podemos notar que a TDHi da fase B é reduzida, pelo fato de ter uma média elevada de cargas com alto FP em funcionamento.

### Formas de onda

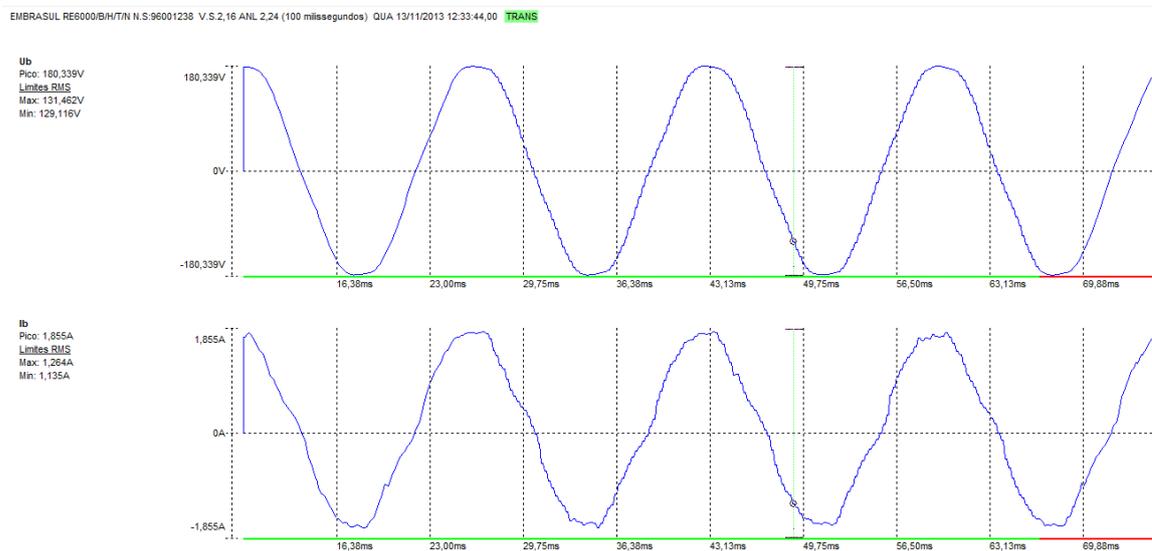
A Figura 38 mostra as formas de onda de tensão e corrente para a fase A, em 12 h 33 min 44 s', como pode-se visualizar o valor máximo de tensão foi 129,139 V e mínimo de 125,13 V, em RMS. Nesse segundo caso, a distorção de corrente da fase A, se mostra menor.



**Figura 38 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase A (13/11/2013)**

**Fonte: Autoria própria.**

Já na Figura 39, mostra-se as formas de onda de tensão e corrente, em 12 h 33 min 44 s para a fase B, como pode-se visualizar o valor máximo de tensão foi 129,709 V e mínimo de 128,069 V, em RMS. A forma de onda de corrente da carga contém pouca distorção harmônica.



**Figura 39 – Forma de onda da tensão e corrente para a fase B (13/11/2013)**

**Fonte: Autoria própria.**

De maneira resumida, apresenta-se a Tabela 13 com os valores médios obtidos na medição do dia 13/11/2013.

**Tabela 13 – Características do sistema com inversor ligado e desligado (13/11/2013)**

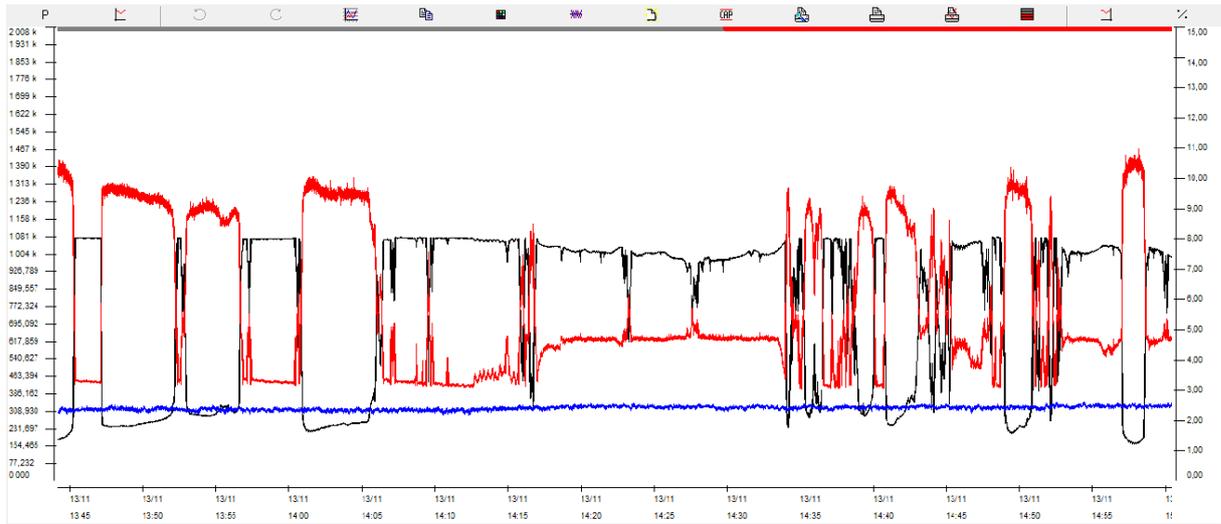
<b>INVERSOR</b>	<b>DESLIGADO</b>	<b>LIGADO</b>
<b>Fase A (V)</b>	125,805	127,568
<b>Fase B (V)</b>	128,329	129,649
<b>Corrente A (A)</b>	5,245	3,035
<b>Corrente B (A)</b>	1,368	1,681
<b>Sa (VA)</b>	659,276	386,089
<b>Sb (VA)</b>	175,489	217,534
<b>TDHua (%)</b>	2,451	2,440
<b>TDHub (%)</b>	2,751	2,803

Fonte: Autoria própria.

Os resultados mostraram que quando o inversor do SFCR do EV entra em operação, eleva a tensão tanto nas fases A e B. Já em relação as TDHu, ocorreu uma leve diminuição na fase A e uma leve elevação na fase B. Pode-se visualizar que a forma de onda de corrente na fase A tem um elevado índice de harmônicos, quando tem-se pouca carga aplicada, que se apresenta tanto para o inversor ligado ou não.

### **Saída do inversor CC-CA**

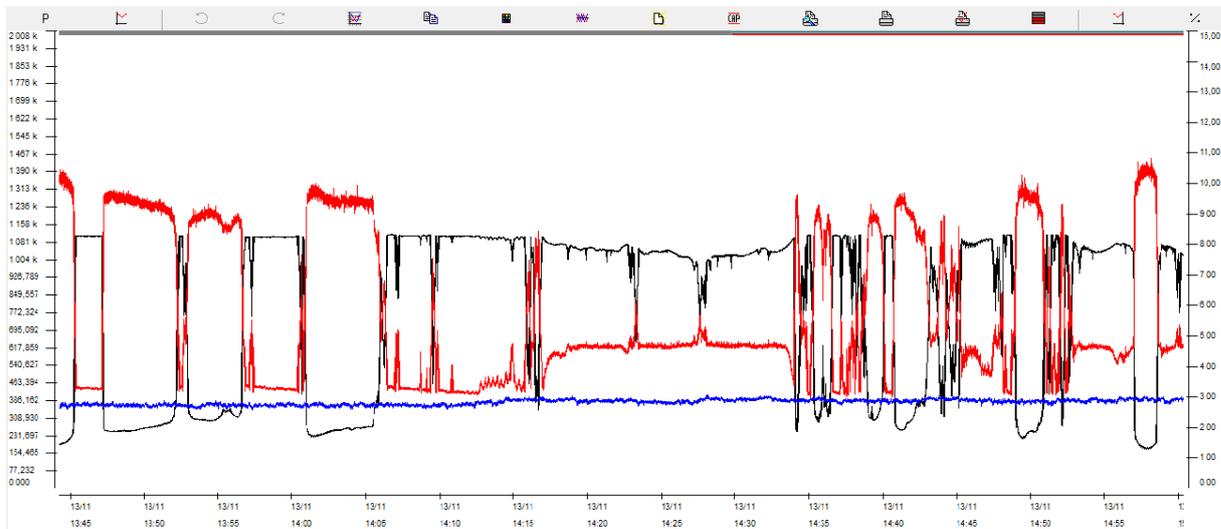
Na Figura 40, visualiza-se a geração de energia elétrica do SFCR do EV. Pode-se perceber que quando o inversor está operando mais próximo de sua potência nominal a TDHi diminui. Em relação à TDHu, obteve-se uma média de 2,417 % na fase A.



**Figura 40 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase A na saída do inversor (13/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

De maneira análoga, a Figura 41 mostra a fase B com uma TDHu de 2,830 %.



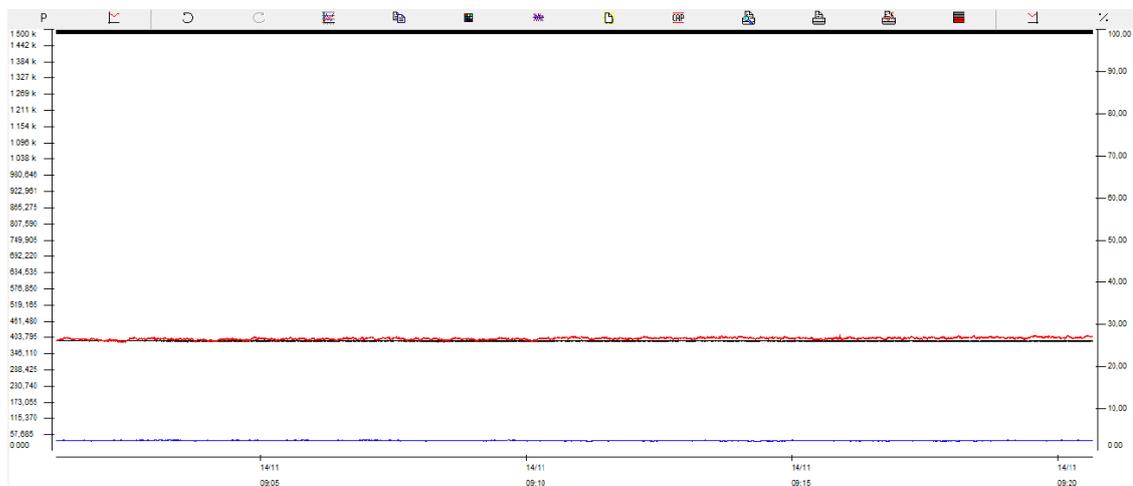
**Figura 41 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase B na saída do inversor (13/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.3. Medições de harmônicos em 14/11/2013

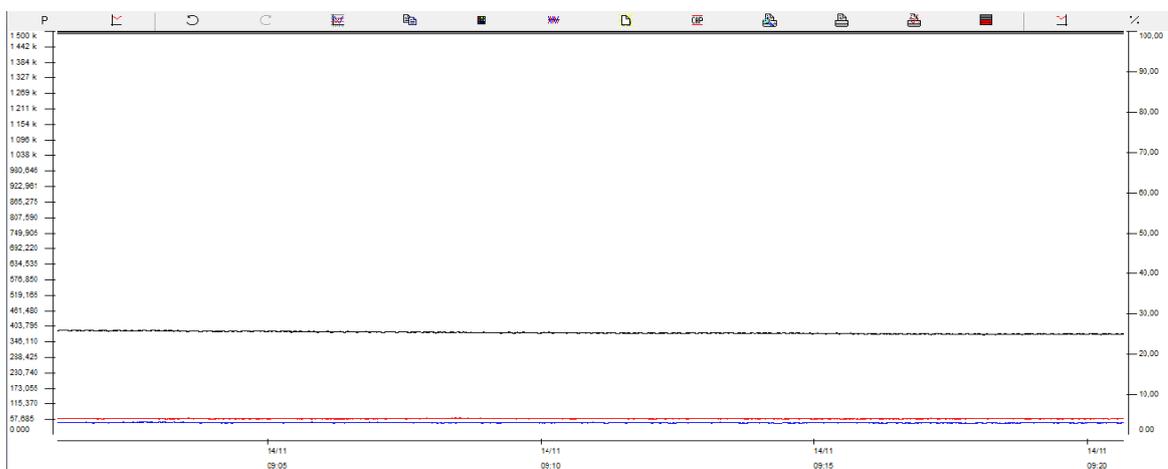
##### ▪ INVERSOR DESLIGADO

Primeiramente foi feita uma medição entre as 09 h 00 min e 09 h 20 min, sem variação brusca da potência consumida pela carga como pode ser visto na Figura 42 em relação à fase A. Sendo a potência aparente da fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



**Figura 42 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor desligado (14/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

De maneira similar, pode-se visualizar na Figura 43 em relação à fase B.

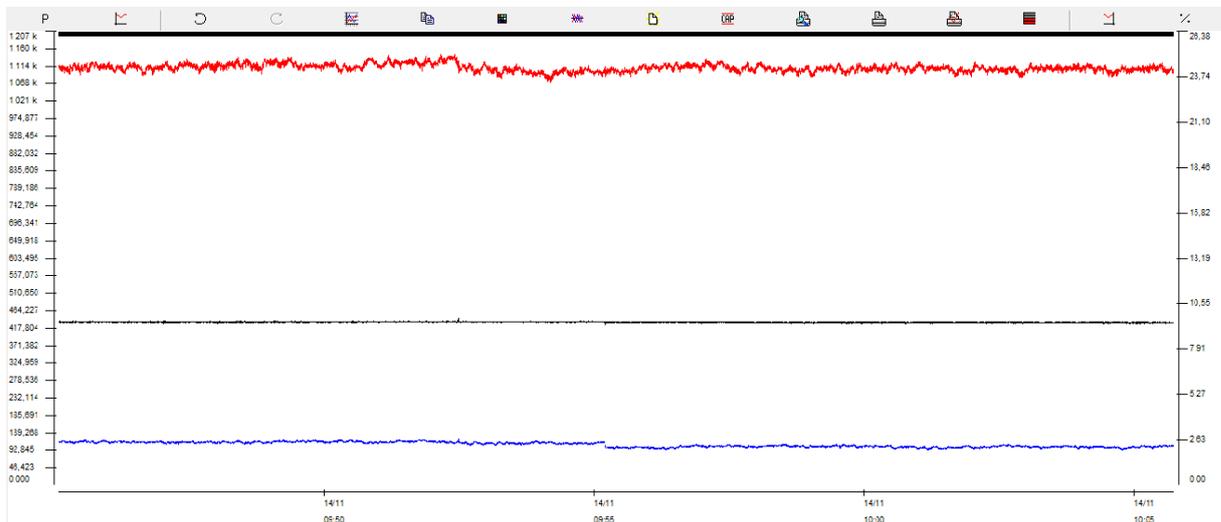


**Figura 43 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor desligado (14/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

Pode-se perceber que a TDHu se apresenta de forma semelhante, no entanto a TDHi obtém-se valores maiores para a fase A, devido a carga reativa presente no circuito, sendo esta caracterizada pelas fontes dos computadores presentes.

#### ▪ INVERSOR LIGADO

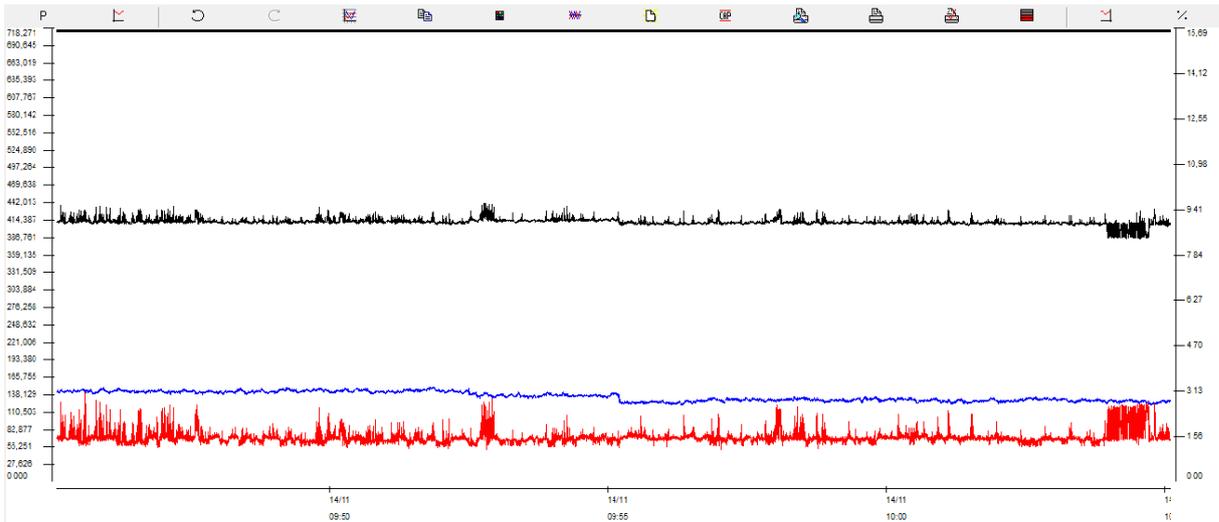
Foi feita uma medição entre as 09 h 45 min e 10 h 05 min, sem variação brusca da potência consumida pela carga como pode ser visto na Figura 44, em relação à fase A. Sendo a potência aparente da fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



**Figura 44 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor ligado (14/11/2013)**

**Fonte: Autoria própria.**

De maneira similar, pode-se visualizar na Figura 45 em relação à fase B.



**Figura 45 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor ligado (14/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

De maneira resumida apresenta-se a Tabela 14, com as características do sistema do EV com o inversor desligado e em operação. Como é possível observar, aplicou-se uma carga um pouco maior com o inversor em funcionamento. Em relação as fases A e B, pode-se observar uma diminuição nas TDHu's e uma elevação de tensão nas duas fases, com o inversor em funcionamento.

**Tabela 14 – Características do sistema com inversor ligado e desligado (14/11/2013)**

INVERSOR	DESLIGADO	LIGADO
Fase A (V)	126,858	127,974
Fase B (V)	127,716	129,007
Corrente A (A)	3,086	3,388
Corrente B (A)	2,977	3,185
Sa (VA)	391,450	433,510
Sb (VA)	380,271	411,049
TDHua (%)	2,454	2,370
TDHub (%)	3,033	2,962

**Fonte: Autoria própria.**

Como é muito difícil manter as cargas com as mesmas características em campo, para se fazer uma comparação em relação a TDHi, levou-se em consideração 3 medições pontuais para o inversor ligado e em operação, isso se fez tanto para a

fase B quanto fase A, como é possível visualizar na Tabela 15 e na Tabela 16, respectivamente.

**Tabela 15 – TDHi para fase B**

INVERSOR	MEDIÇÃO 1		MEDIÇÃO 2		MEDIÇÃO 3	
	DESL.	LIGADO	DESL.	LIGADO	DESL.	LIGADO
Horário	12:25:51	12:19:24	12:46:12	12:13:08	11:38:16	12:49:38
Tensão B (V)	129,68	130,06	129,36	130,02	129,77	127,92
Corrente B (A)	0,315	0,314	1,191	1,190	3,332	3,393
Potência Ativa B (W)	37,459	37,449	151,140	151,939	420,287	422,314
Potência Reativa B (VAr)	-16,294	-16,290	-29,890	-29,224	101,604	100,177
Potência Aparente B (VA)	40,849	40,839	154,068	154,724	432,394	434,032
TDHib (%)	42,23	42,23	7,07	6,72	2,30	1,98

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 16 – TDHi para fase A**

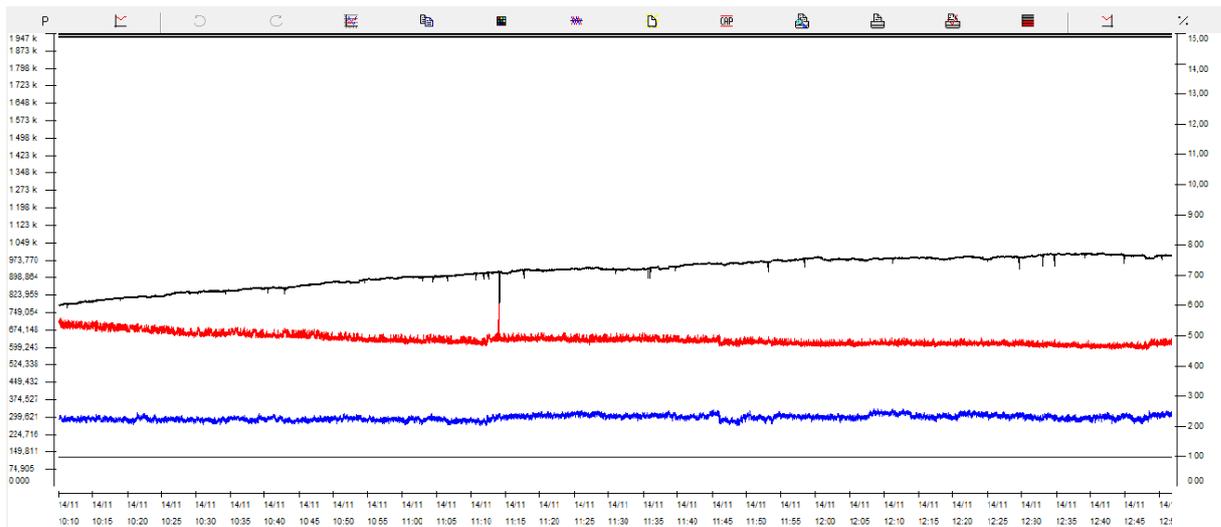
INVERSOR	MEDIÇÃO 1		MEDIÇÃO 2		MEDIÇÃO 3	
	DESL.	LIGADO	DESL.	LIGADO	DESL.	LIGADO
Horário	15:46:12	14:30:00	15:19:19	14:35:10	15:13:54	14:31:56
Tensão B (V)	127,21	127,40	127,32	127,68	127,20	127,87
Corrente B (A)	2,897	2,930	3,065	3,034	3,064	3,037
Potência Ativa B (W)	290,768	290,413	302,433	299,058	302,829	300,576
Potência Reativa B (VAr)	-226,421	-234,52	-246,614	-246,228	-245,342	-245,892
Potência Aparente B (VA)	368,527	373,282	390,236	390,236	389,741	388,341
TDHib (%)	57,81	60,29	60,25	60,25	60,93	61,66

Fonte: Autoria própria.

Como pode-se visualizar a TDHi quando as cargas possuem as mesmas características, não existe variação considerável, isso se deve ao fato de que quem pede a corrente pulsada é a carga, ou seja, não importa se a fonte é o inversor ou a rede, a forma de onda da corrente terá aproximadamente a mesma quantidade de harmônicos.

## Saída do inversor CC-CA

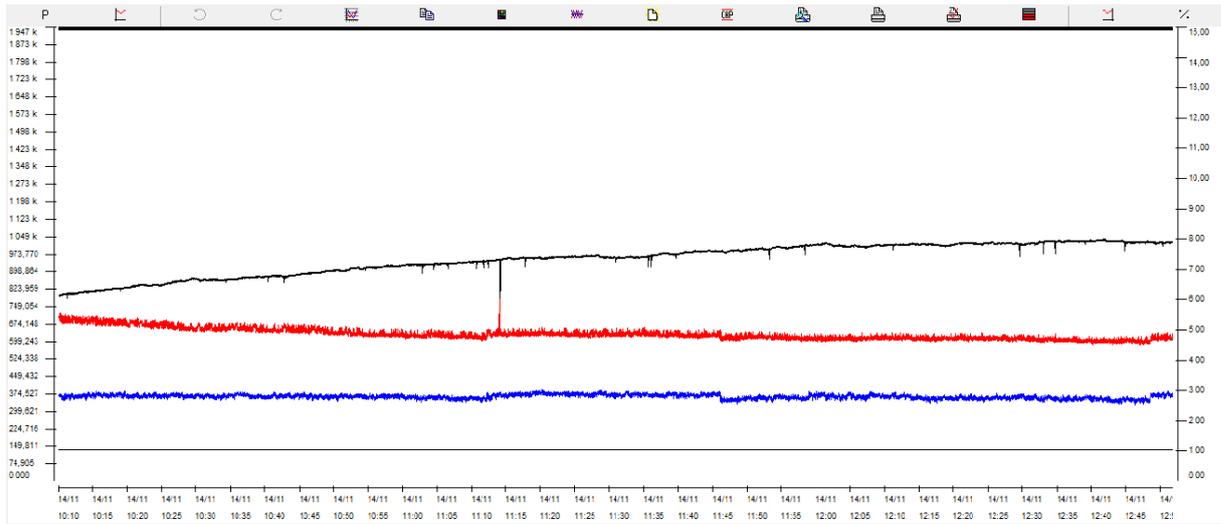
Esta medição foi feita entre 10h10 e 12h50. Na Figura 46, visualiza-se a geração de energia elétrica do SFCR do EV. Pode-se perceber novamente que quando o inversor está operando próximo de sua potência nominal a distorção harmônica diminui. A TDHu da fase A teve uma média de 2,290 %, já a TDHi uma média de 4,882 %.



**Figura 46 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase A (14/11/2013)**

**Fonte: Autoria própria.**

De maneira análoga a Figura 47 mostra a fase B. A TDHu teve média de 2,799% e a TDHi 4,857 %.



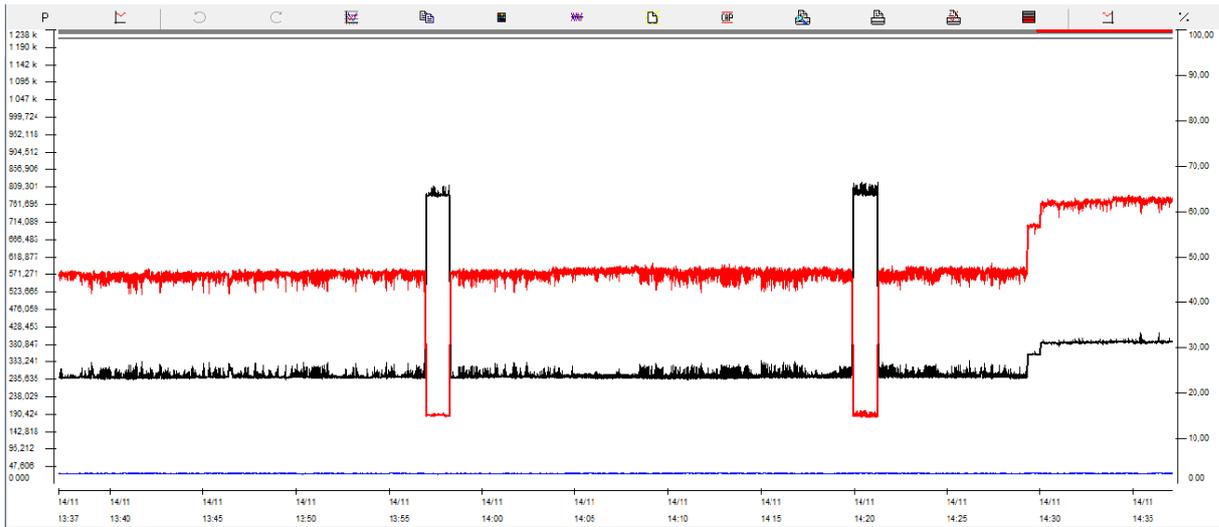
**Figura 47 – Geração e harmônicos de tensão e corrente da fase B (14/11/2013)**

**Fonte: Autoria própria.**

Uma terceira análise da interferência harmônica foi desenvolvida, sendo aplicada uma carga na fase B maior que na fase A, tanto para o inversor ligado quando para ele desligado, isto foi feito para confrontar os resultados obtidos no dia 13/11/2013, que tinha cargas maiores na fase A.

#### ▪ INVERSOR LIGADO

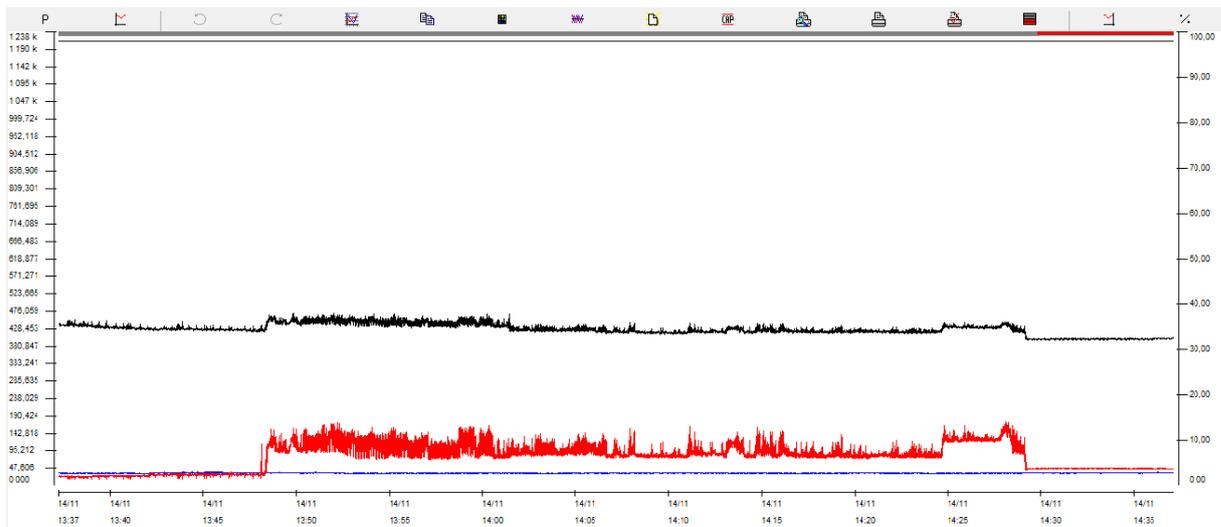
Foi feita uma medição entre as 13 h 37 min e 14 h 37 min, como pode ser visto na Figura 48. Sendo a potência aparente na carga da fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



**Figura 48 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor ligado (14/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

De maneira similar, pode-se visualizar na Figura 49 em relação à fase B.

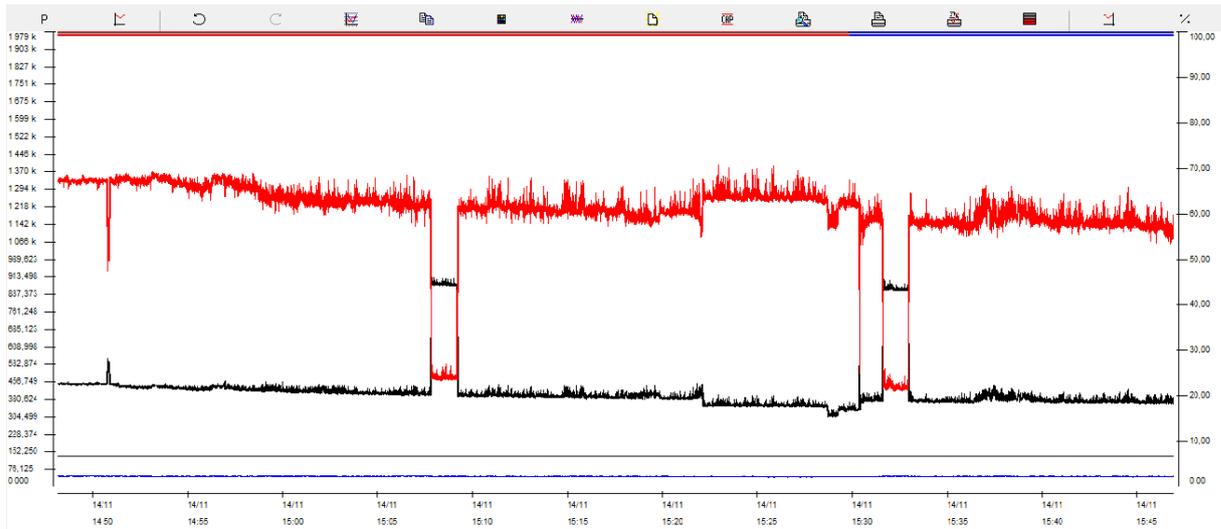


**Figura 49 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor ligado (14/11/2013)**

Fonte: Autoria própria.

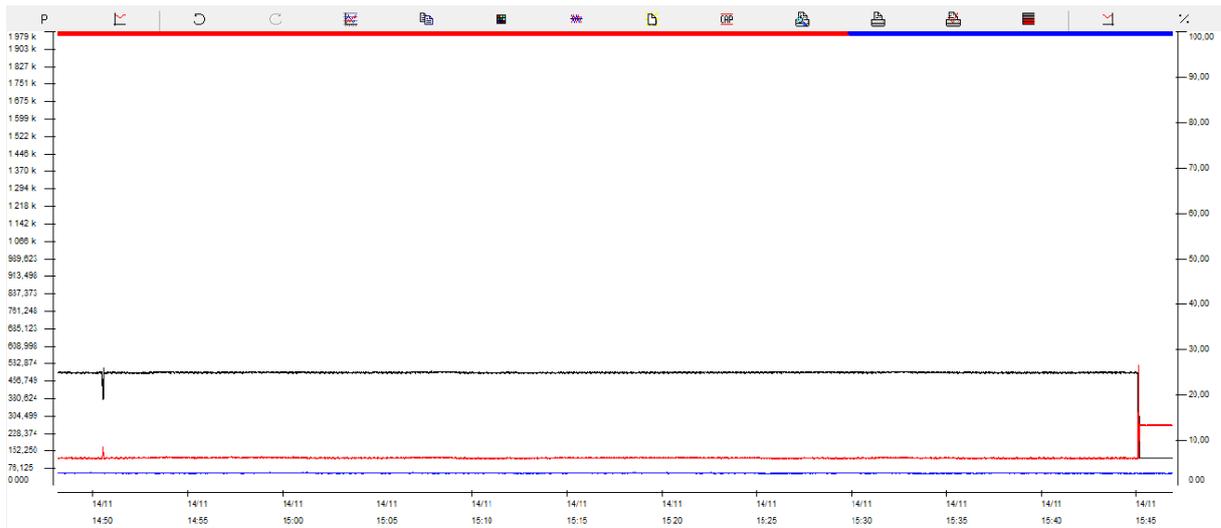
#### ▪ INVERSOR DESLIGADO

Foi feita uma medição entre as 14 h 45 min e 15 h 45 min, como pode ser visto na Figura 50. Sendo a potência aparente na carga da fase A (cor preta), e seus respectivos harmônicos de corrente (cor vermelha) e tensão (cor azul).



**Figura 50 – Potência aparente e harmônicos da fase A com inversor desligado (14/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

De maneira similar, pode-se visualizar na Figura 51 em relação à fase B.



**Figura 51 – Potência aparente e harmônicos da fase B com inversor desligado (14/11/2013)**  
**Fonte: Autoria própria.**

De maneira resumida, apresenta-se a Tabela 17 com os valores médios obtidos na medição do dia 14/11/2013.

**Tabela 17 – Características do sistema com inversor ligado e desligado (14/11/2013)**

<b>INVERSOR</b>	<b>DESLIGADO</b>	<b>LIGADO</b>
<b>Fase A (V)</b>	127,372	127,655
<b>Fase B (V)</b>	127,669	128,081
<b>Corrente A (A)</b>	3,276	2,573
<b>Corrente B (A)</b>	3,781	3,3291
<b>Sa (VA)</b>	417,083	328,251
<b>Sb (VA)</b>	482,650	426,392
<b>TDHua (%)</b>	2,313	2,400
<b>TDHub (%)</b>	2,821	2,797

**Fonte: Autoria própria.**

Como pode-se perceber houve uma elevação na tensão, quando o inversor entra em funcionamento, tanto para a fase A quanto para B. Em relação as TDHu's houve um acréscimo na fase A e um decréscimo na fase B. Sendo o contrário do ocorrido no dia anterior (13/11/2013). Desta maneira observa-se que a relação de TDHu está relacionada com a carga presente no circuito.

## 5. CONCLUSÃO

A partir da metodologia apresentada, foi possível atingir os objetivos específicos e o objetivo geral deste trabalho.

Pode-se perceber que existem meios de incentivo à implantação de sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) no Brasil, tais como à diminuição nas Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e a facilitação à implantação de sistema fotovoltaico na rede para micro e minigeração de energia. No entanto, o custo de produção dos módulos solares ainda é alto entre outros fatores, impedindo que o Brasil adquira posição de destaque no setor de geração fotovoltaica.

A parcela de energia fornecida à rede de distribuição é muito pequena, de forma que não é citada em algumas pesquisas referentes aos tipos de geração de energia interna no Brasil. Por outro lado, o uso de SFCR no exterior é bastante amplo, em países como a Alemanha e Itália, com capacidade instalada acumulada até o final 2012 em torno de 4 mil e 2 mil vezes maior que a do Brasil, respectivamente. Com base nessas informações, pode-se inferir que o Brasil ainda carece de maiores investimentos para incentivar o uso de sistema fotovoltaico conectado à rede, uma vez que a fonte é renovável, não gera ruído e poluição, e pode ser implantada com relativa facilidade.

Quanto à qualidade da energia pode ser observado tanto nas medições preliminares de 31/08/2013 utilizando o aparelho *Power Quality Analyser* da METREL, quanto nas realizadas durante o período 12 a 14 de novembro de 2013 utilizando o analisador de energia RE6000 da Embrasul, que quando o inversor CC-CA do SFCR do Escritório Verde (EV) entra em operação ocorre uma elevação de tensão, tanto para a fase A quanto para a B.

Outro ponto observado, foi a existência de uma redução na taxa de harmônicos de tensão fornecida para a carga, com cargas com características semelhantes, evidenciando uma melhora da qualidade de energia. Isto se deve ao fato de que quando o inversor é a fonte de alimentação, a impedância da concessionária não está presente. Já em relação à taxa de distorção harmônica de corrente (TDHi) verificou-se que não existe uma significativa mudança da sua porcentagem independente da operação do inversor, considerando cargas com

características semelhantes. Foi possível constatar que quando o circuito estava em plena carga, a TDHi obedeceu os limites estipulados pela norma IEEE 519-2. No entanto, quando a carga demandava pouca corrente, estes valores foram ultrapassados significativamente.

Já em relação aos índices de mérito no ano de 2013, o SFCR do EV gerou 2,274 MW<sub>hp</sub>, o que representa aproximadamente 189,5 kWh/mês. Os índices de mérito *yield*, desempenho global e fator de capacidade foram menores que os apresentados por FUSANO (2013) no ano de 2012. Mas essa afirmação é relativa, pois após a limpeza realizada no dia 31 de agosto de 2013, o desempenho global do sistema aumentou consideravelmente, de 63,33 % para 75,29 %, provando que o sistema estava com muitas perdas decorrentes da sujeira acumulada nos módulos fotovoltaicos, evidenciando assim, a importância da realização de uma limpeza rotineira.

Verificou-se que os SFCR são uma ótima opção para se produzir energia de maneira sustentável, sendo possível utilizar a energia gerada para o próprio consumo e o restante introduzir na rede de distribuição, além disso, os módulos FV podem ser instalados de maneira harmônica com a estrutura, não agredindo a estética do local.

## REFERÊNCIAS

ABINNE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Jun. 2012.

ADVANCED ENERGY. **PV Powered String Inverts**. 2011.

AFONSO J., Martins J.. **Qualidade de Energia Elétrica na Indústria**. Ciclo de Seminários – As Oportunidade das Ameaças: A Qualidade da Energia Elétrica. Departamento de Eletrônica Industrial, Universidade de Minho, Portugal, 2003.

ALMEIDA, Pedro M.de **Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica**. 26 Maio, 2011.

ANEEL. **P&D Estratégico - Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira**. n. 13/2011.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 481**. 17 Abril, 2012.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. 17 Abril, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899 - Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia**. ABNT. Rio de Janeiro. 2006.

BALTAZAR, Antônio C. S. **Qualidade da Energia no Contexto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2013**. 55 p. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

BENEDITO, R. D. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências).

BRAGA, Renata P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. 2008. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BSW Solar. **Statistic data on the German**. Jun, 2013.

CAPELI, Luiz H. **Qualidade da Energia Elétrica no Brasil**. 30 Maio, 2013.

CAVALLINI A., Guinello I., Mazzanti G. Montanari G. C.; **Considerations on the Life Performance and Installation Practice of Shunt Capacitors in the Presence of Harmonics Generated by AC/DC Converters**, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 14, nº. 1, 1999.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**: Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A., 1999. 193p.

DEL BOSCO, Edson **Reações de Fusão**. Disponível em: <[http://www.plasma.inpe.br/LAP\\_Portal/LAP\\_Sitio/Texto/Reacoes\\_de\\_Fusao.htm](http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Reacoes_de_Fusao.htm)>. Acesso em 17 ago. 2013.

**Energia Fotovoltaica – Manual sobre tecnologias, projetos e instalação**, 2004. 368p.

EPE. **Projeto da Usina Hidrelétrica de Belo Monte**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%A3o%20Belo%20Monte/Belo%20Monte%20-%20Perguntas%20Frequentes%20-%20POR.pdf>>. Acesso em: 20 fevereiro. 2013.

EPIA. **Global Market Outlook for Photovoltaics until 2017**. 2013.

Escritório Verde da UTFPR. Disponível em: <<http://www.escriptorioverdeonline.com.br/>>. Acesso em 02 set. 2013.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 245p.

FUSANO, Renato Hideo. **Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR**. 2013. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

GRIMM, Alice Marlene **Meteorologia Básica**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm>>. Acesso em 17 ago. 2013.

**Incidência de Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/principal.php>>. Acesso em 12 março. 2013.

INOUE, Yoshinori; MIYAZAKI, Kumiko. **TECHNOLOGICAL DIFFUSION OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS IN JAPAN**. Tokyo, Japan, p. 16, dez. 2010.

ITÁLIA. Decreto nº 28, de 5 de julho de 2012. **Incentivos para a produção de energia elétrica a partir de energia solar fotovoltaica**. Ministério do Desenvolvimento Econômico. Disponível em: <<http://www.gse.it>>. Acesso em 07 set. 2013.

MAGNOLI, D.; SCALZARETTO. R. **Geografia, espaço, cultura e cidadania**. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1.

MATEUS, Valdecir. **Fator de potência**. Cuiabá. out. de 2001.

METREL. **POWER QUALITY ANALYZER MI 2192. Instruction Manual Version 2, Code No. 20 750 666**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular edificações urbanas**. Portaria nº 36, 26 Nov. 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. 29 Mai. 2013.

MONTEZANO, Bruno. Energia Solar Princípios e Aplicações. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**, 2007.

PEREIRA, Ênio B.; MARTINS, Fernando R.; ABREU, Samuel L. de; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

PEREIRA, Osvaldo L. S.; GONÇALVES, Felipe F. DIMENSIONAMENTO DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE TUBARÃO – SC. **Revista Brasileira de Energia**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

**Relatório do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos**, BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Portaria nº 36 de 26 de Novembro de 2008.

RIBEIRO, Cristiano F. **Influência dos Harmônicos na Qualidade da Energia Elétrica. Monografia de Graduação** – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

**Semicondutores.** Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/fisica/semicondutores.htm>. Acesso em 07 nov. 2013.

Solar Energy. Disponível em: <http://www.solarenergy.com.br/>. Acesso em 02 set. 2013.

Solaria. Disponível em: <[www.solariaenergia.com](http://www.solariaenergia.com)>. Acesso em 08 set. 2013.

SUBIDA, António. **Manual de Energia Solar**. Centro Politécnico de Viseu, Portugal. 112p.

TERCIONE, Jean. Queda no Fornecimento prejudica empresas e gera perdas na Produção. **O Paraná**. Cascavel, n. 36, Seção B5, set. 2012.

TERCIOTE, Ricardo. **A Energia Eólica e o Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0085.pdf>>. Acesso em 25 fev. 2013.

URBANETZ JUNIOR, J. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDES DE DISTRIBUIÇÃO URBANAS: SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA E ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUE POSSAM AFETAR A CONECTIVIDADE**. Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

**Usina Termelétrica**. Disponível em: <[http://www.fcmc.es.gov.br/download/Usina\\_termeletrica.pdf](http://www.fcmc.es.gov.br/download/Usina_termeletrica.pdf)>. Acesso em 20 fev. 2013.

**Vantagens e Desvantagens das Usinas Nucleares**. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/gef/Nuclear/nuclear14.pdf>>. Acesso em 20 fev. 2013.

VARELLA, Fabiana K. de O. M.; GOMES, Rodolfo D. M. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. São Paulo: Pro Cobre, 2009.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### Modelo do Inversor



## PV Powered™ String Inverters

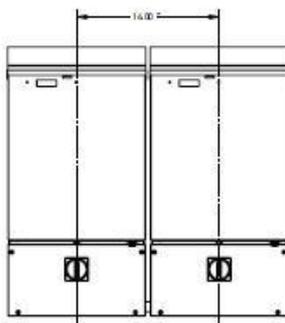


### Proven Reliability – With Integrated AC and DC PV System Disconnect Listed to the UL 98 Standard

PV Powered String Inverters continue to deliver industry-leading reliability and technical innovations that lower the total cost of PV systems installation. Advanced Energy is now the only manufacturer of a string inverter-integrated AC/DC PV System Disconnect that is listed to the UL 98 Standard. The UL 98 Standard, called "Enclosed and Dead-front Switches," ensures the integrated PV Powered disconnect meets all installation and inspection requirements of a PV System Disconnect.

Housed within an NEC Compliant wire raceway, the innovative disconnect consists of one enclosure with generous working room for installation. In addition to providing for a single point of connection from the utility service and PV array, the wire raceway's optimized knockout locations also provide options for side, bottom and back entry with minimized conduit bending. The wire raceway enables flush side-by-side mounting, eliminating the need for extra equipment and resulting in a cleaner, less expensive installation.

The PV Powered string inverters are backed by the industry's first nation-wide ten year warranty and equipment replacement program. Optional performance monitoring is available which includes low cost, secure web-based access to inverter status and performance history.



Example of Side-by-side Mounting on Standard Stud Spacing

#### FEATURES



##### Industry-Leading Reliability

- Endurance tested to 20 year operating life
- Lowest part counts and fewest interconnects eliminate common failure points
- Field-proven technology with thousands of units installed nationwide

##### Integrated AC and DC PV System Disconnect

- Listed to UL 98 Standard for use with PV Powered UL 1741 Listed string inverters
- Robust testing of switch mechanism to UL 98 Standard
- Single AC/DC switch visible and lockable in the OFF position
- NEC Compliant internal wire raceway enables side-by-side mounting
- Direct-to-wall surface enclosure design allows for easy access and installation

##### Easy Installation

- Factory integrated inverter and PV System Disconnect eliminates the need for extra equipment
- Integrated disconnect reduces conduit connection points saving installation time and material cost
- Field-configurable positive ground applications with simple jumper selection
- Optimally placed knockouts for a variety of conduit routing options

##### Installer-Focused Support

- No special purchase requirements to get the best technical support in the industry
- Live technical phone support
- Economical performance monitoring options



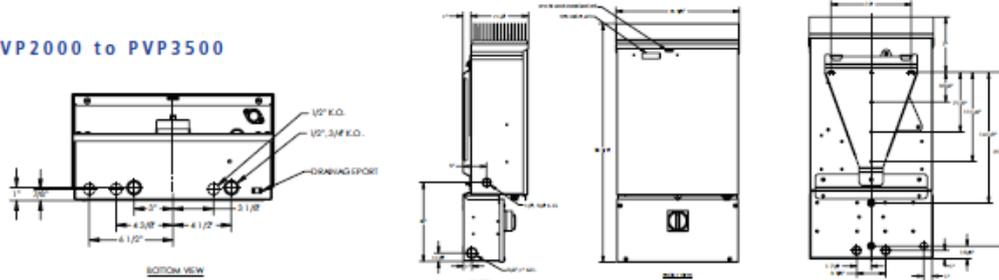
Advanced Energy products are designed and manufactured in the U.S., are fully compliant with the Buy American Act, and qualify for projects funded by the federal stimulus package.

20720 Brinson Boulevard  
PO Box 7348  
Bend, OR 97708

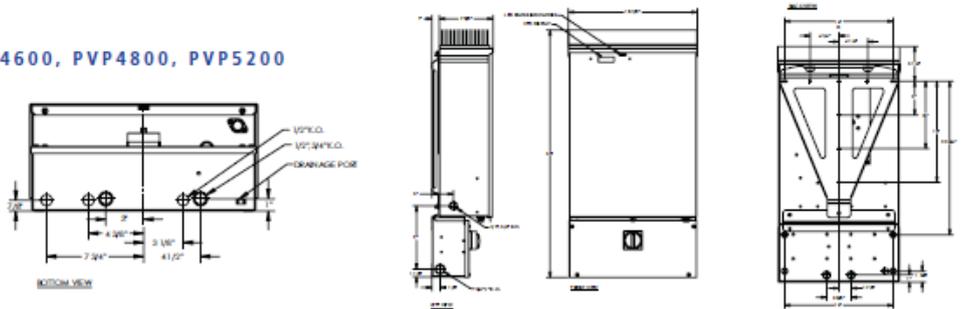
1-541-312-3832  
WWW.PVPOWERED.COM

**DIMENSIONS**

**PVP2000 to PVP3500**



**PVP4600, PVP4800, PVP5200**



**ELECTRICAL SPECIFICATIONS**

MODEL	PVP2000	PVP2500	PVP2800	PVP3000	PVP3500	PVP4600	PVP4800	PVP5200
Continuous Output Power (watts)	2000	2500	2800	3000	3500	4600	4800	5200
Weighted CEC Efficiency (%)	92	94.5	92	93.5	95.5	95.5	96	96
Maximum DC Input Voltage (VOC)	500	500	500	500	500	500	500	500
DC Voltage Operating Range (V)	115-450	140-450	180-450	170-450	200-450	205-450	200-450	240-450
DC Minimum Start Voltage (V)	130	155	195	185	215	220	215	255
DC Maximum Current (A)	18.5	19	16.5	19	18.5	24	25.5	23
AC Rated Output Current (A)	8.5	10.5	13.5	12.5	15	22.5	20.5	22
AC Nominal Voltage (V)	240	240	208	240	240	208	240	240
AC Output Voltage Range (V)	211-264	211-264	183-229	211-264	211-264	183-229	211-264	211-264
AC Frequency Range (Hz)	59.3-60.5	59.3-60.5	59.3-60.5	59.3-60.5	59.3-60.5	59.3-60.5	59.3-60.5	59.3-60.5

**MECHANICAL SPECIFICATIONS**

MODEL	PVP2000	PVP2500	PVP2800	PVP3000	PVP3500	PVP4600	PVP4800	PVP5200
Inverter with Factory-Integrated AC and DC PV System Disconnect								
NEMA 3R Steel Enclosure, Wall Mounted with Bracket Included								
Temperature	-25°C to 40°C							
Weight (lbs) with Disconnect	92.5	106.5	106.5	106.5	120.5	162	162	162
Inverter with Disconnect Dimensions	30 3/8" H x 15 5/8" W x 8 1/4" D	30 3/8" H x 15 5/8" W x 8 1/4" D	30 3/8" H x 15 5/8" W x 8 1/4" D	30 3/8" H x 15 5/8" W x 8 1/4" D	30 3/8" H x 15 5/8" W x 8 1/4" D	35" H x 18 1/8" W x 8 5/8" D	35" H x 18 1/8" W x 8 5/8" D	35" H x 18 1/8" W x 8 5/8" D

**AGENCY APPROVALS**

MODEL	PVP2000	PVP2500	PVP2800	PVP3000	PVP3500	PVP4600	PVP4800	PVP5200
-------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

UL 98 13th Edition, UL 1741 Nov 2005 Revision, CSA C22.2 107.1 2006 Revision, IEEE 1547 Compliant, FCC Class A & B

## ANEXO B

## Modelo do módulo fotovoltaico

New Zero Tolerance  
Greater Field Performance

## 210 WATT

**HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL  
PHOTOVOLTAIC MODULE**



**KD210GX-LPU**

NEC 2008 Compliant  
UL 1703, Class C  
IEC 61215





### CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with 35 years in solar, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's *Kaizen* Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeatedly achieving world record cell efficiencies.

**Kyocera Quality Built In:**

- New frame technology allows for end mounting with 2400 Pa (50 psf) or wind speeds of 130 mph (ASTM E1830) and traditional mounting under 5400 Pa (113 psf) to support increased snow load
- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Supported by major mounting structure manufacturers
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology
- Quality locking plug-in connectors to provide safe & quick connections

Kyocera manufactures and assembles solar cells and modules at its own worldwide production sites using a true vertical integration process. This superior approach gives Kyocera complete control over every step of the manufacturing process, producing modules with the industry's tightest power tolerance, promising high quality and efficiency.

- Superior Built-In Quality
- Proven Superior Field Performance
- Tight Power Tolerance
- 25 Year Warranty
- 5 Year Workmanship Warranty

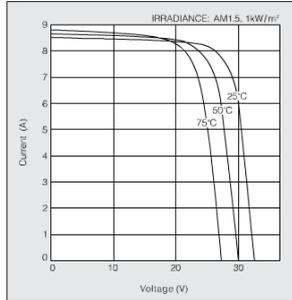


SOLAR by KYOCERA

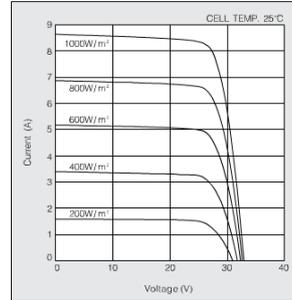
# KD210GX-LPU

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LPU at various cell temperatures



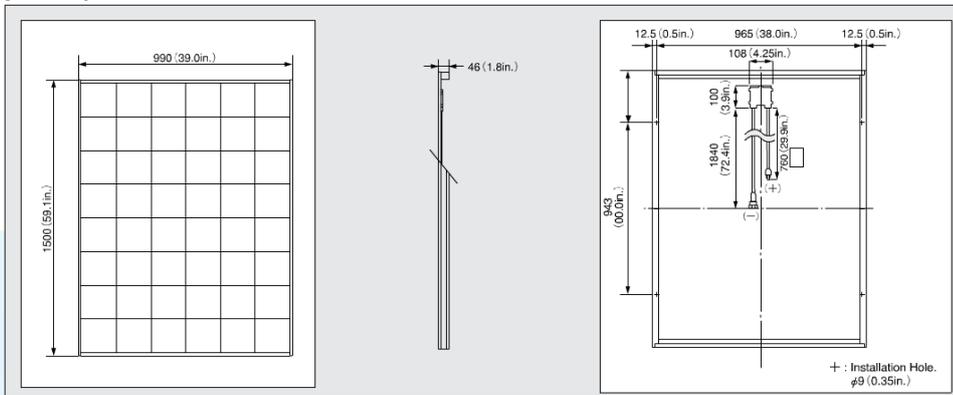
Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LPU at various irradiance levels



## SPECIFICATIONS

### Physical Specifications

Unit : mm (in.)



### Specifications

#### Electrical Performance under Standard Test Conditions (\*STC)

Maximum Power (P <sub>max</sub> )	210W (+5W/-0W)
Maximum Power Voltage (V <sub>mpp</sub> )	26.6V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	7.90A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	33.2V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	8.58A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-1.20×10 <sup>-1</sup> V/°C
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	5.15×10 <sup>-3</sup> A/°C

\*STC : Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, AM1.5 spectrum, cell temperature 25°C

#### Electrical Performance at 800W/m<sup>2</sup>, \*NOCT, AM1.5

Maximum Power (P <sub>max</sub> )	149W
Maximum Power Voltage (V <sub>mpp</sub> )	23.6V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	6.32A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	30.0V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	6.62A

\*NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) : 47.9°C

ISO 9001 and ISO 14001 Certified and Registered

www.kyocerasolar.com  
800-223-9580 toll free 800-523-2329 fax

#### Cells

Number per Module	54
-------------------	----

#### Module Characteristics

Length × Width × Depth	1500mm(59.1in)×990mm(39.0in)×46mm(1.8in)
Weight	18kg(39.7lbs.)
Cable	(+)760mm(29.9in.)(-)1840mm(72.4in)

#### Junction Box Characteristics

Length × Width × Depth	100mm(3.9in)×108mm(4.3in)×15mm(0.6in)
IP Code	IP65

#### Others

*Operating Temperature	-40°C~90°C
Maximum Fuse	15A

\*This temperature is based on cell temperature.



**ANEXO C****Analizador de Energia RE6000**

Analizador de Energia  
**RE6000**



« Funções completas para análise de sistemas elétricos  
« Curva de carga de motores, geradores e transformadores  
« Medição e diagnóstico de distorções harmônicas  
« Registro e avaliação de perturbações e transientes  
« Estudos de eficiência energética  
« Dimensionamento de bancos para correção do FP.



## Apresentação

O RE6000 é um Analisador de Energia, para uso abrigado tipo portátil, dotado de um display gráfico e um teclado com um menu extremamente intuitivo para facilitar a visualização e a parametrização das funções. É um equipamento que foi concebido para ser dimensionado pelo usuário por módulos que atendam exatamente a aplicação definida para melhor relação custo/benefício do investimento. Possui memória interna para armazenar os dados e porta Ethernet para transferência e análise dos mesmos através do Software de Análise ANL6000. No seu projeto foram privilegiados os conceitos de ergonomia e segurança de operação para torná-lo uma ferramenta segura, robusta e confiável. O analisador na versão RE6000/B, é um

equipamento completo para aplicações básicas de análise de energia. Os módulos (H – N – T), que podem ser incorporados futuramente, são opcionais para medições e análise de funções avançadas nos sistemas elétricos. O RE6000 faz todas as medições simultaneamente de todas as grandezas parametrizadas. Na versão básica o Analisador RE6000 é fornecido com uma gama de acessórios e com a escolha de algum modelo opcional de sensor de corrente, torna-se uma poderosa ferramenta indispensável para um completo diagnóstico de variáveis elétricas, críticas e fundamentais para a tomada de decisões quanto à gestão de custos ou qualidade de energia.

## Grandezas - (para toda linha RE6000)

V Fase, V Linha, I rms, Hz, W, VA, VAR, FP, DHTU, DHTI, kWh, kVAh, kVArh, Desbalanceamento de tensão conforme Nema e IEC, kVAr necessários para correção do FP, Demanda, Consumo e Geração de Energia.

## Módulos

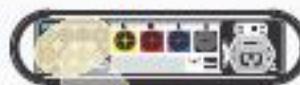
### RE 6000/B

RE6000/B – modelo básico, dimensionado para atender os mais variados sistemas elétricos. Dotado de entradas trifásicas de corrente e tensão indicado para aplicações de medição e análise de Tensões correntes e Potências.



### RE 6000/N

RE6000/N - Com este módulo, o Analisador dotado do quarto canal de entradas, passa a ter a possibilidade de medições de tensões e de correntes do Neutro. Indicado especialmente para sistemas elétricos desequilibrados e sistemas com conteúdo de distorções Harmônico elevados.



### MÓDULO H

RE6000/H - Com este módulo, o RE6000 faz a medição e registro de harmônicas de tensão e corrente até a 50ª ordem. A medição é feita numa janela de 128ms, em cada um dos canais de aquisição, através de modernas rotinas de tratamento do sinal e decomposição espectral.

Os registros são facilmente manipulados, principalmente com a aplicação do Software ANL6000, identificando o momento da ocorrência, ordem, amplitude e forma de onda de cada uma das fases de tensão e corrente do sistema em análise.



### MÓDULO T

RE6000/T - Com o módulo de transientes, RE6000/T o Analisador RE6000 poderá registrar formas de onda de tensão e corrente na frequência de 8kHz (resolução).

Com estes registros e com a aplicação dos aplicativos encontrados no ANL6000 o usuário poderá visualizar transientes, perturbações e distorções, a sua classificação SAG's e SWELL's de acordo com a IEEE1159.

Com a aplicação da função "trigger" é possível a parametrização dos níveis dos eventos a serem registrados.



## Funções Parametrizáveis

### Integração

- A Integração pode ser programada entre 100ms e 30 minutos. Valores permitidos:
  - Milsegundos: 100, 200 e 500;
  - Segundos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 e 30;
  - Minutos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 e 30;

### Grandezas Registradas

- Permite seleccionar quais as grandezas e fases que serão registradas. Permite também que todas as grandezas possam ser registradas simultaneamente:
  - Tensão (3 fases + neutro);
  - Corrente (3 fases + neutro);
  - Potência (3 fases);
  - DHTI e DHTU (3 fases);
  - Frequência;
  - Tensão de linha.

### Tipos de Memória

- Linear: memória que, ao esgotar a capacidade, encerra o registro. Permite até 15 arquivos em memória;
- Cíclica: memória que, ao esgotar a capacidade, sobrescreve os registros mais antigos com os novos. Permite 1 único arquivo em memória.

### Relação de TP e TC

- Relação de TP: configurado somente quando um TP externo, como por exemplo um TP de medição, for utilizado;
- Relação de TC: esta relação é programada automaticamente pelo equipamento, quando um sensor de corrente for seleccionado no menu 51. Poderá também ser configurado manualmente, caso uma relação diferente deva ser aplicada.

### Data e hora

- Usado para configurar o calendário e o relógio do RE6000.

### Partida de Motor

- Permite a programação de um intervalo em minutos, onde o equipamento registrará em 100ms, para a análise de partidas de motores. Após o término deste intervalo, o equipamento volta a registrar na integração configurada anteriormente (Menu 13).

### Timer

- Permite programar um horário definido para iniciar e parar uma medição;
- Timer diário: permite realizar diariamente uma medição em um horário pré-programado.

### Harmônicas

- Permite seleccionar se o RE6000 irá considerar as harmônicas nas grandezas RMS (V, I, FP, P, Q e S);
- Permite configurar, caso o módulo de harmônicas esteja instalado, qual o intervalo de aquisição deste dado, baseado no tempo de integração.

### Endereço IP

- Permite configurar o endereço IP do equipamento.

### Horário de verão

- Define o início e o fim do horário de verão.

### Transientes

- Permite configurar o número máximo de eventos a serem registrados, quais fases serão monitorados e o valores dos triggers para registro de Sag, Swell, Transientes, DHT e Frequência.

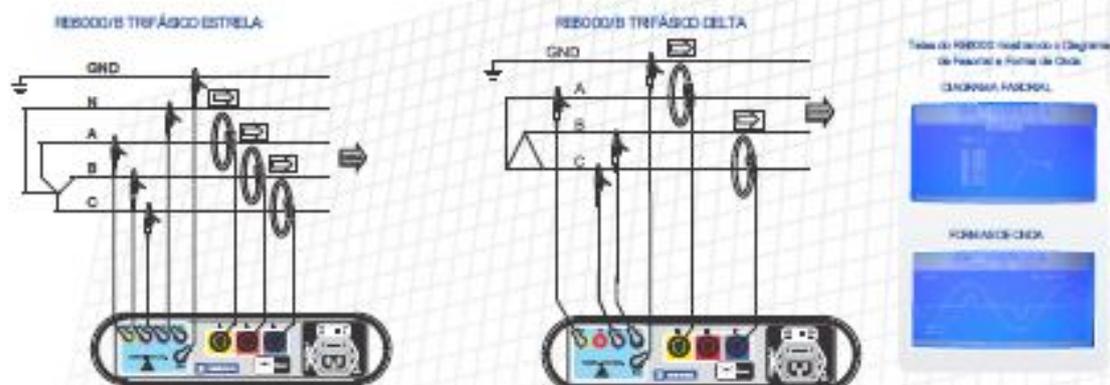
### Entrada de corrente

- Permite seleccionar qual sensor de corrente será utilizado pelo equipamento.

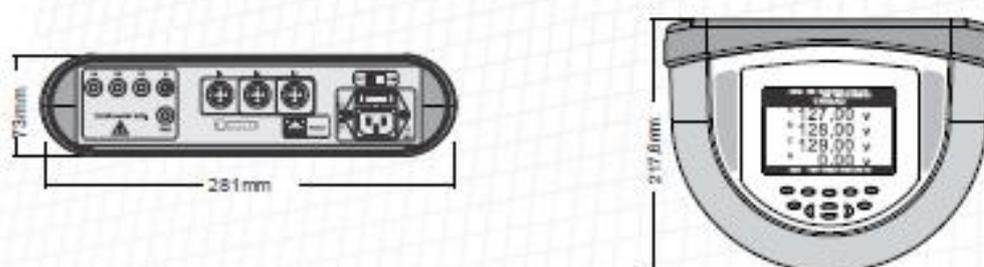
## Acessórios



## Diagrama de Ligação



## Dimensões



## Especificações Técnicas

Alimentação	80 a 300Vac/Vac
Consumo	5VA
Temperatura de operação	0 a 50°C
Medição de tensão	30 a 500Vac (Fase-neutro) 0,5 a 100V (Entrada de neutro - RE8000N)
Erro máximo de tensão	0,5% entre 30 e 100V 0,2% entre 100 e 500V 0,5% entre 0,5 e 100V (RE8000N)
Medição de corrente	Através de sensor flexível ou sonda de corrente
Erro máximo de corrente	0,2% entre 5% e 100% de escala de corrente
Erro máximo de ângulo de fase	< 0,3 graus
Frequência	50/60Hz

Isolação	2,5kV CATIII
Dimensões	281 x 291,7 x 73 mm
Display	LCD gráfico 240x128 pixels
Peso	1,7kg
Comunicação	TCP/IP - Ethernet
Período de integração	100ms a 30 min
Capacidade de memória	256MB
Amostragem	A/D de 16 bits, 133 amostras por ciclo (8kHz). Simultaneamente em todos os canais
Harmônicas	1ª a 50ª ordem, pares e ímpares, simultaneamente em todos os canais
Transientes	Duração mínima para detecção: 150us (amostragem de 8kHz)
Análise dos dados	Software ANL8000


**EMBRASUL**

Embrasul Indústria Eletrônica Ltda  
 Av. Bahia, 684 - Porto Alegre - RS - Brasil  
 90240-551  
 Fone: 51 3358.4000 - Fax: 51 3358.4022  
 embrasul@embrasul.com.br  
[www.embrasul.com.br](http://www.embrasul.com.br)

 Agente Técnico

## **ANEXO D**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nos art. 4º, início XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.0004924/2010-51, e considerando:

as contribuições recebidas na Consulta Pública nº 15/2010, realizada por intercâmbio documental no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 e

as contribuições recebidas na Audiência Pública nº 42/2011, realizadas no período de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011, resolve:

### **CAPÍTULO III**

#### **DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

I. deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

II. o consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

III. caso a energia ativa injetada em um determinado posto horário seja superior à energia ativa consumida, a diferença deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outros postos horários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo, ainda, ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia, se houver.

IV. os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito.

V. o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica.

VI. os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento, e serão revertidos em prol da modicidade tarifária.

VII. a fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente, em quilowatt-hora (kWh), por posto horário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.

VIII. os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia serão considerados no cálculo da sobrecontratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica (ANEEL, 2012).