

PAULO ARMANDO PANUNZIO

**PROPOSTA DE EQUIPAMENTO DE CONEXÃO À REDE PARA A
UTILIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM CONSUMIDORES DE
PEQUENO E MÉDIO PORTE**

PAULO ARMANDO PANUNZIO

PROPOSTA DE EQUIPAMENTO DE CONEXÃO À REDE PARA A UTILIZAÇÃO
DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM CONSUMIDORES DE PEQUENO E MÉDIO
PORTE

Tese a ser apresentada, à Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia Mecânica
na área de Energia

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Coorientador: Prof. Dr. José Luz Silveira

Panunzio, Paulo Armando
P198p Proposta de equipamento de conexão à rede para a utilização da geração da energia solar em consumidores de pequeno e médio porte / Paulo Armando Panunzio – Guaratinguetá, 2015.
118 f.: il.
Bibliografia: f. 115 – 117
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015
Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Coorientador: Prof. Dr. José Luz Silveira

1. Geração de energia fotovoltaica 2. Indutores elétricos 3. Inversores elétricos I. Título

CDU 620.91(043)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

PAULO ARMANDO PANUNZIO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Vice-Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador / UNESP-FEG

Prof. Dr. PALOMA MARIA SILVA ROCHA
UNESP/FEG

Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO LOTUFO
UNESP/FEG

Prof. Dr. JOSÉ RUI CAMARGO
UNITAU

Prof. Dr. OSIRIS CANCIGLIERI JUNIOR
PUC/PR

Fevereiro de 2016

DADOS CURRICULARES
PAULO ARMANDO PANUNZIO

NASCIMENTO 05/02/1959 – GUARATINGUETÁ

FILIAÇÃO Armando Pannunzio
 Delphina Lotufo Pannunzio

1974/1976 Curso Técnico em Eletrotécnica, no Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá – UNESP.

1980/1984 Curso de Engenharia Elétrica, na Universidade de Taubaté.

1999/2000 Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, nível de Mestrado na Universidade Federal de Itajubá.

2013/2016 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Grande Arquiteto do Universo por iluminar a minha trajetória no desenvolvimento dessa Tese.

A minha esposa Marisa, pela paciência e apoio, aos meus filhos e noras Marcos, Luiz, Renato, Larissa, Erica e Mariana pelos momentos de conversas, reflexões e de apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza pelo apoio, acompanhamento incondicional e investimento no desenvolvimento desse trabalho, pois nos momentos mais críticos sempre visualizava um caminho a seguir.

Ao amigo Alcir Pedro da Silva (Alcelétrica) pelo apoio e empréstimo do grupo motor gerador diesel para os experimentos.

Ao Prof. José Gilberto Arruda (CTIG – UNESP) pela colaboração nas discussões sobre problemas encontrados na transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para a carga.

Ao Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá “Prof. Carlos Augusto Patrício Amorim” pelo empréstimo de transformadores usados como indutores.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica pelo empréstimo de equipamentos para o desenvolvimento desse trabalho.

À empresa Astro Solar do Eng. Walter Canto por doar dois painéis fotovoltaicos de 240W/30V/8,5 A.

À empresa Buffalo por ter doado o gerador Buffalo BF6 1200 para os experimentos.

À empresa Tecnotrafo por ter construído o indutor especificado de 500mH/10 A.

Ao pessoal da Biblioteca do Campus Guaratinguetá pelo peculiar atendimento.

À Thais Santos Castro por ter cedido o painel de cargas com lâmpadas e tomadas.

PANUNZIO, P. A 2016. 109f. **Tese Proposta de equipamento de conexão à rede para a utilização da geração de energia solar em consumidores de pequeno e médio porte.** (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2016.

RESUMO

A proposta dessa Tese é o projeto e desenvolvimento de um sistema de fornecimento de energia elétrica conectada à rede sem a utilização de circuitos eletrônicos complexos. O sistema eletroeletrônico convencional utiliza um inversor de frequência que transfere a potência ativa do nível de tensão e corrente CC para o nível compatível com a rede elétrica CA em frequência, tensão e sincronismo de fases. Já o desenvolvimento do projeto teve como parte experimental a utilização de indutores adequados com valores variáveis de 200 mH a 500 mH entre os painéis fotovoltaicos e a rede convencional. A tensão e a corrente máxima de CC foi de 29,6 V e a máxima possível foi de 20 amperes. Utilizou-se do princípio do casamento de impedâncias entre o painel fotovoltaico e o sistema de fornecimento de energia CA. Assim o painel fotovoltaico fornece somente potência ativa para a rede não interferindo no sincronismo. Na onda de tensão e corrente CA há uma pequena alteração no nível CA em relação a simetria do eixo dos tempos, dentro dos limites previstos para a rede convencional de energia. Logo evidencia-se o fornecimento de potência ativa para a rede CA. Os resultados obtidos permitiram inserção na rede de cerca de 10% da potência ativa dos painéis fotovoltaicos, com a otimização dos valores dos indutores, ocorrendo a transferência de potência ativa dos painéis fotovoltaicos para a rede convencional de energia CA.

Palavras chave: Sistema fotovoltaico, conexão direto à rede CA, indutores, reatância indutiva, paralelismo, casamento de impedâncias.

PANUNZIO P. A. **Proposed grid connection equipment for use of solar power generation in small and medium-sized consumers.** 2016. 109f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2016.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the design and development of a delivery system of electricity connected to the network without the use of complex electronic circuits. The electronics system uses a frequency inverter that transfers the active power level voltage and DC current to the level compatible with the mains AC frequency, voltage and phase synchronization. But the project was to develop experimental part the use of suitable inductors with variable values of 200 mH to 500 mH between the PV panels and the conventional network. The maximum current was 20 amperes. We used the principle of impedance matching between the photovoltaic panel and the power supply system CA. So the photovoltaic panel supplies only active power to the grid not interfering with the timing. In the wave of AC voltage and current for a small change in CA level against the symmetry axis of time. Logo is evident in the supply of active power to the grid CA. The results allowed inclusion in the network of about 10% of the active power of photovoltaic panels by optimizing the values of the inductors for the occurrence of power transfer of conventional photovoltaic panels for energy occurs CA.

Keywords: Photovoltaic system, direct connection to the AC network, inductors, inductive reactance, parallel, impedance matching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução mundial da capacidade instalada de painéis fotovoltaicos de 2000 – 2013 (<i>Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018 –EPIA</i>)	19
Figura 2 - Mapa (a) Emprego; Mapa (b) Irradiação	23
Figura 3 – Componentes dos sistemas fotovoltaicos autônomos	27
Figura 4 – Apresenta o diagrama esquemático de uma configuração de sistema autônomo. ..	28
Figura 5 – Sistema de painéis fotovoltaicos com inversor conectado à rede.	29
Figura 6 – Diagrama esquemático do sistema apresentado na Figura 5.....	29
Figura 7 – Diagrama esquemático de um	30
Figura 8 – Sistema de geração com painéis fotovoltaicos controlado e com filtros ressonantes.	31
Figura 9 – Diagrama esquemático do equipamento desenvolvido na tese.	32
Figura 10 – Alicate amperimétrico H811-020.....	33
Figura 11 – Alicate amperimétrico ET 3200A	34
Figura 12 – Alicate wattimétrico - ET 4091.....	35
Figura 13 – Osciloscópio TDS – 1001B, 40 MHz, 500MS/s.	36
Figura 14- Medidor de energia solar Instrutherm MES – 100.	37
Figura 15 – Multímetro analógico IK 105.....	37
Figura 16 – Grupo motor gerador a gasolina Buffalo BFG 1200.....	38
Figura 17 – Grupo motor gerador diesel T6000 CYE	39
Figura 18 - Pannel fotovoltaico Yingli YL 245P-29b	40
Figura 19 - Pannel fotovoltaico Astro Solar 240W/30V CC.....	41
Figura 20 – Diagrama esquemático do grupo motor gerador a gasolina e pannel fotovoltaico	42
Figura 21 – Diagrama esquemático do grupo motor gerador diesel de pannel fotovoltaico.....	42
Figura 22 - Curva V x I do gerador gasolina Buffalo 1 kW/220V/115V.....	43
Figura 23 – Curva característica Gerador diesel T6000 CYE.....	45
Figura 24 - Forma de onda da tensão do pannel para 150 mH.....	46
Figura 25 – Forma da tensão do gerador para 150mH	47
Figura 26 – Forma de onda da tensão do grupo motor gerador para 400 mH.....	48
Figura 27 – Forma de onda da tensão do pannel para 400 mH.	48
Figura 28- Indutores 300VA/220V/127V	50
Figura 29 – Transformador 220V/127V/1,5A Transformador 220V/127V/3A.....	50
Figura 30– Diagrama esquemático	50
Figura 31 - 1.Osciloscópio, 2. Indutores, 3.Barramento, 4. Medidores e 5. Pannel de carga. ..	51
Figura 32 – 1. Pannel Yingli, YL 245P-29b 245W/29,6V/8,25A; 2. Pannel Astro Solar, 240W/30VCC/7,93 ^a	52
Figura 33 - Transformadores utilizados no ensaio	52
Figura 34 Indutores utilizados no experimento, osciloscópio, barramento e medidores.	53
Figura 35 – Indutor 500mH/10A.	54
Figura 36 - Gráfico comparativo da tensão com carga pannel fotovoltaico YL 245W/29,6V/8,25 A e gerador em paralelo e somente gerador BFG 1200.....	57
Figura 37- Formas de ondas do pannel fotovoltaico YL 245P-29b e do gerador BFG 1200....	58
Figura 38 - Onda do gerador BFG 1200.....	58
Figura 39 - Onda do pannel fotovoltaico YL 245P-29b.....	59

Figura 40 - Gráfico comparativo tensão com carga painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador CYE 6000 em paralelo e somente gerador.	60
Figura 41- Formas de onda do gerador CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b.	61
Figura 42 - Onda do gerador diesel T6000 CYE e do painel fotovoltaico YL 245P-29b	61
Figura 43 - Tensão medida no gerador BFG 1200 com o painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e com carga.	63
Figura 44 - Tensão medida no painel com gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo.	63
Figura 45 - Forma de onda do painel fotovoltaico V.	64
Figura 46 - Forma de onda do gerador BFG 1200.	65
Figura 47- Forma de onda do gerador BF6 1200 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com a carga.	65
Figura 48 - Tensão no painel fotovoltaico YL 245P-29b.	67
Figura 49 - Tensão no painel fotovoltaico YL 245P-29b.	68
Figura 50 – Gerador BFG 1200 sem carga e aberto o paralelismo	68
Figura 51 - Tensão do gerador BFG1200 em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.....	69
Figura 52 – Forma de onda da tensão do gerador T6000 CYE e do painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A interligados e só tensão do gerador.	71
Figura 53 - Tensão no painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93A interligada ao gerador T6000 CYE e com carga de 690 W.....	72
Figura 54 - Forma de onda saída do gerador Toyama CYE 6000.	73
Figura 55 - Forma de onda da saída do painel fotovoltaico YL 245P-29b.	73
Figura 56 - Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b.	74
Figura 57 - Forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com o gerador T6000 CYE com carga 1030W.	74
Figura 58 - Forma de onda do gerador T6000 CYE com carga sem painel fotovoltaico YL 245P-29b e com painel em paralelo.	75
Figura 59 - Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 com a carga de 650W.	77
Figura 60 - Forma de onda do gerador T6000 CYE sem painel fotovoltaico YL 245P-29b e com painel em paralelo.....	77
Figura 61- Forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com o gerador T6000 CYE e com carga de 680W.....	78
Figura 62 - Forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b com carga 680W e indutor de 35 mH.	78
Figura 63 – Forma de onda painel fotovoltaico e indutor.	79
Figura 64 - Forma de onda painel fotovoltaico YL 245P-29b e indutor 140 mH + 2T.	79
Figura 65 – Gráfico das tensões do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b.	80
Figura 66 - Gráfico da potência ativa no barramento.....	80
Figura 67 - Gráfico da tensão gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador.....	83
Figura 68 - Forma de onda tensão painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador T6000 CYE..	83
Figura 69 - Forma de onda tensão painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador T6000 CYE..	84
Figura 70 – Gráfico da tensão gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador.....	85

Figura 71– Formas de onda painel fotovoltaico e gerador CA em paralelo.....	86
Figura 72 – Gráfico da tensão gerador T6000 CYE com painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador.....	87
Figura 73 – Gráfico da tensão gerador T6000 CYE com painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e do gerador CA.....	87
Figura 74 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico e somente o gerador.	89
Figura 75– Formas de onda gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b separados e em paralelo sem carga.....	90
Figura 76 - Potência do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com painel fotovoltaico e somente o gerador.....	91
Figura 77 – Tensão do gerador Toyama CYE 6000 com carga de 120W a 880W.	92
Figura 78 - Tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com carga.....	92
Figura 79 – Tensão do gerador Toyama e do painel fotovoltaico YL 245P-29b sem carga.	94
Figura 80 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo sem carga.	95
Figura 81 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com carga.....	95
Figura 82 – Gráfico da tensão no gerador Toyama CYE 6000 e no painel fotovoltaico YL 245P-29b.....	97
Figura 83 – Gráfico da potência no gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico e somente o gerador.	98
Figura 84 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b separados.	98
Figura 85 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b ligados em paralelo.....	99
Figura 86 – Forma de onda da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b separados.....	101
Figura 87 – Forma de onda da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo sem carga.....	101
Figura 88 – Forma de onda da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com a carga.....	102
Figura 89 – Gráfico da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A.....	104
Figura 90 – Forma de onda de tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A separados sem carga.....	105
Figura 91– Forma de onda de tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A em paralelo sem carga.....	105
Figura 92 – Forma de onda de tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A em paralelo com carga.	106
Figura 93 – Gráfico da variação da potência do gerador Toyama CYE 6000 com painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A e sem painel fotovoltaico.....	107
Figura 94 – Gráfico da variação da irradiação solar durante um dia típico de experimentos.....	111
Figura 95 – Tensão no painel fotovoltaico YL 245P-29b e a corrente do micro inversor i-energy GT260.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Limites de entrada alicate Homis - H811-020.....	33
Tabela 2 - Limites de entrada alicate Minipa - ET 3200A	34
Tabela 3 - Limites de entrada alicate Minipa - ET 4091	35
Tabela 4 - Características do Osciloscópio TDS – 1001B, 40 MHz, 500Ms/s	36
Tabela 5 - Limites do medidor de energia solar - MES - 100	37
Tabela 6 - Limites de entrada do multímetro analógico – IK 105.....	38
Tabela 7 - Características do gerador a gasolina Buffalo BF6 1200	39
Tabela 8 - Características do grupo motor gerador diesel – T6000 CYE.....	40
Tabela 9 - Características do painel fotovoltaico Yingli YL 245P-29b	41
Tabela 10 - Características do painel fotovoltaico Astro Solar 240W/31,08V CC	41
Tabela 11 – valores medidos do grupo motor gerador gasolina Buffalo 1 kW/220V/115V....	43
Tabela 12 – Valores medidos no experimento do grupo motor gerador diesel T6000 CYE. ..	44
Tabela 13 – Resultados dos experimentos realizados com o grupo motor gerador à gasolina Buffalo e painel fotovoltaico Yingli YL 245P-29b	46
Tabela 14 – resultados dos experimentos realizados com o grupo motor gerador diesel T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b.	47
Tabela 15 – Valores obtidos por medições no painel fotovoltaico e gerador Buffalo BFG 1200	56
Tabela 16 – Valores obtidos por medições no painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador T6000 CYE.....	59
Tabela 17 – Valores das tensões medidas no gerador BFG 1200 e no painel fotovoltaico YL 245P-29b com e sem carga.	62
Tabela 18 – Potência do gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.	64
Tabela 19 – Tensão (TRUE - RMS) no gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b.	67
Tabela 20 – Potência do gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e carga em watts.....	67
Tabela 21 – Tensão do gerador Toyama T6000 CYE e painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A.	70
Tabela 22 – Potência do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A.	70
Tabela 23 – Tensão do gerador e painel fotovoltaico, e do painel fotovoltaico.....	72
Tabela 24 – Medições da tensão e potência ativa.....	76
Tabela 25 – Potência ativa no barramento.....	82
Tabela 26 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.....	82
Tabela 27 – Potência ativa no barramento.....	84
Tabela 28 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente com o gerador.	85
Tabela 29 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.....	86
Tabela 30 – Potência ativa no barramento.....	88

Tabela 31 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.....	89
Tabela 32 – Potência do gerador T6000 CYE em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.....	91
Tabela 33 – Tensão do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e só o gerador.	93
Tabela 34 – Potência ativa no barramento gerador e painel fotovoltaico.	94
Tabela 35 – Medições da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b.....	96
Tabela 36 – Potência ativa do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b.	96
Tabela 37 – Tensão no gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente no gerador.	100
Tabela 38 – Potência no gerador e painel em paralelo e somente o gerador.....	100
Tabela 39 – Medições da tensão gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A.	103
Tabela 40 – Potência do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A.	103
Tabela 41 – Porcentagem de acréscimo e decréscimo de potência ativa na associação	108
Tabela 42 – Valores medidos utilizando o kit constituído de painel fotovoltaico e inversor, conectado à rede convencional.	109
Tabela 43 - Valores obtidos com o kit constituído de painel fotovoltaico YL 245P-29b e inversor i-energy GT260.	110
Tabela 44 – Custo dos equipamentos para sistema convencional e com indutor.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
A/D – Do inglês Analogic/Digital (Analógico/Digital)
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
APAC - Asia Pacific
AUTOTRAFO- Auto transformador
CA – Corrente alternada
CC – Corrente contínua
DC – DC – Do inglês Direct Current – Direct Current, Corrente Contínua- Corrente Contínua
Dif. 1 – Diferença entre a tensão do gerador + tensão do painel para a tensão somente do gerador
Dif. 2 – Diferença entre a tensão do painel fotovoltaico sem carga e com carga
DNAEE – Departamento Nacional de Energia Elétrica
DSP – Do inglês Digital Signal Processor (Processador digital de sinal)
DVR – Do inglês Dynamic voltage restore (restaurador dinâmico de tensão)
EPIA – Do inglês Europe Photovoltaic Industry Association (Associação Européia da Industria Fotovoltaica)
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LCL – Do inglês Inductor Capacitor Inductor Filter (filtro indutor capacitor indutor filtro)
MEA – Do inglês Midlle East and Africa (Oriente Médio e África)
MPPT – Do inglês Maximum power point tracking (Controle do ponto de potência máxima)
PWM – Do inglês Pulse with modulation (Modulação de largura de pulso)
RoW – Do inglês Rest of the world (Resto do mundo)
UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RMS - Do inglês Root Mean Square (Raiz quadrada média)
SIN – Sistema Interligado Nacional
SWERA- Solar and Wind Energy Resource Assessment (Avaliação solar e dos Recursos de Energia Eólica)
TRAFO -Transformador
V_g – Tensão do gerador CA
V_{g+p} – Tensão do gerador CA mais tensão do painel fotovoltaico CC
V_{p c/c} – Tensão do painel fotovoltaico com carga
V_{p s/c} – Tensão do painel fotovoltaico sem carga
W_p – Watts de pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Contextualização	18
1.2. Justificativa	21
1.3 Objetivos.....	24
1.4 Metodologia.....	24
1.4.1 Primeira fase do experimento: painel fotovoltaico conectado direto ao gerador	25
1.4.2 Segunda fase dos experimentos: painel fotovoltaico em série com indutores	25
1.4.3 Terceira fase do experimento: painel fotovoltaico policristalino Yingli YL 245P-29b com inversor certificado.	26
1.5 Estrutura da Tese	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 Sistema Fotovoltaico Autônomo	27
2.2. Sistemas conectados à rede <i>on-grid</i>	28
2.2.1. Topologias com único estágio inversor, não isolado.....	29
2.2.2. Topologias com múltiplos estágios de conversão, não isolados	30
2.2.3 Conclusão	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Caracterização dos medidores e equipamentos	33
3.1.1 Alicate amperimétrico H811-020	33
3.1.2 Alicate amperimétrico ET – 3200 A.....	34
3.1.3 Alicate Wattímetro Digital ET 4091.....	34
3.1.4 Osciloscópio: Tektronix TDS – 1001B, 40 MHz, 500MS/s.....	35
3.1.5 Medidor de energia solar Instrutherm MES – 100	36
3.1.6 Multímetro analógico Icel IK – 105	37
3.2 Equipamentos para emulação da rede de energia convencional.....	38
3.2.1 Grupo motor gerador a gasolina Buffalo BFG 1200	38
3.2.2 Grupo motor gerador diesel – Toyama T6000 CYE	39
3.2.3. Painel fotovoltaico policristalino Yingli YL 245P-29b.....	40
3.2.4. Painel fotovoltaico Astro Solar 240W/30V CC	41
3.3. Diagramas esquemáticos das configurações utilizadas nas montagens dos experimentos:	41
3.3.1 – Diagrama blocos utilizado no experimento do grupo motor gerador a gasolina Buffalo BFG 1200.	42
3.3.2 – Diagrama esquemático utilizado com a representação do experimento com o grupo motor gerador diesel T6000 CYE.....	42

3.4- Experimentos realizados com o grupo motor gerador BF6G 1200 Buffalo.	43
3.4.1 Experimento 1: Levantamento da curva característica do grupo motor gerador gasolina Buffalo 1 kW/220V/115V.	43
3.4.2 Experimento 2: Levantamento da curva característica do gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V.	44
3.4.3: Experimento 3: Verificação do casamento de impedâncias do grupo motor gerador a gasolina Buffalo 1kW/220V/115V.	45
3.4.4 Experimento 4: Verificação do casamento de impedâncias do grupo motor gerador diesel Toyama 5,5kW/220V/115V.	47
3.4.5 Experimento 5: Pannel fotovoltaico YL 245P-29b, grupo motor gerador a gasolina Buffalo 1kW/220V/115V conectado diretamente ao barramento.	49
3.4.6 Experimento 6: Pannel fotovoltaico YL 245P-29b, gerador diesel Toyama 5,5kW/ 220V/110V conectado diretamente ao barramento.	49
3.4.7 Experimento 7: Pannel fotovoltaico YL 245P-29b, gerador a gasolina Buffalo 1kW 220V/115V, com indutor apresentados nas Figuras 28 e 29.	49
3.4.8 Experimento 8: Pannel fotovoltaico YL 245P-29b, gerador a gasolina Buffalo 1kW /220V/127V, sete indutores.	51
3.4.9 Experimento 9: Pannel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A (2), grupo motor gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e dez indutores de 35 mH.	52
3.4.10 Experimento 10: Pannel fotovoltaico 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutores.	53
3.4.10.1 Experimento 10.1: P	53
3.4.11 Experimento 11: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 100 mH.	54
3.4.12 Experimento 12: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 150 mH.	54
3.4.13 Experimento 13: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 200 mH.	54
3.4.14 Experimento 14: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 300 mH.	55
3.4.15 Experimento 15: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 450 mH.	55
3.4.16. Experimento 16: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 500 mH.	55
3.4.17 Experimento 17: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e pannel fotovoltaico 240W/30V/7,93A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/110V/220V, indutor 400 mH.	55
3.5 Experimento 18: Pannel fotovoltaico YL 245P-29b e inversor 250W/220V certificado. ..	55
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO	
CAPÍTULO 3	56

4.1 Experimento 3.4.5: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, diretamente no sol, e gerador a gasolina Buffalo BFG 1200, ligados diretamente.	56
4.2 Experimento 3.4.6: Painei fotovoltaico YL 245P/245 Wp/29,6 V/8,25 A (YL 245P-29b), gerador diesel Toyama 5,5kW/220V/110V, (T6000 CYE), conectado diretamente ao barramento.	59
4.3 Experimento 3.4.7: Painei fotovoltaico YL 245P/245 Wp/29,6 V/8,25 A, gerador a gasolina Buffalo 1kW/115V/220V (BF 6 1200), com indutor (transformadores 220/127V/9V – 1,5 A e 3,0 A).	62
4.4 Experimento 3.4.8: Painei fotovoltaico YL 245P/245Wp/29,6V/8,25 A, gerador a gasolina Buffalo 1kW/220V/115V, sete indutores.	66
4.5 Experimento 3.4.9: Painei fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, dez indutores transformadores 220V/127V/3 A e 1,5 A.	69
4.6 Experimento 3.4.10 - Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V em paralelo no barramento.	72
4.7 Experimento 3.4.11: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutores (transformadores e bobinas).....	75
4.8 – Experimento 3.4.12: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 100 mh.	81
4.8.1. Experimento 3.4.13: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor 150 mH.	84
4.8.2. Experimento 3.4.14: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V e indutor 200 mH.	86
4.8.3. Experimento 3.4.15: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor 200 mH.	89
4.8.4 Experimento 3.4.16: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V e indutor 300 mH.	93
4.8.5 Experimento 3.4.17: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 450 mH.....	96
4.8.6. Experimento 3.4.18: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V, indutor 500 mH.	99
4.8.7 Experimento 3.4.19: Painei fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A, painei fotovoltaico Astro Solar 240W/30V/7,93A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 400 mH.	102
4.19: Experimento 3.5: Painei fotovoltaico YL 245P-29b e inversor i-energy GT260, certificado	108
4.20 Estimativa de custos do desenvolvimento do projeto e para produção em série do equipamento.....	112
5. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros:	113
6. Bibliografia	115

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o tema do trabalho desenvolvido no Centro de Energias Renováveis da UNESP, Campus de Guaratinguetá da UNESP, as justificativas, a motivação e a estruturação da pesquisa desenvolvida.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No mundo e no Brasil existe uma preocupação com o esgotamento das fontes primárias que são utilizadas para geração de energia elétrica, advindas da natureza, como exemplo, os combustíveis fósseis, água, carvão vegetal e mineral.

Este contexto leva a busca de novas formas de utilização da geração de energia e uma delas são as células fotovoltaicas, que é a pesquisa desenvolvida nesse trabalho.

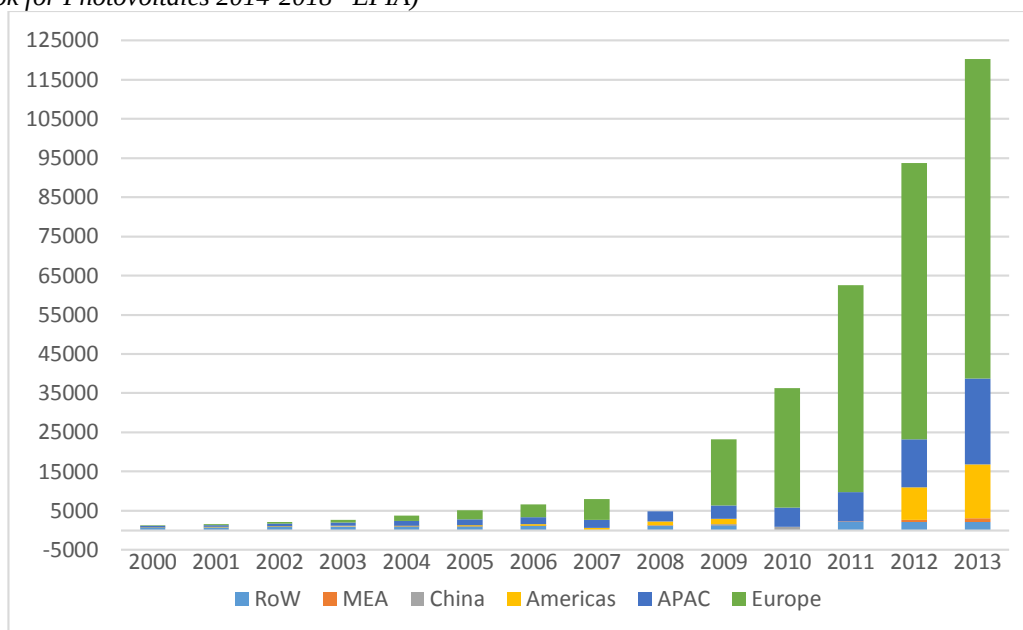
Em função das decisões do Protocolo de Kyoto, que colocou um compromisso com a redução de emissão de CO₂, nos países desenvolvidos existe um incentivo para implantação da geração de energia com painéis fotovoltaicos, e que não acontece no Brasil e nos demais países em desenvolvimento.

Esse esgotamento e a mudança na forma de utilizar tais fontes abriu um grande campo de pesquisa para as formas alternativas de produção e geração de energia que já vem sendo desenvolvidas, principalmente fora do Brasil, como na Europa e América do Norte (OLSON, 2014). Buscou-se a melhoria da eficiência da geração eólica, solar nos painéis fotovoltaicos e no aquecimento da água, pesquisas do potencial e formas de utilizar as marés e utilização da biomassa para produção de vapor utilizando o excedente para a produção de energia elétrica.

A produção de painéis solares no mundo está estável, onde os incentivos aplicados pelos países ricos estão sendo reavaliados, pois as políticas dos governos tendem a sofrer mudanças (SAHU, 2015). A capacidade instalada principalmente na Europa é grande.

Houve a instalação de grande quantidade de painéis fotovoltaicos no mundo, como mostra a Figura 1, durante o período de 2004 a 2013, em função dos incentivos dos governos dos países desenvolvidos e a tendência é de diminuir principalmente por causa da política de corte dos subsídios.

Figura 1 - Evolução mundial da capacidade instalada de painéis fotovoltaicos de 2000 – 2013 (*Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018 – EPIA*)



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
RoW	751	807	887	964	993	1.003	1.108	1.15	1.226	1.306	1.59	2.098	2.098	2.098
MEA	n/a	n/a	n/a	n/a	1	1	1	2	3	25	80	205	570	953
China	19	24	42	52	62	70	80	100	140	300	800	3.3	6.8	18.6
Americas	21	24	54	102	163	246	355	522	828	1.328	2.41	4.59	8.365	13.727
APAC	368	496	686	916	1.198	1.502	1.827	2.098	2.628	3.373	4.951	7.513	12.159	21.992
Europe	129	265	399	601	1.306	2.291	3.289	5.312	11.02	16.854	30.505	52.764	70.489	81.464
Total	1.288	1.615	2.069	2.635	3.723	5.112	6.66	9.183	15.844	23.185	40.336	70.469	100.48	138.833

RoW: Rest of the World. MEA: Middle East and Africa. APAC: Asia Pacific.

Fonte: (EPIA • GLOBAL MARKET OUTLOOK FOR PHOTOVOLTAICS 2014-2018.)

No Brasil existe também uma tendência para aumentar ainda mais a geração de energia elétrica utilizando os recursos renováveis (Rus-CASAS, 2014). A aplicação dos painéis fotovoltaicos no Brasil para geração de energia e sua utilização comercial em residências e pontos comerciais como micro geradores ainda é muito pequeno, (ALMONACID, 2013). Existe instalações em alguns locais como em Belo Horizonte (MG), instalada pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais); em Campinas onde os investimentos foram por conta do consumidor. Mesmo as usinas solares de médio porte são muito pequenas, representando apenas 0,0106% da matriz energética com 317 usinas instaladas, produzindo 15.179 kW, segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), com os dados do Banco de Informações de Geração em operação.

No ano de 2012, a ANEEL regulamentou o sistema de compensação *net metering* e a micro e mini geração por meio da Resolução Normativa Nº 482 de 2012, com o objetivo incentivar a inserção deste sistema de geração. A regulamentação do sistema *net metering* traz

questionamentos sobre seu benefício ao micro e mini gerador (DOUGLAS, 2015), afim de tornar acessível legalmente qualquer Consumidor instalar um sistema fotovoltaico e colocar essa energia na rede para compensar seu consumo, porque a medição é bidirecional.

O sistema solar fotovoltaico existente em funcionamento no mundo utiliza a ligação direta à rede *on-gride* ou *tie-grid* e o sistema *off-gride*. (TSILINGIRIDIS, 2013). Dados do relatório 2014 EPIA (*Europe Photovoltaic Industry Association*) de acordo com a Figura 1, mostram que a Europa teve quantidade menor de instalação de sistemas fotovoltaico gerando energia do que a Ásia.

Tanto uma forma como a outra existe a possibilidade de economia de energia, pois no sistema *on-gride* ligado direto a rede (sem baterias e controladores de carga), existe a economia e compensação através da medição de energia, durante o período diurno com o sol. O sistema *off-gride* tem baterias e controladores de carga (GREEN, 2000). Os custos de implantação são semelhantes. (WAI, 2014)

Como a energia solar está disponível em quase todo mundo, principalmente aqui no Brasil, deve-se investir na geração *on grid*, principalmente nas micro e pequenas quantidades de energia e na distribuição da capacidade de geração (EFFENDY, 2014)

É importante citar a evolução das redes de energia elétrica de corrente alternada no final do século XIX. As redes eram concebidas como um sistema centralizado de geração, transmissão e distribuição de eletricidade com controle da demanda. (DUONG, 2014).

No final do século XX, as redes elétricas que cresceram ao longo do tempo e se descentralizaram, sendo eventualmente interligadas por questões de economia e razões de confiabilidade eram com centenas de usinas de geração de energia interligadas por linhas de transmissão de alta capacidade que se ramificaram para fornecer energia até aos menores usuários industriais, comerciais e residenciais. Em países como o Brasil, as usinas hidrelétricas de grande porte ficaram cada vez mais distantes dos centros urbanos, exigindo maior complexidade de operação das linhas de transmissão. No restante dos países industrializados, a topologia da rede da década de 1960 foi resultado da implantação de usinas de geração fóssil (carvão, gás e óleo) descentralizadas, com um padrão de 1 GW até 3 GW, pois levaram em conta, além da distribuição e consumo, a logística do transporte dos combustíveis, que recentemente passaram a levar em conta fatores ambientais, como a proximidade de reservas de combustíveis fósseis (minas ou poços próprios, ou ainda perto de linhas de fornecimento de transporte ferroviário, rodoviário ou portuário). As localizações das barragens hidrelétricas ficavam em zonas de montanha ou formavam grandes lagos artificiais ao longo dos rios, influenciando o desenho da estrutura da malha de geração emergente. Já as usinas nucleares

levavam em conta a disponibilidade de água de resfriamento. O aumento do consumo de energia dos consumidores, residenciais, comerciais e industriais, levou a adoção da medição de energia individualizada pela característica própria de cada consumidor (AKWA, 2014). Outro fator incluído nas faturas de energia é a sazonalidade que aparece por causa dos períodos de chuva e os períodos seco, por conta das hidrelétricas. O mesmo aconteceu no Brasil só que a estrutura tarifária veio a partir da década de 80, com a Portaria Nº 33 do DNAEE (Departamento Nacional de Energia Elétrica), de 11 de fevereiro de 1988, incluindo a sazonalidade. Para um melhor controle da distribuição de energia e da demanda, a rede inteligente, (*smart grid*), começou a ser utilizada mais frequentemente a partir de 2005 (AMIN, 2005).

Há um grande número de definições para smart grid. Um elemento comum à maioria das definições é a aplicação de equipamentos eletrônicos que processam digitalmente o sinal coletado, e a respectiva comunicação, tornando o gerenciamento de informações e fluxo de dados um aspecto central para as redes smart grid. (FERNANDES, 2013). Vários recursos se baseiam no uso integrado da tecnologia digital junto às redes elétricas, cuja integração de novos fluxos de informação em sistemas e processos tanto de monitoramento quanto de proteção é uma das questões fundamentais no projeto de redes inteligentes (WONG, 2014). Esse sistema também vem sendo desenvolvido aqui no Brasil, mas ainda é pequena sua aplicação em função de investimentos de custo alto nas redes (ZHANG, 2014).

1.2. JUSTIFICATIVA

A tendência mundial de aumento na produção de painéis fotovoltaicos e aumento na geração dessa energia, leva os países como o Brasil a fortalecer a matriz com geração de energia fotovoltaica, que é praticamente infinita (AVRIL, 2012), pois o custo dos painéis fotovoltaicos vem diminuindo com o aumento da produção mundial e a melhoria da eficiência energética (ABINEE, 2012).

A ANEEL em 2012 publicou a REN 482/2012, para a inserção do sistema de compensação de energia elétrica brasileiro a modificação do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), criando uma possibilidade regulatória para os micro e mini geradores, para a conexão e contratação de fornecimento de energia elétrica. Incentivando a geração distribuída com a REN 517/2012. O custo para o consumidor brasileiro dos painéis fotovoltaicos e inversor ainda é alto. A crise de energia elétrica no Brasil por falta de chuvas, colocou os reservatórios das

principais usinas hidrelétricas em condições críticas para manter a geração de energia firme (SMITH, 2014).

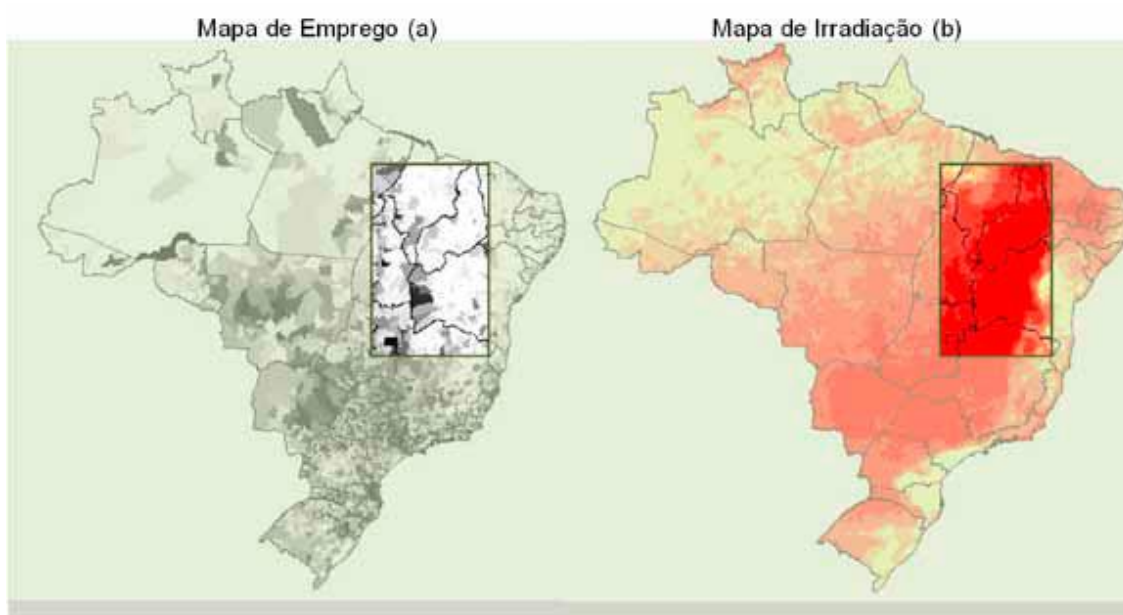
Um desafio que pode vir a diminuir em parte o custo nos investimentos na geração com painéis fotovoltaicos é reduzir custos de instalação ao ser ligado direto à rede (*tie-grid*) sem utilizar o sistema com armazenamento, controladores e inversores. Há períodos com alta insolação, variando de 4 a 6 horas, possibilitando a redução de geração de energia produzida pelas hidrelétricas e térmicas, gerando um excedente de energia no sistema como um todo (AMIN, 2009). O suprimento de energia no período noturno e situações que os sistemas fotovoltaicos não estiverem produzindo, é mantido por fontes como hidrelétricas e termelétricas, poupando o fornecimento durante o dia.

Outra vantagem dos painéis fotovoltaicos funcionando no sistema de geração distribuída, podem ser espalhados por todo território brasileiro, contribuindo para a diminuição da sobrecarga na transmissão de energia de modo estratégico, (RUGGERO, 2012). Para esse sistema ser atrativo, como em outros países, precisa de incentivo por parte do governo ou de empresas do setor. Como está previsto na Resolução Normativa 517/2012, para a micro geração de energia, ele pode se tornar uma boa opção para o governo incentivar os consumidores residenciais e comerciais de pequeno porte, como citado pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) em “Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira” (ABINEE, 2012). O ganho nesse tipo de incentivo se dá pela quantidade de consumidores que poderão vir a ser envolvidos, com uma grande quantidade descentralizada. Na somatória da economia de energia, esse ganho pode colaborar principalmente nos dias mais quentes do verão no Brasil, onde o horário de pico ocorre às 14:30 horas devido ao calor e a quantidade de aparelhos de ar condicionado. (ANEEL, 2014, 2015). No final de 2014 e início de 2015 as chuvas diminuíram, provocando com isso uma redução na capacidade de geração das hidrelétricas do SIN, (TIEPOLO, 2014). Está situação permite o crescimento do uso de painéis fotovoltaicos desde que exista incentivos por parte do governo e investidores, como as próprias geradoras de energia, empresas de transmissão de energia e até as distribuidoras. (FERREIRA, 2010)

No Brasil, as estimativas mais aceitas da capacidade instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos, até o final de 2011, era de aproximadamente 31,5 MW instalados no país, sendo 30 MWp em sistemas não conectados à rede, e 1,5 MW conectados, (YA'ACOB, 2014). A energia solar fotovoltaica ainda não está sendo considerada adequadamente ao planejamento energético (ABINEE, 2012). Outro ponto importante para o mercado brasileiro é em relação à geração de empregos em regiões brasileiras com maior potencial de geração solar, onde haverá

um maior volume de instalações, por serem em regiões com baixo nível de desenvolvimento e grande falta de empregos. Com capacitação adequada, as instalações fotovoltaicas podem empregar e qualificar a mão de obra destas regiões. Também o setor tem potencial para geração de empregos indiretos e resultantes da aceleração da renda nas regiões por conta dos salários pagos (ABINEE, 2012). Na Figura 2 os mapas (a) apresenta a relação entre a população empregada e a total: as regiões com cores mais escuras apresentam menores taxas de desemprego; (b) apresenta a irradiação total em plano cuja inclinação do painel fotovoltaico é igual à latitude local. A seleção mostra locais de maior coincidência entre baixo nível de desenvolvimento e potencial de geração de energia, destacando-se o leste de Tocantins, norte de Goiás, norte de Minas Gerais, leste da Bahia e Piauí (ABINEE, 2012).

Figura 2 - Mapa (a) Emprego; Mapa (b) Irradiação



Fonte: (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, IBGE.)

A busca na redução dos custos da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos tem sido uma forma de tornar essa energia limpa mais atrativa. (ZENG, 2014). O foco principal desse trabalho é na micro geração. É necessário incentivo por parte do governo, também na produção de painéis fotovoltaicos e equipamentos periféricos com incentivos para reduzir a taxa de impostos de importação de painéis onde China e Índia tem preços mais adequados. (THILO, 2012).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho foi a obtenção de uma nova proposta de equipamento de conexão à rede de energia e de transferir a potência ativa produzida pelo painel fotovoltaico para rede de energia convencional. Para atingir o objetivo principal a pesquisa foi dividida nos seguintes objetivos específicos:

I) Estudar e analisar este equipamento, conectado a um sistema isolado tendo como fonte CA alternador interligando ao painel fotovoltaico e alimentando um painel de carga consumidoras.

II) Buscar a redução do custo de instalação do sistema retirando-se os inversores de frequência padronizados e certificados e inserindo indutores em série com o painel fotovoltaico, para verificar a transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para a carga possibilitando viabilizar o investimento nesse tipo de geração de energia para a população em geral, atingindo os consumidores das classes B, C e D.

1.4 METODOLOGIA

A proposta do trabalho de conexão dos painéis fotovoltaicos direto à rede de energia é inédito e para tal desenvolvimento foram realizados diversos experimentos no Centro de Energias Renováveis do Campus da UNESP de Guaratinguetá.

A metodologia empregada para realização dos experimentos foi a quantitativa. O objetivo foi obter um elemento que, associado ao painel fotovoltaico e interligando o mesmo com a rede de energia elétrica convencional, transfira a maior quantidade de potência ativa do painel fotovoltaico para o sistema.

Para realização dos experimentos foram utilizados vários painéis fotovoltaicos policristalinos de características diferentes, associados em paralelo entre si e sempre em paralelo com a fonte de CA, constituídas de geradores CA (SAMPIERI, 2006). Os elementos são associados em série com o painel e o barramento de alimentação da carga comum para verificar a quantidade de potência transferida para a mesma. (CERVO, 2007).

Para os testes adotou-se um sistema isolado onde foram utilizados conjunto motor gerador, um com motor à gasolina, um com motor à diesel. Como carga consumidora foram utilizadas lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas e ventiladores.

Para o desenvolvimento dos experimentos dividiu-se os mesmos em três fases.

1.4.1 Primeira fase do experimento: painel fotovoltaico conectado direto ao gerador

Na primeira fase dos experimentos, levantou-se as características dos grupos geradores a gasolina e diesel utilizados nos experimentos. Na sequência verificou-se o casamento de impedâncias dos geradores com os indutores utilizados nos experimentos. Para a inserção de potência ativa gerada pelo painel fotovoltaico colocou-se o painel interconectado a uma fonte isolada constituída por grupo gerador, onde as variáveis são a potência ativa da carga e da irradiação solar. A potência do gerador CA foi mantida constante em valores constantes com o gerador acionado pelo motor elétrico assíncrono. Para os geradores a gasolina e diesel os valores são ajustados automaticamente, sendo a rotação constante e podendo fornecer a tensão em dois valores 115 ou 220V.

As medições realizadas foram a irradiação solar, a tensão e potência ativa no painel fotovoltaico interligado ao gerador e ao barramento de alimentação da carga. As mesmas medições foram realizadas no grupo motor gerador. Nesse caso tem-se duas variáveis que foram a irradiação solar, dependendo da quantidade de nuvens e teve influência na geração de energia no painel fotovoltaico; a potência ativa da carga que é controlável e as medições irão a transferência de potência do painel fotovoltaico para o gerador.

1.4.2 Segunda fase dos experimentos: painel fotovoltaico em série com indutores

Na segunda fase dos experimentos, continuando os experimentos da quantidade de potência ativa fornecida pelo painel fotovoltaico ao barramento, utilizou-se o indutor também em série com o painel. As variáveis foram a potência ativa da carga, onde a potência ativa gerada no painel fotovoltaico dependeu da irradiação solar, variando com a quantidade de nuvens, o valor da indutância dos indutores, associando-os em série.

As medições realizadas foram das tensões e potência ativa no painel fotovoltaico interligados ao barramento e ao gerador CA. As mesmas medições foram realizadas no gerador CA, como a medição de potência ativa, intensidade da corrente elétrica em cada elemento de geração e barramento.

1.4.3 Terceira fase do experimento: painel fotovoltaico policristalino Yingli YL 245P-29b com inversor certificado.

Na terceira fase dos experimentos realizados com um sistema constituído de painéis fotovoltaicos e um inversor de frequência interligados direto a rede (JIANHUI, 2014). Esse tipo de sistema foi permitido desde a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta Tese é constituída de cinco capítulos.

O primeiro capítulo é a introdução sobre sistemas fotovoltaicos conectados a rede e sua evolução.

O segundo capítulo apresenta as pesquisas e desenvolvimento na área de geração fotovoltaica conectada à rede de energia.

O terceiro capítulo relata a parte experimental apresentando o painel fotovoltaico não conectado à rede pelo sistema normatizado e os experimentos relativos ao desenvolvimento da tese como uma nova proposta de equipamento para conexão do painel fotovoltaico à rede.

O quarto capítulo apresenta as análises dos resultados provenientes dos experimentos do segundo capítulo.

O quinto capítulo apresenta as conclusões sobre os resultados da tese desenvolvida e as propostas de trabalhos futuros.

A última parte apresenta a bibliografia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

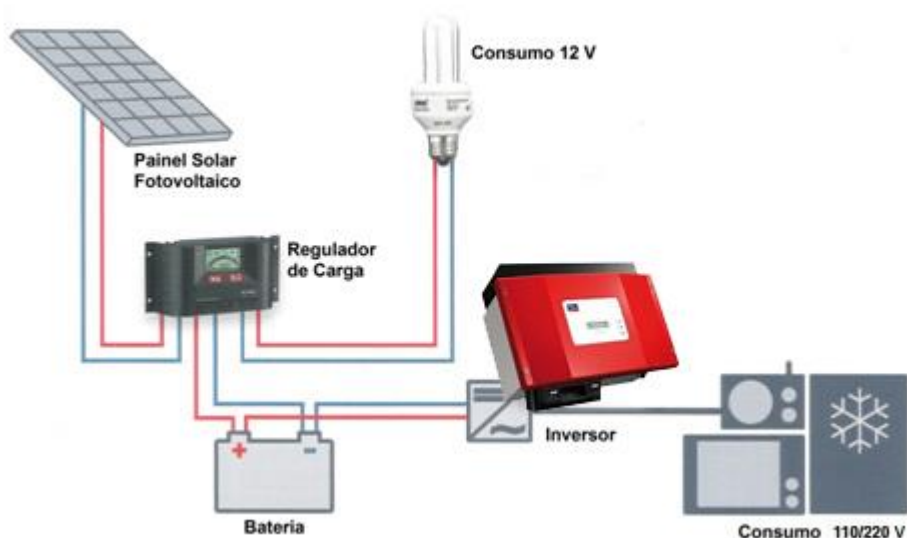
Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica apresentando o que está sendo utilizado, pesquisado e desenvolvido para conexão dos painéis fotovoltaicos à rede de energia.

Os sistemas utilizados para conexão dos painéis fotovoltaicos a rede de energia, autônomos e *on-grid*, para residências e pontos comerciais de pequeno e médio porte. Eles possuem sistemas eletrônicos de conversão e controle de carga, com inversores ligados direto à rede de energia ou sistema com baterias.

2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO

De acordo com WISSEM (2012) os sistemas autônomos podem ser utilizados em comunidades isoladas e em locais onde existe a rede de energia convencional. O sistema autônomo apresenta uma forma de otimizar a produção de energia nos painéis fotovoltaicos e seu armazenamento nas baterias. A Figura 3 é de sistema autônomo.

Figura 3 – Componentes dos sistemas fotovoltaicos autônomos



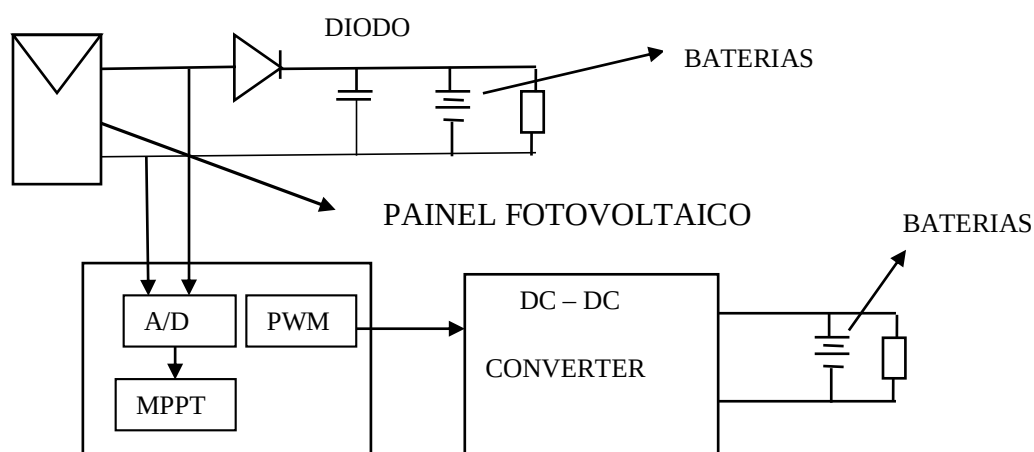
Fonte: (FACE NORTE AQUECEDORES)

O sistema autônomo é constituído de painéis fotovoltaicos, controladores de carga, bateria e inversores não conectados à rede. O sistema armazena energia nas baterias e é usada de acordo com a solicitação de consumo.

O sistema autônomo pode ser utilizado em conjunto com a rede de energia quando diminuir a carga da bateria por falta de sol, ou irradiação solar insuficiente.

Para otimizar os sistemas autônomos Ilango (2010), propôs uma topologia de inversor de fase única de alto desempenho para a operação autônoma de um sistema de energia solar fotovoltaica. A configuração é proposta na figura 4, composto de painéis fotovoltaicos, diodo, capacitor, baterias, conversor analógico digital (A/D), controlador do ponto de potência máxima (MPPT), modulador de largura de pulso (PWM), conversor DC-DC conversor de corrente contínua para corrente contínua.

Figura 4 – Apresenta o diagrama esquemático de uma configuração de sistema autônomo.



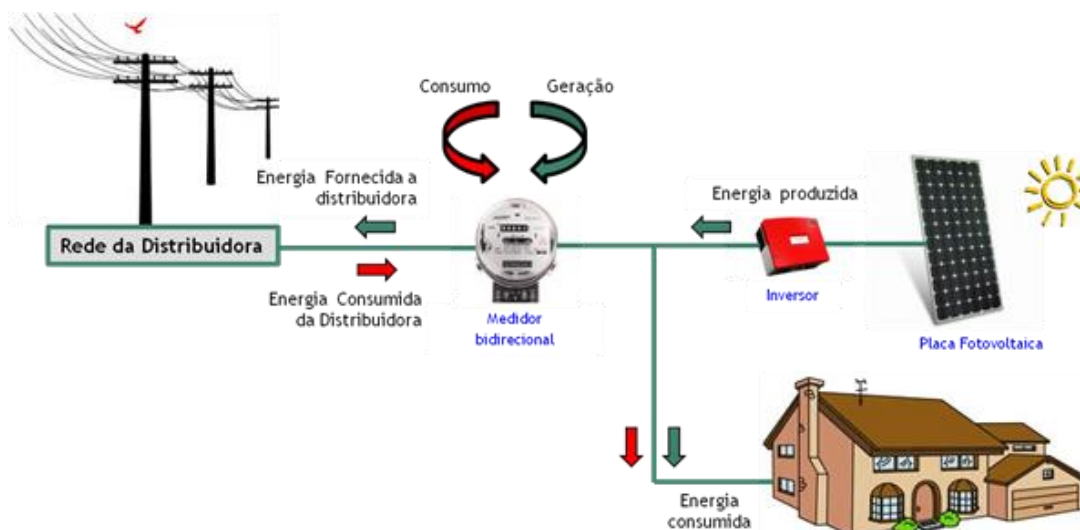
Fonte: (ILANGO 2010)

2.2. SISTEMAS CONECTADOS À REDE *ON-GRID*

Os sistemas *on-grid*, estão sendo mais utilizados com o emprego da medição bidirecional, autorizada a partir de 2012, pela ANEEL através da Resolução Normativa N° 482 de 2012, com manutenção mais simples e custo menor em relação aos sistemas autônomos.

Segundo GUPTA (2015), as perturbações de tensão e oscilações nos sistemas utilizando inversores durante seu período de operação podem forçar a saída do sincronismo com a rede de energia convencional sendo resolvido utilizando restaurador dinâmico de tensão (DVR) de controle para um sistema de painéis fotovoltaicos conectados com potência de até 200 kW, com rastreamento do ponto de potência máxima (MPPT). Na Figura 5 o sistema é para residências onde pode ser aplicado o sistema de restauração dinâmica de tensão, visando um melhor aproveitamento da geração fotovoltaica. O sistema é constituído de painéis fotovoltaicos, inversor de tensão CC para tensão CA, medidor bidirecional.

Figura 5 – Sistema de painéis fotovoltaicos com inversor conectado à rede.



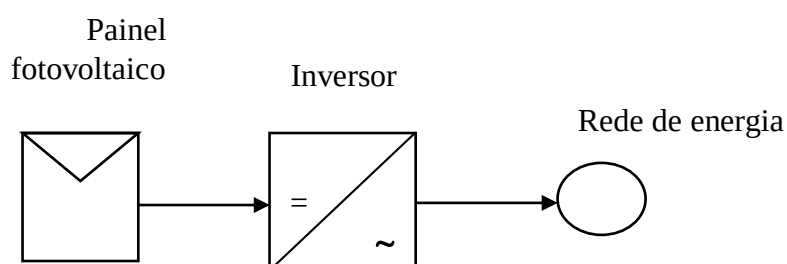
Fonte: (VIRIDIAN ECOTECNOLOGIA)

Esse sistema de conexão direta à rede com medição bidirecional fornece energia produzida no painel durante o período de aproximadamente seis horas diárias dependendo da região e com irradiação solar entre 900W/m^2 e 1000 W/m^2 . Com o medidor bidirecional é feita a compensação direta da energia consumida da concessionária de acordo com a energia fornecida pelo sistema. Segundo KADRI (2012), em situações quando ocorrer sombra e valores abaixo de 900W/m^2 o sistema busca a melhor posição do painel solar automaticamente evitando dessa forma a queda na produção de potência e a saída do sincronismo do inversor.

2.2.1. Topologias com único estágio inversor, não isolado

Sistema utilizado em residência com medidor bidirecional para compensação do consumo de energia da rede elétrica pela energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

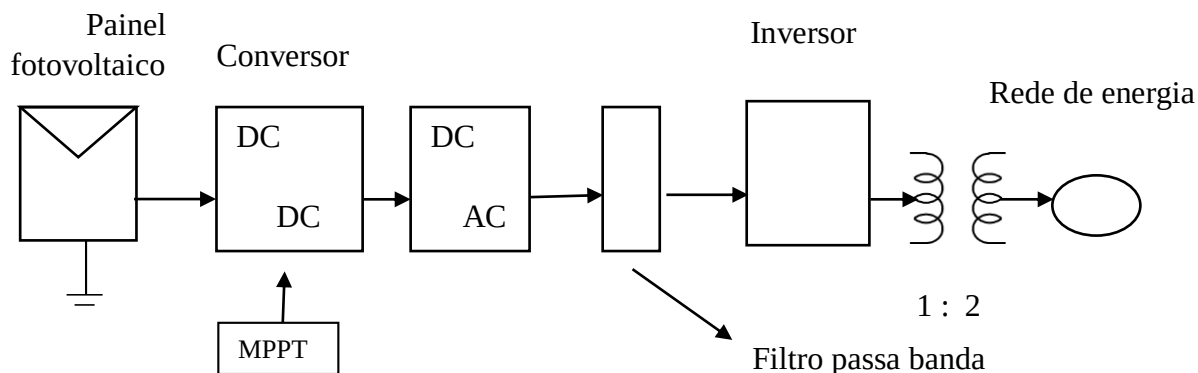
Figura 6 – Diagrama esquemático do sistema apresentado na Figura 5.



Fonte: (autor)

De acordo com MARREKCHI A. (2015), para melhorar a eficiência do sistema de pequeno porte para residências da Figura 6 é necessário modificar a configuração, colocando conversor CC/CC e um controle de MPPT, apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Diagrama esquemático de um sistema de conexão do painel solar à rede com mais eficiência.



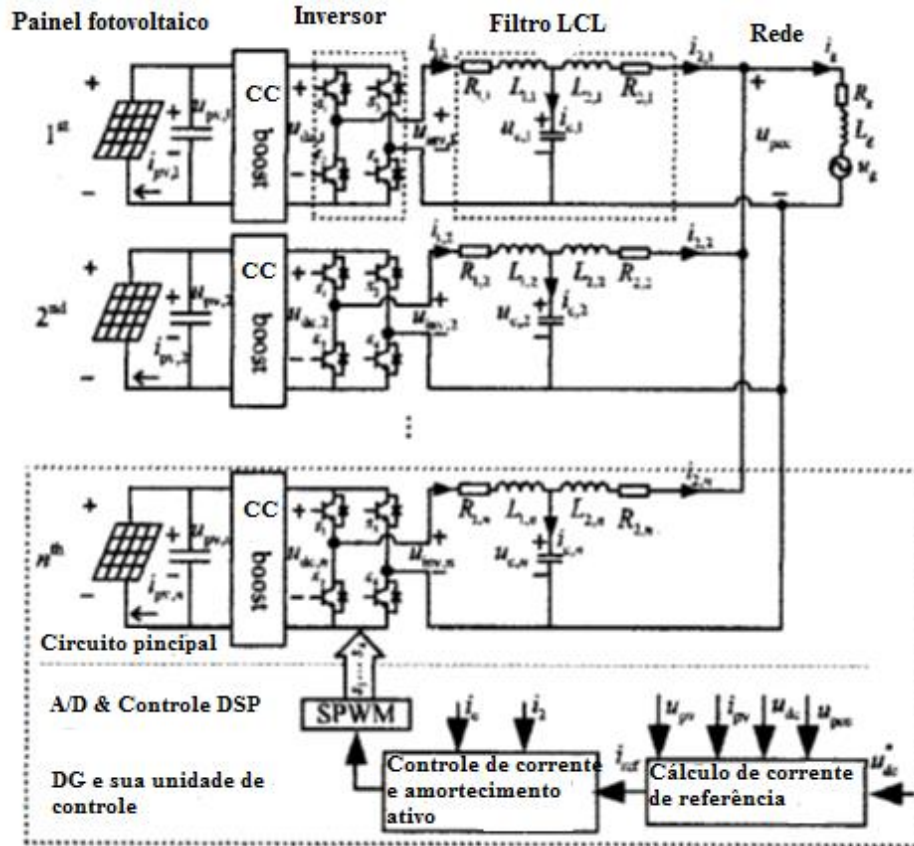
Fonte: (ADAPTADO DE MARREKCHI 2015)

2.2.2. Topologias com múltiplos estágios de conversão, não isolados

De acordo com XIAO (2015), a topologia de inversor multinível ajuda a melhorar a utilização de módulos fotovoltaicos conectados se as tensões das ligações CC forem controladas de forma independente. Assim, um esquema aplicando *MPPT* no controle para sistemas fotovoltaicos para tensões monofásicas e trifásicas tem sido aplicado para aumentar a eficiência global de sistemas fotovoltaicos. Para o sistema fotovoltaico conectado à rede trifásica, ocorrendo os descasamentos dos painéis fotovoltaicos, podem introduzir na energia fornecida, a interrupção na corrente injetada na rede. Uma compensação de modulação é introduzida com filtros *LCL* para equilibrar conforme 8.

O sistema da Figura 8 é composto de painel fotovoltaicos (*Photovoltaic panel*), inversores (*Inverter*), carga (*Grid*), controle analógico digital e processador de sinal digital (*A/D & DSP Control*), e controladores de corrente.

Figura 8 – Sistema de geração com painéis fotovoltaicos controlado e com filtros ressonantes.



Fonte: (ADAPTADO DE XIAO 2015)

Devido ao aumento da geração utilizando os painéis fotovoltaicos no sistema de geração os filtros LCL diminuem ruídos harmônicos das redes e devido as oscilações da geração dos painéis solares de acordo com a irradiação solar.

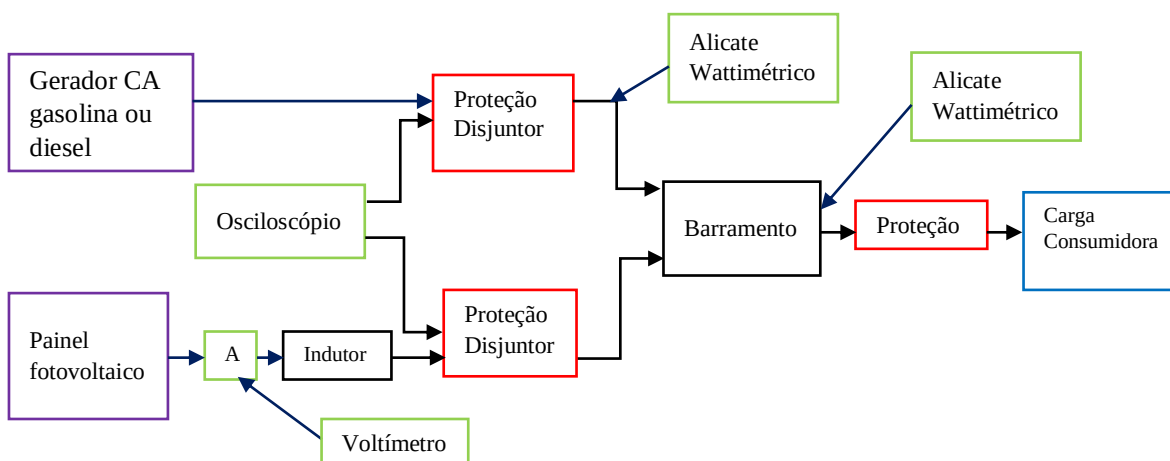
Sivakumar (2015), fez uma avaliação do painel fotovoltaico sob condições de carga não-lineares usando a instalação experimental de uma matriz fotovoltaico 100Wp ligada a um conversor DC-DC e um inversor que alimenta um kVA de carga não-linear. Sob as condições de carga não-lineares, tanto a simulação e experiência demonstraram que a técnica do ponto de potência máxima (MPPT) não chega a alcançar máxima potência, devido à presença de ondulações na corrente principal, podendo ocorrer uma redução da eficiência. Para esse experimento a corrente do painel foi feita em função da impedância de carga no algoritmo do ponto de potência (MPPT) para diminuir a variação de potência. A impedância de carga varia com a tensão de alimentação em condições não-lineares. O sistema foi simulado para cargas não lineares diferentes usando *MATLAB-Simulink*, verificou-se a melhora na eficiência devido a utilização do algoritmo de rastreamento do ponto de potência máxima.

2.2.3 Conclusão

Os sistemas apresentados com conexão *on-grid* são o estado da arte em relação à pesquisa e desenvolvimento. Estes buscam atingir a maior eficiência na produção da geração de energia com painéis fotovoltaicos. Com relação a diminuição dos ruídos gerados pelas cargas que colocam os inversores foram de operação momentânea e a oscilação da geração fotovoltaico em função da variação da irradiação solar. Esses sistemas apresentados ainda tem um alto custo de aquisição, instalação e manutenção.

O equipamento apresentado nessa tese foi desenvolvido para substituir os inversores, que são equipamentos eletrônicos de alto custo. E em condições não alterar sua operação em função de oscilações na carga, diagrama esquemático apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Diagrama esquemático do equipamento desenvolvido na tese.



Fonte: (autor)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MEDIDORES E EQUIPAMENTOS

Para a realizações das medições nos experimentos foram utilizados alicate amperimétrico, alicate wattimétrico, osciloscópio, medidor de intensidade solar, multímetro analógico e quadro de cargas composto de lâmpadas fluorescentes compactas e incandescentes.

3.1.1 Alicate amperimétrico H811-020

A Figura 10, mostra o amperímetro alicate Homis, que mede a intensidade de corrente e tensão em CC e CA. Nos experimentos realizados ele foi utilizado para medição da intensidade de corrente contínua fornecida pelo painel fotovoltaico para a carga e também a medição da tensão CA (*TRUE RMS*) de saída do gerador CA.

Figura 10 – Alicate amperimétrico H811-020



Fonte: (FABRICANTE HOMIS)

A Tabela 1 mostra as características do alicate amperimétrico da Figura 3.

Tabela 1- Limites de entrada alicate Homis - H811-020

Função	Valor máximo de entrada
Corrente – CA, CC	1000 A
Tensão – CA, CC	600 V

3.1.2 Alicate amperimétrico ET – 3200 A

A Figura 11, mostra o alicate amperimétrico ET 3200 A, que mede a tensão CC e CA (*TRUE RMS*) e a intensidade de corrente CA. Nos experimentos realizados ele foi utilizado para medição da intensidade de corrente CA fornecida pelo gerador, bem como as tensões de saída do gerador CA e do painel fotovoltaico.

Figura 11 – Alicate amperimétrico ET 3200A



Fonte: (FABRICANTE MINIPA)

A Tabela 2 mostra as características do alicate amprimétrico da Figura 11.

Tabela 2 - Limites de entrada alicate Minipa - ET 3200A

Função	Valor máximo de entrada	Precisão
Intensidade de corrente CA	20 A, 200 A, 1000 A,	+/- 6%
Tensão CA (<i>TRUE RMS</i>)	200 V, 750 V	+/- 1,2%
Tensão CC	200 mV, 20 V, 200 V, 1000 V	+/- 0,5%

3.1.3 Alicate Wattímetro Digital ET 4091

A Figura 12, mostra o alicate wattimétrico Minipa, que mede a tensão CA, a intensidade de corrente CA e a potência ativa. Nos experimentos realizados ele foi utilizado para medição da intensidade de corrente CA, tensão CA (*TRUE RMS*) e a potência ativa fornecida (saída) pelo gerador, e no barramento de interligação do gerador CA com o painel fotovoltaico.

Figura 12 – Alicate wattimétrico - ET 4091



Fonte: (FABRICANTE MINIPA)

A Tabela 3 mostra as características do alicate wattimétrico do fabricante Minipa. Limites de entrada alicate wattimétrico Minipa.

Tabela 3 - Limites de entrada alicate Minipa - ET 4091

Função	Valor máximo de entrada	Precisão
Intensidade de corrente CA	40 A, 400 A, 1000 A,	+/- 2,0 %
Tensão CA (<i>TRUE RMS</i>)	600 V	+/- 0,5 %
Potência ativa W	600 kW	+/- 3,5 %

3.1.4 Osciloscópio: Tektronix TDS – 1001B, 40 MHz, 500MS/s

A Figura 13, mostra o osciloscópio Tektronix, que mede a tensão CA, a tensão CC, a frequência da tensão CA. Além de gravar as formas de onda de tensão CA do gerador e CC do painel fotovoltaico. Nos experimentos realizados o osciloscópio foi utilizado para medição da tensão CA de saída do gerador CA e tensão CC de saída do painel fotovoltaico, bem como para gravar as formas de onda das respectivas tensões CA e CC e a medição da frequência da tensão CA de saída do gerador CA.

Figura 13 – Osciloscópio TDS – 1001B, 40 MHz, 500MS/s.



Fonte: (FABRICANTE TEKTRONIX)

A Tabela 4 mostra as características do osciloscópio da Figura 13.

Tabela 4 - Características do Osciloscópio TDS – 1001B, 40 MHz, 500Ms/s

Função	ConFiguração	Faixa de posição
Volts/div (CA, CC)	2mV a 200mV	+/- 1,8 V
Volts/div (CA, CC)	200 mV a 5 V	+/- 45 V
Base de tempo (horizontal)	5n/s z 10 n/s	-4 div x s/div a 20ms
	25n/s a 100n/s	-4div x s/div a 50ms
	250µs/div a 10s/div	-4div x s/div a 50s
	2,5 s/div a 50 s/div	-4div x s/div a 250s

A ponta de prova utilizada para medições com esse osciloscópio tem atenuação de x10.

Os valores das linhas 1 e 2 da Tabela 4 são para ponta de prova ajustada a atenuação em x1.

3.1.5 Medidor de energia solar Instrutherm MES – 100

A Figura 14, mostra o medidor de energia da Instrutherm, que mede a quantidade de irradiação solar. Nos experimentos realizados ele foi utilizado para medição da irradiação solar incidente sobre os painéis fotovoltaicos utilizados nos experimentos.

Figura 14- Medidor de energia solar Instrutherm MES – 100.



Fonte: (FABRICANTE INSTRUTHERM)

A Tabela 5 mostra as características do medidor da Figura 14.

Tabela 5 - Limites do medidor de energia solar - MES - 100

Escala de medição	2000 W/m ² , 634 BTU/ (ft ² xh)
Resolução	0,1 W/m ² , 0,1 Btu/ (ft ² xh)
Precisão	+/- 0,1 W/m ² , 0,1 Btu/ (ft ² xh)
Erro por temperatura adicional	±0,38W/m ² /° [±0,12Btu/(ft ² xh)/°]

3.1.6 Multímetro analógico Icel IK – 105

A Figura 15, mostra o multímetro analógico ICEL, que mede tensão CA, CC e a intensidade de corrente CC. Nos experimentos realizados ele foi utilizado para medição da tensão CA e CC de saída do gerador CA e do painel fotovoltaico respectivamente e também para medição da intensidade de corrente contínua de saída do painel fotovoltaico.

Figura 15 – Multímetro analógico IK 105



Fonte: (FABRICANTE ICEL)

A Tabela 6 mostra as características do medidor da Figura 15.

Tabela 6 - Limites de entrada do multímetro analógico – IK 105

Função	Valor máximo de entrada	Precisão
Intensidade de corrente CC	0,25 A, 0,5 A, 10A	+/- 5,0 %
Tensão CC	2,5 V, 10V, 50V, 250V, 500V	+/- 5,0 %
Tensão CA	10V, 50V, 250V, 500V	+/- 5,0 %

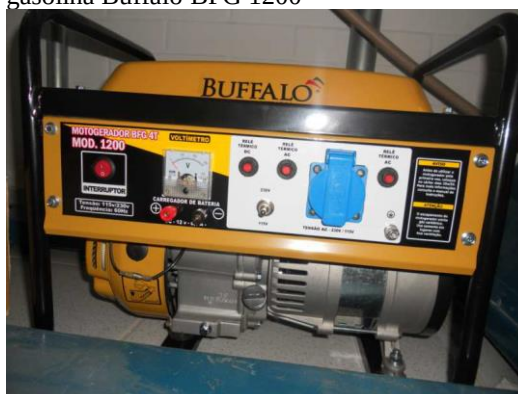
3.2 EQUIPAMENTOS PARA EMULAÇÃO DA REDE DE ENERGIA CONVENCIONAL

Para a emulação da rede de energia convencional para realização dos experimentos, utilizou-se dois conjuntos com motor gerador, um a gasolina (Buffalo) e outro a diesel (Toyama) cujas potências são muito maiores que as produzidas pelos painéis fotovoltaicos e as cargas conectadas aos mesmos.

3.2.1 Grupo motor gerador a gasolina Buffalo BFG 1200

A Figura 16, mostra o gerador a gasolina que emula a rede de energia convencional para a realização de um dos experimentos.

Figura 16 – Grupo motor gerador a gasolina Buffalo BFG 1200



Fonte: (autor)

A Tabela 7 mostra as características do grupo motor gerador BF6 1200 da Figura 16.

Tabela 7 - Características do gerador a gasolina Buffalo BF6 1200

Motor	Buffalo 2.8 CV, 4 tempos gasolina
Potência máxima (kW)	1,1
Potência nominal (kW) regime contínuo	1,0
Tensão de saída (V)	115 / 220
Frequência (Hz)	60
Controle de tensão	Capacitor
Relé (A)	5
Carregador de bateria	12V / 8,3A
Capacidade do tanque (litros)	5,5
Autonomia (50% carga) (h)	6
Peso (kg)	24,5
Fases	monofásico
Ruído (7m, dbA)	67
Dimensões C x L x A (mm)	470 x 380 x 415

3.2.2 Grupo motor gerador diesel – Toyama T6000 CYE

A Figura 17 mostra grupo motor gerador diesel que simula as características da rede de energia para a realização de um dos experimentos.

Figura 17 – Grupo motor gerador diesel T6000 CYE



Fonte: (autor)

A Tabela 8 mostra as características do Grupo motor gerador diesel T6000 CYE da Figura 17.

Tabela 8 - Características do grupo motor gerador diesel – T6000 CYE

DESCRIÇÃO	Modelo
Tipo	Monocilindrico, 4 Tempos, refrigerado a ar
Cilindrada (cc)	406
Potência máx. / Rotação (HP/rpm)	10,0 / 3.600
Sistema de partida	Manual retrátil
Potência máxima CA (W)	5.500
Potência Nominal (W)	5.000
Corrente Nominal (A)	39,3 / 22,7
Tensão de saída (V)	110 / 220
Tomadas	2 x 110V / 1 x 220 V
Carregador de bateria CC	Não
Fator de potência	Cos 1
Frequência (Hz)	60
Regulador de tensão	Capacitor
Capacidade do tanque (l)	5.5
Autonomia na pot. nominal (h)	2.6
Nível ruído (7m de distância)(dB)	85
Indicador de nível de combustível	Não
Protetor de sobrecarga	Sim
Alerta de nível de óleo	Não
Dimensões (L x C x A) (mm)	750 x 540 x 635
Peso bruto (kg)	102

3.2.3. Painele fotovoltaico policristalino Yingli YL 245P-29b

A Figura 18, mostra o painele fotovoltaico utilizado para a realização dos experimentos.

Figura 18 - Painele fotovoltaico Yingli YL 245P-29b



Fonte: (autor)

A Tabela 9 mostra as características do painel fotovoltaico da Figura 18.

Tabela 9 - Características do painel fotovoltaico Yingli YL 245P-29b

Potência nominal W	245,0
Tensão nominal V	29,4
Corrente nominal A	8,28
Tensão de circuito aberto V	37,5
Corrente de curto circuito A	8,83

3.2.4. Painel fotovoltaico Astro Solar 240W/30V CC

A Figura 19, mostra o painel fotovoltaico utilizado para a realização dos experimentos.

Figura 19 - Painel fotovoltaico Astro Solar 240W/30V CC



Fonte: (autor)

A Tabela 10 mostra as características do painel fotovoltaico Astro Solar.

Tabela 10 - Características do painel fotovoltaico Astro Solar 240W/31,08V CC

Potência nominal W	247
Tensão nominal V	31,08
Corrente nominal A	7,93
Tensão de circuito aberto V	37,20
Corrente de curto circuito A	8,45

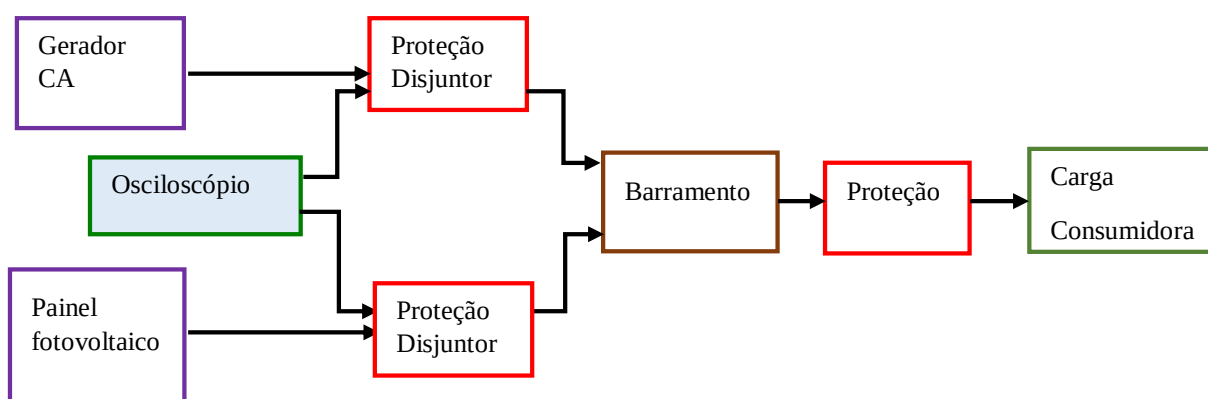
3.3. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DAS CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NAS MONTAGENS DOS EXPERIMENTOS:

Nos itens 3.3.1 a 3.3.2 são apresentados os diagramas de blocos dos dispositivos usados nos experimentos.

3.3.1 – Diagrama blocos utilizado no experimento do grupo motor gerador a gasolina Buffalo BFG 1200.

A Figura 20 mostra a ligação do gerador em paralelo com o painel fotovoltaico. O painel fotovoltaico está ligado em série com o indutor. O indutor está conectado ao mesmo barramento do gerador a gasolina CA. O barramento está conectado à carga através de um sistema de proteção com disjuntores.

Figura 20 – Diagrama esquemático do grupo motor gerador a gasolina e painel fotovoltaico

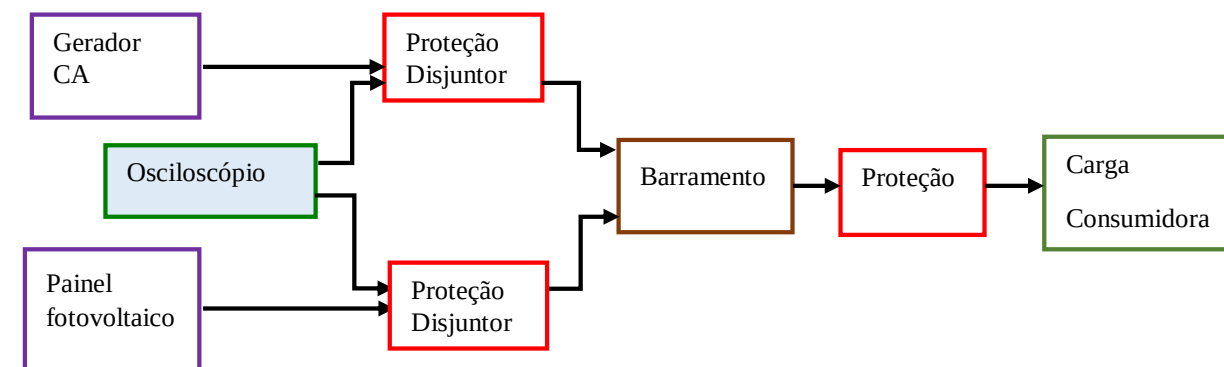


Fonte: (autor)

3.3.2 – Diagrama esquemático utilizado com a representação do experimento com o grupo motor gerador diesel T6000 CYE.

A Figura 21 mostra a ligação do grupo motor gerador em paralelo com o painel fotovoltaico. O painel fotovoltaico está ligado em série com o indutor. O indutor está conectado ao mesmo barramento do gerador diesel CA com potência nominal nove vezes maior que a carga. O barramento está conectado à carga através de um sistema de proteção com disjuntores.

Figura 21 – Diagrama esquemático do grupo motor gerador diesel de painel fotovoltaico



Fonte: (autor)

3.4- EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O GRUPO MOTOR GERADOR BF6G 1200 BUFFALO.

3.4.1 Experimento 1: Levantamento da curva característica do grupo motor gerador gasolina Buffalo 1 kW/220V/115V.

Para obter a máxima transferência de potência do painel realizou-se o experimento para obter a impedância do gerador e com esse resultado ajustar o indutor colocado em série com o painel, visando obtendo um melhor casamento de impedância.

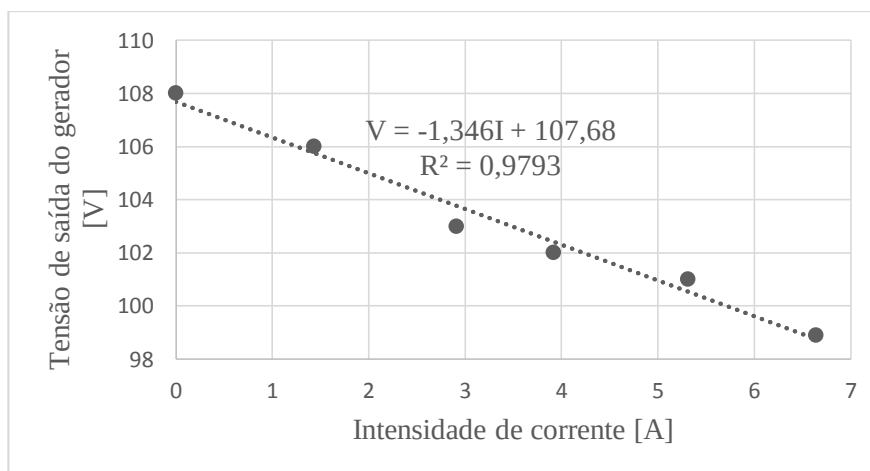
A Tabela 11 apresenta o resultado do experimento realizado com o gerador a gasolina para levantamento das características com carga e obtenção de sua impedância interna média.

Tabela 11 – Valores medidos do grupo motor gerador gasolina Buffalo 1 kW/220V/115V.

V [V]	I [A]	f [Hz]	Potência [W]	Z _{interna} [Ω]
108	0	55,7	0	
101	5,31	54,64	800	1,32
98,9	6,64	53,25	1000	1,37
102	3,92	54,53	600	1,53
103	2,91	55	400	1,72
106	1,43	55,1	200	1,40
102,18	4,042	54,70	Média	1,47

A Figura 22 mostra a curva característica da tensão (V) x corrente (I) do grupo motor gerador a gasolina.

Figura 22 - Curva V x I do gerador gasolina Buffalo 1 kW/220V/115V.



Fonte: (autor)

Com o experimento realizado com as cargas consumidoras de 200W até 1000W, obteve-se um valor médio para a impedância do gerador de $1,47 \Omega$, conforme Tabela 11. Da Figura 22, nota-se que a equação do gerador tem um comportamento de 1ª ordem conforme a equação 1.

$$V = -1,3461I + 107,68. \quad (1)$$

Do valor médio da impedância interna do gerador obteve-se uma reatância indutiva, determinada pela equação 2:

$$X_L = 2 \pi f L \quad (2)$$

$$Z_{\text{interna}} = 1,47 \Omega = X_L, f = 60 \text{ Hz} \Rightarrow X_L = 2 \pi f L \Rightarrow L = 1,47 / 2 \pi 60 \Rightarrow L = 3,9 \text{ mH}.$$

3.4.2 Experimento 2: Levantamento da curva característica do gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V.

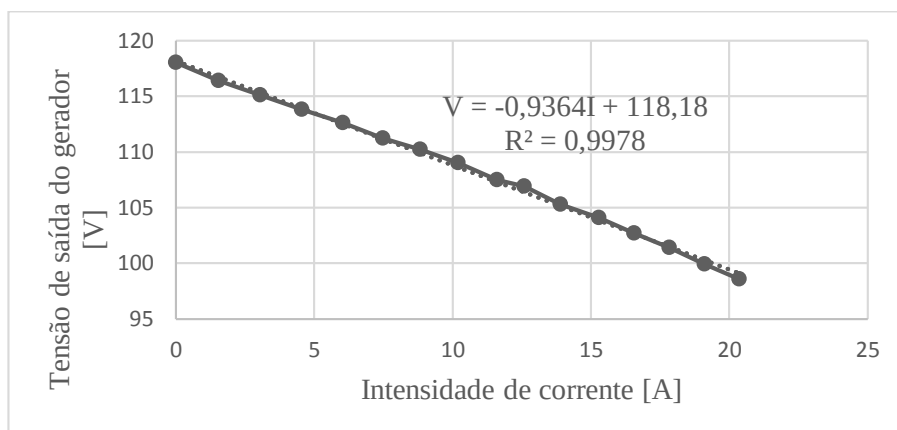
A Tabela 12 apresenta o resultado do experimento realizado com o grupo motor gerador diesel para levantamento das características com carga e obtenção da impedância interna média.

Tabela 12 – Valores medidos no experimento do grupo motor gerador diesel T6000 CYE.

V [V]	I [A]	f [Hz]	Potência[W]	Z _{interna} [Ω]
118,02	0	59,63	0	
116,4	1,55	59,88	200	1,0452
115,1	3,05	59,17	400	0,9574
113,8	4,55	59,49	600	0,9275
112,6	6,03	59,24	800	0,8988
111,2	7,47	59,1	1000	0,9130
110,2	8,83	58,96	1200	0,8856
109	10,2	58,88	1400	0,8843
107,5	11,6	58,86	1600	0,9069
106,9	12,58	58,84	1800	0,8839
105,3	13,9	58,74	2000	0,9151
104,1	15,28	59,12	2200	0,9110
102,7	16,57	58,91	2400	0,9246
101,4	17,83	59,2	2600	0,8413
99,9	19,11	59,1	2800	0,9482
98,6	20,35	59,2	3000	0,9543
107,6467	10,55625	59,145	Média	0,9198

A Figura 23 mostra a curva do gerador diesel.

Figura 23 – Curva característica Gerador diesel T6000 CYE.



Fonte: (autor)

Com o experimento realizado variando a carga de 200W até 3000W, obteve-se um valor médio para a impedância do gerador de $0,9198 \Omega$, Tabela 12. Da Figura 23, nota-se que a característica do gerador tem um comportamento de 1ª ordem conforme a equação 3, obtida no Excell.

$$V = - 0,9364I + 118,1 \quad (3)$$

Do valor médio da impedância interna do gerador, com a frequência 60 Hz e reatância indutiva de $0,9198 \Omega$ obteve-se a indutância, pela equação 2 e $Z_{\text{interna media}} = X_L$,

$$L = X_L / 2 \pi f \Rightarrow L = 15,30 / 2 \pi 60 \Rightarrow L = 2,439 \text{ mH}. \quad (2)$$

3.4.3: Experimento 3: Verificação do casamento de impedâncias do grupo motor gerador a gasolina Buffalo 1kW/220V/115V.

A Tabela 13 apresenta o resultado obtido no experimento de casamento de impedâncias do gerador com o painel fotovoltaico em série com o indutor.

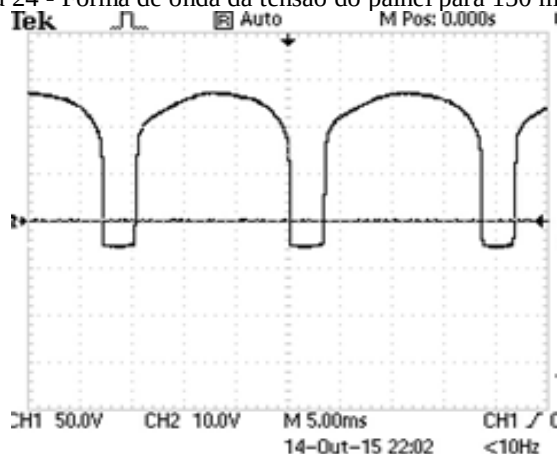
Tabela 13 – Resultados dos experimentos realizados com o grupo motor gerador à gasolina Buffalo e painel fotovoltaico Yingli YL 245P-29b

Indutor	barra	gerador	Ensaio variando a indutância					
mH	%	%	Gerador	Pbarra	Ig	Icarga	Vp	Pp
50	-7,84404	-7,2735	470,2	436	7,45	4,74	15,1	121,10
100	-9,02238	-8,27571	462,8	424,5	5,8	4,75	16,2	126,36
150	4,604167	4,826381	457,9	480	5,34	4,7	17,2	135,02
200	-6,28845	-5,9164	466,5	438,9	5,17	4,74	18,4	145,54
250	-4,91291	-4,68284	469,8	447,8	5,12	4,79	20,1	160,8
300	-2,48613	-2,42582	461,7	450,5	5,13	4,4	21,4	174,19
350	-3,18937	-3,09079	465,9	451,5	4,98	4,83	22,1	182,32
400	-1,91799	-1,88189	462,3	453,6	4,95	4,75	22,5	180
450	-4,59924	-4,39701	468,5	447,9	4,91	4,78	22,8	178,98
500	-3,2294	-3,12837	463,5	449	4,89	4,77	23,1	177,87

Da Tabela 13, percebe-se que mantendo a carga constante em 680 W, $I = 4,75$ A, e variando a indutância em série com o painel fotovoltaico, até 500 mH variando de 50 mH em 50 mH. Para 150 mH, a potência ativa produzida no painel fotovoltaico foi transferida para carga somando com a potência do gerador.

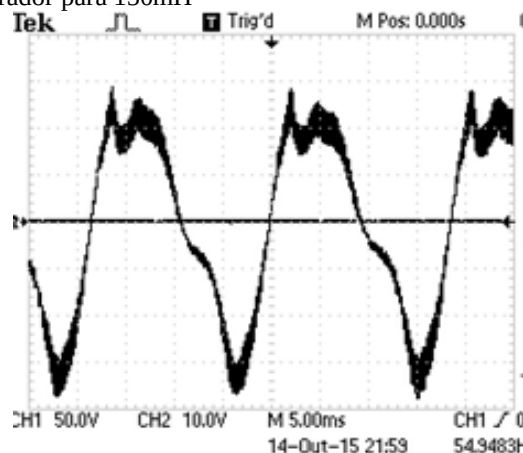
As Figuras 24 e 25 apresentam as formas de onda do painel e do gerador a gasolina para indutância de 150 mH.

Figura 24 - Forma de onda da tensão do painel para 150 mH.



Fonte: (autor)

Figura 25 – Forma da tensão do gerador para 150mH



Fonte: (autor)

Das formas de onda apresentadas nas Figuras 24 e 25 não houve o casamento de impedância esperado.

3.4.4 Experimento 4: Verificação do casamento de impedâncias do grupo motor gerador diesel Toyama 5,5kW/220V/115V.

A Tabela 14 apresenta o experimento de casamento de impedâncias do gerador diesel com o painel fotovoltaico em série com o indutor.

Tabela 14 – Resultados dos experimentos realizados com o grupo motor gerador diesel T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b.

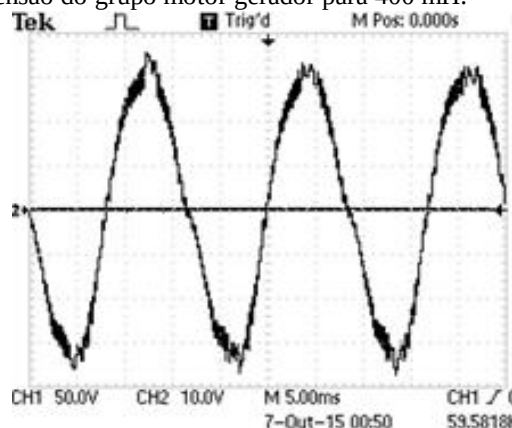
Indutor	Barra	Gerador	Ensaio variando a indutância Irradiação solar média = 962,64 W/m ²						
mH	%	%	Gerador (W)	Pbarra (W)	I _g (A)	I _{carga} (A)	I _p (A)	V _p (V)	P _p (W)
50	-10,2712	-9,31446	536,8	486,8	8,23	4,73	9,41	12,4	116,68
100	-4,7619	-4,54545	536,8	512,4	6,09	4,78	8,74	13,2	115,36
150	-2,09205	-2,04918	536,8	525,8	5,49	4,79	8,73	14,4	125,71
200	-1,93695	-1,90015	536,8	526,6	5,3	4,82	9	15,2	125,15
250	-0,65629	-0,65201	536,8	533,3	5,6	4,84	8,88	16,4	125,5
300	0,371195	0,372578	536,8	538,8	5,8	4,77	7,31	17,25	126,09
350	-0,1119	-0,11177	536,8	536,2	5	4,81	9	18,1	162,9
400	0,185943	0,186289	536,8	537,8	4,85	4,92	9,08	19,5	177,06
450	0,389683	0,391207	536,8	538,9	4,93	4,88	9,08	20,8	188,86
500	0,666173	0,670641	536,8	540,4	4,93	4,89	9,11	21,8	198,59

Da Tabela 14, ao manter a carga constante em 680 W, $I = 4,85$ A, e variando a indutância em série com o painel fotovoltaico, a partir de 50 mH até 500 mH, obteve-se quatro resultados

com valores positivos, onde a potência ativa produzida no painel fotovoltaico foi transferida para carga somando com a potência ativa do gerador, indicando dessa forma para esses valores de impedância estão próximos do valor ideal para que haja a transferência de potência. Nota-se ainda que aumentou a transferência de potência ativa produzida no painel para carga, atingindo uma percentagem de 50% em relação aos quatro valores destacados na Tabela 14.

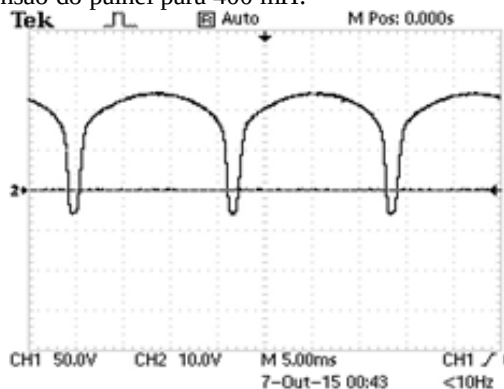
As Figuras 26 e 27 mostram as formas de onda do gerador e do painel fotovoltaico respectivamente para a indutância de 400 mH.

Figura 26 – Forma de onda da tensão do grupo motor gerador para 400 mH.



Fonte: (autor)

Figura 27 – Forma de onda da tensão do painel para 400 mH.



Fonte: (autor)

As formas de onda apresentadas nas Figuras 26 e 27 em relação as formas de onda das Figuras 66 e 68, do experimento realizado com indutor de 200mH em série com o painel estão bem semelhantes. Essa comparação é devido a utilização de uma carga variável para o indutor de 200 mH e os resultados bem próximos, em valores percentuais, na transferência de potência ativa do painel para a carga, apesar do valor da indutância para a carga fixa em 684 W ser 400 mH. O que mostra a variação da indutância em função da carga que é exigida do gerador e do painel fotovoltaico.

3.4.5 Experimento 5: Painele fotovoltaico YL 245P-29b, grupo motor gerador a gasolina Buffalo 1kW/220V/115V conectado diretamente ao barramento.

Neste experimento utilizou-se o gerador a gasolina ligado em paralelo direto com o painel fotovoltaico e alimentando uma carga.

O ensaio foi realizado com o painel fotovoltaico na parte externa do Centro de Energia Renováveis e foram realizadas medições de tensão, corrente e potência ativa do painel fotovoltaico, gerador e no barramento de interligação na entrada da carga. Ligados de acordo com o diagrama de blocos da Figura 30, com indutor.

No experimento para regular a tensão do gerador e do painel foi utilizado um variador de tensão ajustando a tensão de saída do gerador BFG 1200 por volta de 25V CA.

3.4.6 Experimento 6: Painele fotovoltaico YL 245P-29b, gerador diesel Toyama 5,5kW/220V/110V conectado diretamente ao barramento.

Neste experimento utilizou-se o gerador T6000 CYE ligado em paralelo direto com o painel fotovoltaico e alimentando uma carga. O ensaio foi realizado com o painel fotovoltaico na parte externa do laboratório de energia renováveis e foram realizadas medições de tensão, corrente e potência do painel fotovoltaico, gerador e no barramento de interligação na entrada da carga ligados de acordo com o diagrama de blocos da Figura 30.

3.4.7 Experimento 7: Painele fotovoltaico YL 245P-29b, gerador a gasolina Buffalo 1kW 220V/115V, com indutor apresentados nas Figuras 28 e 29.

O experimento busca a melhor faixa de transferência de potência ativa para a carga, interligando as duas fontes de energia em paralelo e alimentando uma carga utilizando um indutor em série com o painel fotovoltaico.

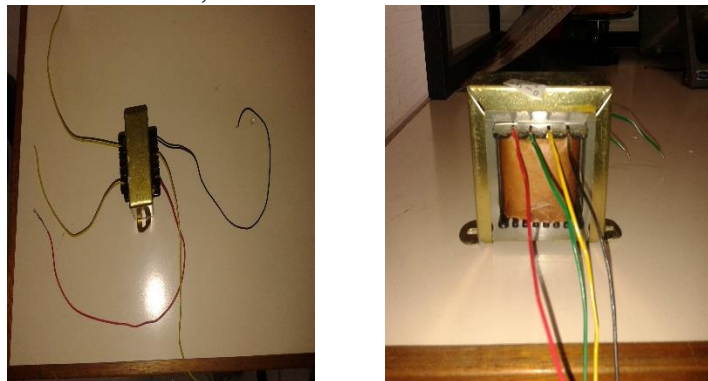
As Figuras 28 e 29 mostram alguns indutores a serem utilizados nos experimentos, na Figura 28 o autotransformador 300VA/220V/127V será um dos indutores utilizados sendo utilizado o enrolamento de maior tensão 220V. Na Figura 29 o indutor utilizado é transformador 220V/127V/ 9V – 1,5 A e 220V/127V/ 15 – 3 A.

Figura 28- Indutores 300VA/220V/127V



Fonte: (autor)

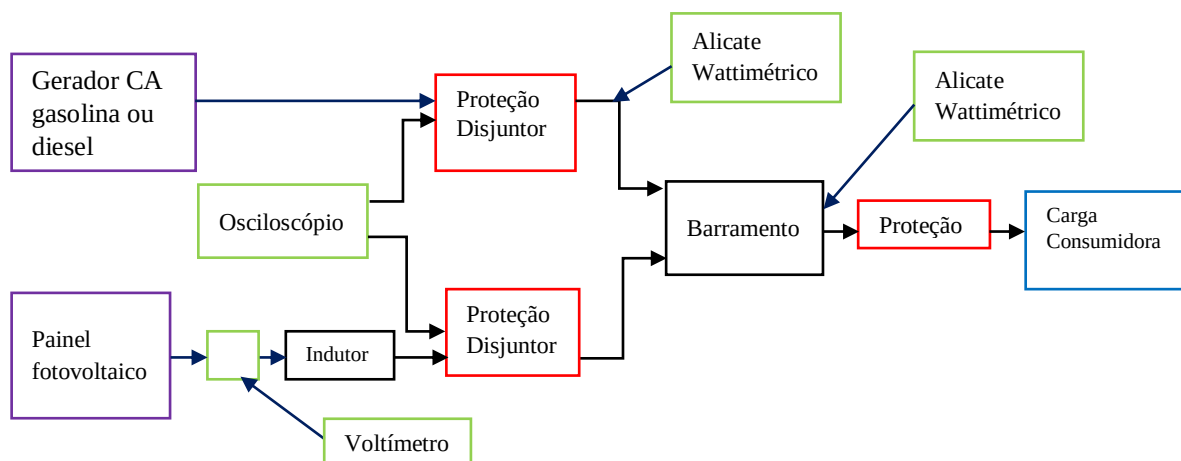
Figura 29 – Transformador 220V/127V/1,5A Transformador 220V/127V/3A



Fonte: (autor)

A Figura 30 mostra o diagrama esquemático de conexões do gerador, painel fotovoltaico, barramento, painel de cargas e proteções.

Figura 30– Diagrama esquemático



Fonte: (autor)

Os experimentos foram realizados com indutores de vários valores. O objetivo foi verificar quais as melhores faixas de transferência de potência ativa de modo a escolher um valor de indutância inicial, para evitar que o painel fotovoltaico seja uma carga consumidora.

As medições realizadas nesse ensaio usaram com cinco e seis indutores. Alimentou-se o primário de um transformador de 220V/127V/9V – 1,5 A, com o secundário em aberto, para usar o valor da alta indutância que representou esse equipamento conectado mostrado nas Tabelas 19 e 20.

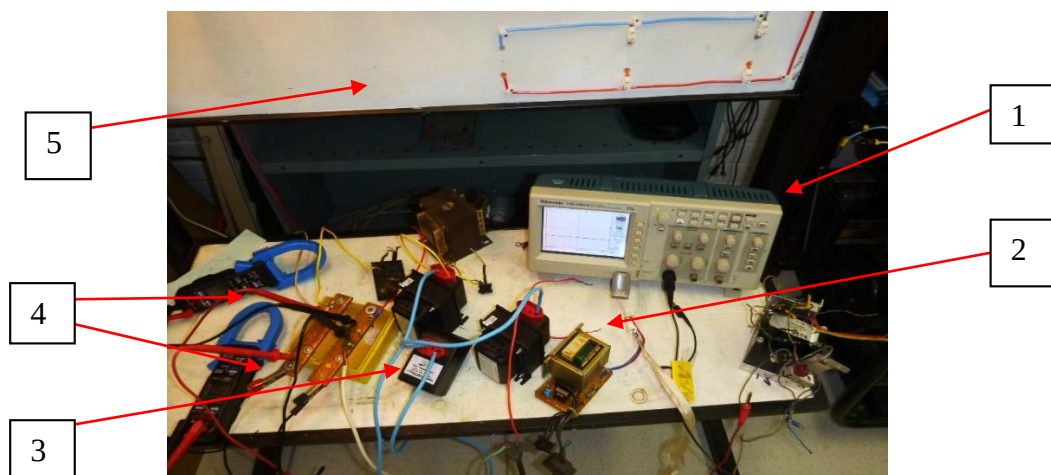
3.4.8 Experimento 8: Painel fotovoltaico YL 245P-29b, gerador a gasolina Buffalo 1kW /220V/127V, sete indutores.

No experimento 8 foram utilizados gerador a gasolina Buffalo 1kW /115V/220V com painel de YL 245P-29b, sete indutores associados em série com as características: 2 autotransformadores 300W220V/110V, 1 autotransformador 60W/220/110, 2 transformadores usados de fontes desmontadas (genéricos) 300W ligados em série, sendo considerado como um único indutor, 4 transformadores 220V/127V/15V - 3 A. As interligações dos transformadores sempre feitas pelo enrolamento primário.

As ligações do experimento 8 foram as mesmas utilizadas no diagrama de blocos da Figura 30.

A Figura 31 apresenta as ligações dos 7 indutores ligados em série.

Figura 31 - 1.Osciloscópio, 2. Indutores, 3.Barramento, 4. Medidores e 5. Painel de carga.



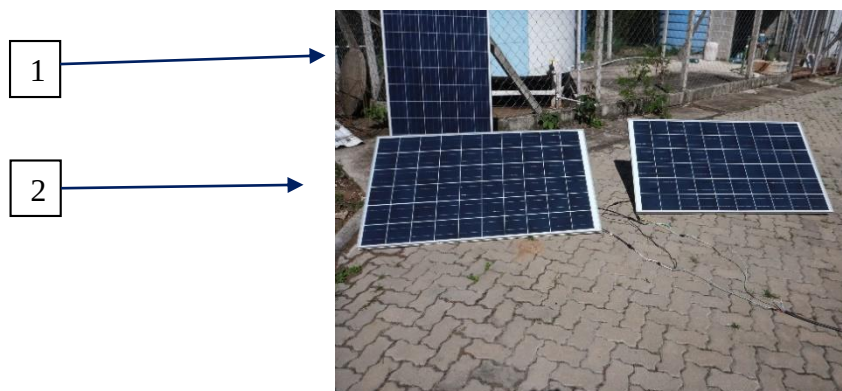
Fonte: (autor)

3.4.9 Experimento 9: Painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A (2), grupo motor gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e dez indutores de 35 mH.

Na sequência dos experimentos utilizando o gerador diesel com dois painéis fotovoltaicos da Astro Solar 250W/30V/7,93 A, idênticos em paralelo (Figura 32). O objetivo foi de aumentar a intensidade de corrente fornecida pela fonte CC a associação em paralelo, com o gerador CA, dez transformadores de 220V/127V/15V – 3 A (Figura 33), interligados em série pelo enrolamento primário e ficando o enrolamento secundário em aberto, alimentando as cargas de lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas.

A Figura 32 apresenta os painéis utilizados nos experimentos com os indutores e os grupos gerador gasolina e diesel.

Figura 32 – 1. Painel Yingli, YL 245P-29b 245W/29,6V/8,25A; 2. Painel Astro Solar, 240W/30VCC/7,93^a



Fonte: (autor)

A Figura 33 mostra os transformadores que foram utilizados nesse experimento como indutores.

Figura 33 - Transformadores utilizados no ensaio



Fonte: (autor)

3.4.10 Experimento 10: Pannel fotovoltaico 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutores.

Este experimento utilizou o grupo motor gerador diesel de 5,5kW/115/220V, Toyama T6000 CYE, (Figura 17), e o pannel de 245W/29,6V/8,25 A, (Figura 32), em série com um indutor, (Figura 34 (a e b)), ligando-os em paralelo e interligado ao barramento de alimentação da carga consumidora conforme diagrama de blocos da Figura 30.

Nesse experimento os indutores apresentados nas Figuras 34, foram associados em série em quantidades variáveis, e foram medidas as formas de onda, verificando como é alterada a onda de saída do pannel fotovoltaico e do gerador, de acordo com o valor de potência na carga.

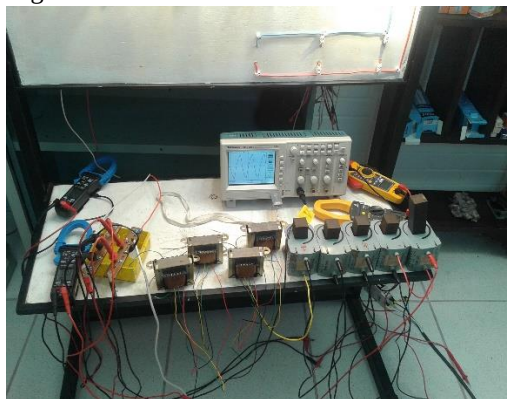
Figura 34 Indutores utilizados no experimento, osciloscópio, barramento e medidores.

Figura 34 a



Fonte: (autor)

Figura 34 b



Fonte: (autor)

Na Figura 34a os seis indutores são as bobinas dos transformadores de 220V/127V/9V – 1,5 A, interligados em série pelo enrolamento primário, deixando o secundário em aberto. Na Figura 35b os transformadores são em número de quatro com mais outros cinco indutores usando o enrolamento primário com núcleo de material ferromagnético, sendo a indutância de cada um de 35 mH com 1200 espiras.

3.4.10.1 Experimento 10.1: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V, indutores (transformadores e bobinas).

Dando continuidade aos experimentos com o gerador diesel Toyama 5,5 kW 110V/220V e pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,V/8,25 A sendo os mesmos do experimento 4. Realizou-se a variação da indutância neste ensaio, através da quantidade de indutores 35 mH e os transformadores 220V/127V/9V/1,5 A. As Figuras 34a e 34b mostram os indutores. O valor foi mantido constante para esse experimento com a carga em 680W de lâmpadas.

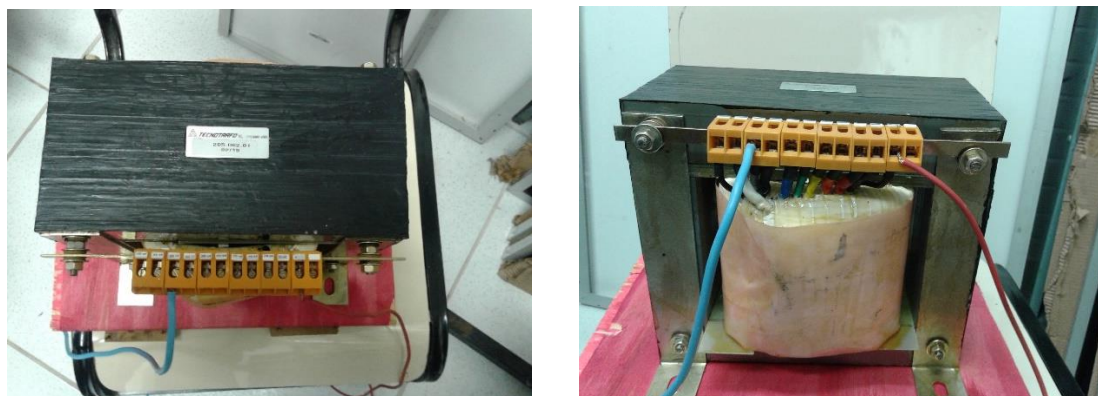
As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30.

3.4.11 Experimento 11: Painele fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 100 mH.

Na busca do objetivo desse trabalho após os experimentos apresentados até o item 3.4.11, definiu-se um indutor a ser testado no valor de 500 mH/10 A, variando de 50 mH em 50 mH até 500mH (Figura 35). Utilizou-se painele fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V em paralelo no barramento.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30, iniciando-se os experimentos a partir de 100 mH.

Figura 35 – Indutor 500mH/10A.



Fonte: (autor)

3.4.12 Experimento 12: Painele fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 150 mH.

Utilizaram-se os mesmos equipamentos do experimento 11 mantendo o valor do indutor em 150 mH, e a carga com valores variando de 120W a 680W.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30.

3.4.13 Experimento 13: Painele fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 200 mH.

Utilizou-se os mesmos equipamentos do experimento 11 alterando-se o valor do indutor para 200 mH.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30.

3.4.14 Experimento 14: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor de 300 mH.

Utilizando os mesmos equipamentos do experimento 11 alterando-se o valor do indutor para 300 mH.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama esquemático da Figura 30.

3.4.15 Experimento 15: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 450 mH.

Utilizou-se os mesmos equipamentos do experimento 11 alterando-se o valor do indutor para 450 mH.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30.

3.4.16. Experimento 16: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A, gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 500 mH.

Utilizou-se os mesmos equipamentos do experimento 11 alterando-se o valor do indutor para 500 mH.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30.

3.4.17 Experimento 17: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e pannel fotovoltaico 240W/30V/7,93A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 400 mH.

Utilizando o mesmo gerador diesel e pannel Yingli, do experimento 11, com o pannel da Astro Solar, 240W/30V/7,93 A colocando em paralelo os painéis e o valor do indutor de 400 mH.

As ligações utilizadas no experimento são as mesmas do diagrama de blocos da Figura 30.

3.5 EXPERIMENTO 18: PAINEL FOTOVOLTAICO YL 245P-29B E INVERSOR 250W/220V CERTIFICADO.

Foram realizados experimentos com o pannel fotovoltaico YL 245P-29b e um inversor (250W/220V), que constitui um kit para geração e fornecimento de energia para a rede.

O objetivo deste experimento foi obter resultados de inserção de potência ativa usando dispositivos certificados para comparação com os experimentos de inserção de potência ativa na rede através de indutores.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO CAPÍTULO 3

Neste capítulo foram analisados os resultados obtidos nos experimentos realizados e descritos no capítulo 3. A interligação dos painéis fotovoltaicos de forma direta na tensão CA, foi tratada como sistema isolado, pois como é um experimento ainda inédito e sem homologação pelo ANEEL, não podem ser utilizados conectado à rede das concessionárias. Como sistema isolado tem-se o mesmo efeito prático, sendo utilizados geradores de corrente alternada, que são comumente utilizados tanto em laboratórios, como em atividades do cotidiano residencial, comercial e industrial, fornecendo energia elétrica para os diversos tipos de carga.

Realizando-se experimentos, utilizando o sistema isolado, preveniu-se de qualquer tipo de rejeição no paralelismo de tensão CA com a tensão CC, onde esses eventuais problemas são mais facilmente solucionados e também prevenidos, do que ao utilizar a rede da concessionária.

4.1 EXPERIMENTO 3.4.5: PAINEL FOTOVOLTAICO YINGLI 245W/29,6V/8,25 A, DIRETAMENTE NO SOL, E GERADOR A GASOLINA BUFFALO BFG 1200, LIGADOS DIRETAMENTE.

Este experimento foi realizado com painel fotovoltaico de 245W/29,6V/8.25 A ao Sol e o gerador a gasolina. Verificou-se na Tabela 15, com valores obtidos através das medições que o painel fotovoltaico com essa configuração, Figura 20, funcionou como um aparelho consumidor para o gerador sem contribuir com o fornecimento de potência ativa para a carga consumidora.

Tabela 15 – Valores obtidos por medições no painel fotovoltaico e gerador Buffalo BFG 1200

V _{painel} [V]	V _{gerador} [V]	I _{painel} [V]	V _{barra} [V]	I _{gerador} [A]	I _{carga} [A]	THD%	Observação
33,3	33,2	0	0	0	0	0	Medição Individual
12,2	10,2	0	18,38	0	0	0	Paralelo sem carga
10,6	10,6	0,27	14,14	1,67	1,45	27,8	Paralelo com carga
12,2	9,1	0,28	19,09	1,5	1,31	28,7	Gerador com carga
12,1	9,2	0,32	16,26	1,4	1,14	29,6	
12,1	9,4	0,34	16,97	1,26	0,97	29,8	
12,9	9,2	0,39	16,97	1,1	0,7	31,3	I = 935 W/m ²
13	9,3	0,49	16,97	0,84	0,4	31,4	I = 736,1W/m ² nuvem

Da linha 3, em negrito, da Tabela 15, tem-se:

$I_{\text{painel}} = 0,27 \text{ A}$ valor medido na Tabela linha 3

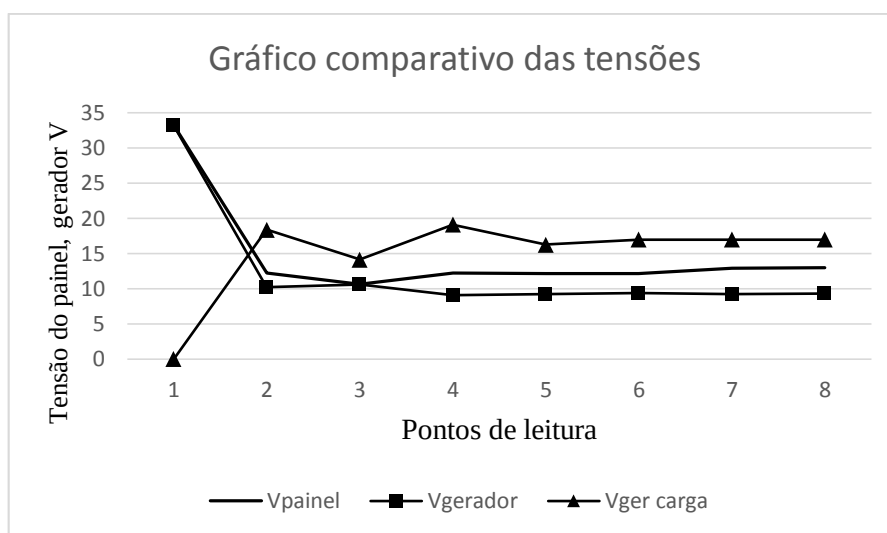
$I_{\text{carga}} = 1,45 \text{ A}$ valor medido na Tabela linha 3

$I_{\text{gerador}} = I_{\text{painel}} + I_{\text{carga}} = 0,27 + 1,45 \Rightarrow I_{\text{gerador}} = 1,72 \text{ A}$.

Realizando esse mesmo procedimento para os outros valores da Tabela 15 repetiu-se a mesma situação onde os valores foram próximos aos medidos.

A queda de tensão do gerador na Tabela 15 é melhor visualizada no gráfico da Figura 36. A tensão CC do painel circulando pelas bobinas de campo do estator do gerador criou um campo magnético fixo, atuando como um redutor em relação ao campo girante, induzido pela tensão CA trifásica que alimentou o estator. Mesmo assim não houve outro tipo de interferência ou dano ao alternador síncrono, como o aquecimento excessivo dos enrolamentos.

Figura 36 - Gráfico comparativo da tensão com carga painel fotovoltaico YL 245W/29,6V/8,25 A e gerador em paralelo e somente gerador BFG 1200.

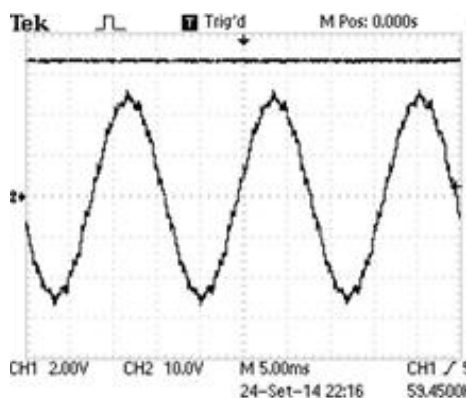


Fonte: (autor)

Da Tabela 15 e figura 36 houve novamente a redução da tensão tanto no painel fotovoltaico como no gerador colocando-os em paralelo com carga. Notou-se que, sem carga e desligados a tensão começou em 33 V no painel fotovoltaico e no gerador, através do variador de tensão, ajustou-se seu valor para os mesmos 33V do painel fotovoltaico. Observou-se também que a intensidade de corrente do gerador foi a soma das correntes do painel fotovoltaico com a corrente da carga.

Nas ondas do painel fotovoltaico e do gerador sem carga e desligados do barramento, na Figura 37 o valor foi o máximo ajustado e as ondas sem distorções, com valores mostrados na Tabela 15 e linha 1.

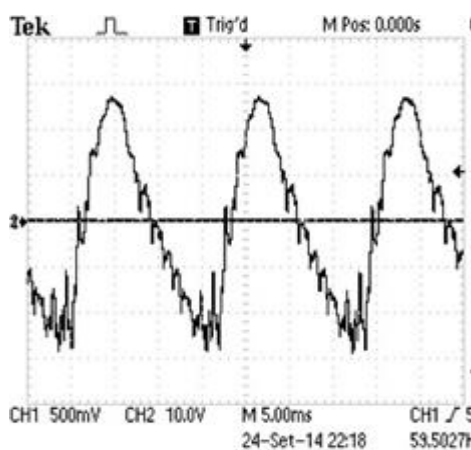
Figura 37- Formas de ondas do painel fotovoltaico YL 245P-29b e do gerador BFG 1200.



Fonte: (autor)

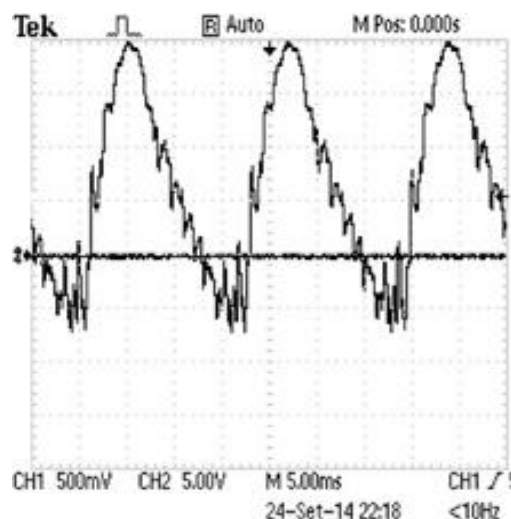
Colocou-se o painel fotovoltaico direto ao barramento de alimentação, em paralelo com o gerador sem carga, e ocorreu a queda de tensão. De acordo com o gráfico da Figura 36 e da Tabela 15 na linha 2 grifada em negrito. As distorções das formas de ondas, como mostra a Figura 38, na tensão do gerador e a Figura 39 a tensão do painel fotovoltaico, verificou-se que a onda CA foi inserida no painel fotovoltaico. Comparando as ondas das Figuras 38 (gerador CA) e 39 (painel fotovoltaico), a onda do painel fotovoltaico está deslocada da onda do gerador em relação ao eixo horizontal. Como as escalas são diferentes, onde a escala de tensão do gerador é de 10V/divisão e a do painel fotovoltaico foi de 5V/divisão, tem-se um deslocamento de 14V de nível CC, com a inserção da tensão no painel fotovoltaico, apresentando a redução do valor eficaz.

Figura 38 - Onda do gerador BFG 1200



Fonte: (autor)

Figura 39 - Onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b



Fonte: (autor)

Nas formas de onda das Figuras 38 e 39, notou-se que houve distorções nas duas formas ondas. Porém a onda da Figura 39 mostrou que o gerador forneceu potência ao painel fotovoltaico pela forma senoidal, pois a forma de onda CC do painel foi transformada em CA pelo gerador.

4.2 EXPERIMENTO 3.4.6: PAINEL FOTOVOLTAICO YL 245P/245 WP/29,6 V/8,25 A (YL 245P-29B), GERADOR DIESEL TOYAMA 5,5KW/220V/110V, (T6000 CYE), CONECTADO DIRETAMENTE AO BARRAMENTO.

Este experimento foi realizado com o painel fotovoltaico 245W/29,6V/8,25A e o gerador diesel. Verificou-se na Tabela 16, com valores obtidos através das medições que o painel fotovoltaico com essa configuração, Figura 30, funcionou como uma carga para o gerador.

Tabela 16 – Valores obtidos por medições no painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador T6000 CYE.

CARGA [W]	V _{painel} [V]	V _{gerador} [V]	I _{painel} [A]	V _{barra} [V]	I _{gerador} [A]	I _{carga} [A]	THD%	OBSERVAÇÃO
0	33,3	35,5	0	0	0	0	0	Medição Individual
0	12,2	11,8	0	15,38	0	0	0	Paralelo sem carga
805	10,6	20,82	0,27	24,26	1,75	1,47	27,8	Paralelo com carga
545	12,2	22,13	0,28	28,38	1,55	1,27	28,7	Gerador com carga
395	12,1	22,93	0,32	29,93	1,45	1,13	29,6	
255	12,1	24,07	0,34	31,59	1,31	0,97	29,8	
215	12,9	25,43	0,39	33,25	1,15	0,76	31,3	I = 945 W/m ²
160	13	27,75	0,49	35,65	0,89	0,4	31,4	I = 712W/m ² nuvem

Da linha 3, em negrito da Tabela 16, tem-se:

$I_{\text{painel}} = 0,27 \text{ A}$ valor medido na Tabela linha 3

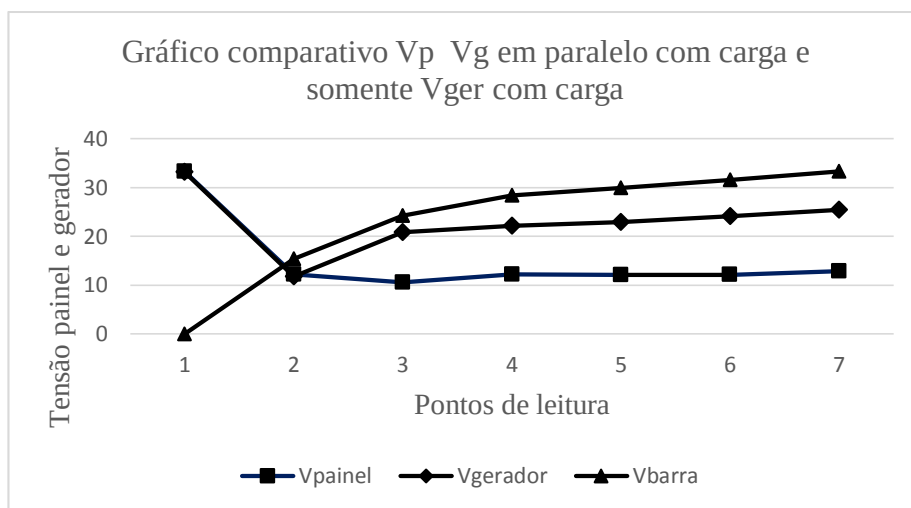
$I_{\text{carga}} = 1,47 \text{ A}$ valor medido na Tabela linha 3

$I_{\text{gerador}} = I_{\text{painel}} + I_{\text{carga}} = 0,28 + 1,47 \Rightarrow I_{\text{gerador}} = 1,74 \text{ A}$, próximo do medido.

Realizando esse mesmo procedimento para os outros valores da Tabela repetiu-se a mesma situação onde os valores foram próximos aos medidos.

A queda de tensão do gerador na Tabela 16 é melhor visualizada no gráfico da Figura 40. A tensão CC do painel circulando pelas bobinas de campo do estator do gerador criou um campo magnético fixo, atuando como um redutor em relação ao campo girante, induzido pela tensão CA trifásica que alimentou o estator. Mesmo assim não houve outro tipo de interferência ou dano ao alternador síncrono, como o aquecimento excessivo dos enrolamentos.

Figura 40 - Gráfico comparativo tensão com carga painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador CYE 6000 em paralelo e somente gerador.

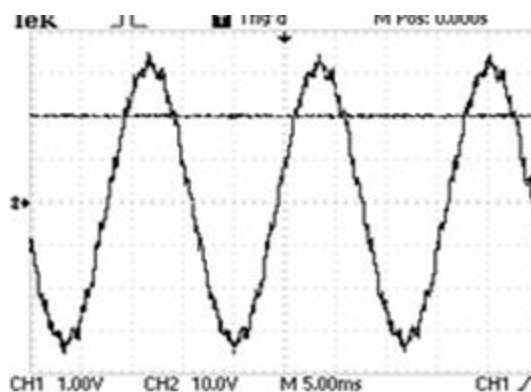


Fonte: (autor)

Da Tabela 16 e figura 42 houve novamente a redução da tensão tanto no painel fotovoltaico como no gerador colocando-os em paralelo com carga. Notou-se que, sem carga e desligados a tensão inicia em 33 V no painel fotovoltaico YL 245P-29b e no gerador T6000 CYE, 35,5 V, através do variador de tensão. Pode-se observar também que a intensidade de corrente do gerador foi a soma das correntes do painel fotovoltaico e da carga.

Na Figura 41 as formas de onda do painel fotovoltaico, do gerador sem carga e desligados do barramento, o valor foi o máximo ajustado e as ondas sem distorções, com valores mostrados na Tabela 16, linha 1.

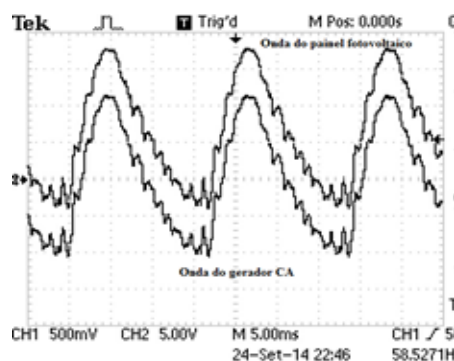
Figura 41– Formas de onda do gerador CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b.



Fonte: (autor)

Conectando-se o painel fotovoltaico direto ao barramento de alimentação em paralelo com o gerador sem carga, ocorre a queda de tensão, observada no gráfico da Figura 41, e da Tabela 16 na linha 3 grifada em negrito. Há distorção da forma de onda, como mostra a Figura 42, na tensão do gerador e na onda da Figura 42, e na tensão do painel fotovoltaico distorcida, e verifica-se que a forma de onda CA foi inserida no painel fotovoltaico. Comparando as duas formas de onda da Figura 42, gerador CA e a forma de onda do painel fotovoltaico, está deslocada em relação a onda do gerador em relação ao eixo horizontal. Como as escalas são diferentes, onde a escala de tensão do gerador é de 500mV/divisão, x10 da ponta de prova, e a do painel fotovoltaico foi de 5V/divisão, tem-se um deslocamento de 7 V de nível CC com a inserção da tensão no painel, com redução do valor eficaz.

Figura 42 - Onda do gerador diesel T6000 CYE e do painel fotovoltaico YL 245P-29b



Fonte: (autor)

Nas formas de onda da Figura 42, nota-se que houve distorção nas duas ondas. Porém a onda do gerador mostrou que o gerador forneceu potência ao painel fotovoltaico pela forma senoidal.

4.3 EXPERIMENTO 3.4.7: PAINEL FOTOVOLTAICO YL 245P/245 WP/29,6 V/8,25 A, GERADOR A GASOLINA BUFFALO 1KW/115V/220V (BF 6 1200), COM INDUTOR (TRANSFORMADORES 220/127V/9V – 1,5 A E 3,0 A).

Utilizou-se o gerador a gasolina Buffalo 1kW/115V/220V com painel fotovoltaico YL 245P 245 W_p/ 29,6 V/8,25 A e carga de 115 a 160W.

Como nos experimentos 4.1 e 4.2, verificou-se que o painel funcionou como uma carga para o gerador.

Buscou-se a partir do experimento 4.3 introduzir em série com o painel um elemento que permitisse transferir a potência ativa gerada no painel fotovoltaico para a carga somada a potência ativa do gerador CA, mostrado no diagrama esquemático da Figura 30.

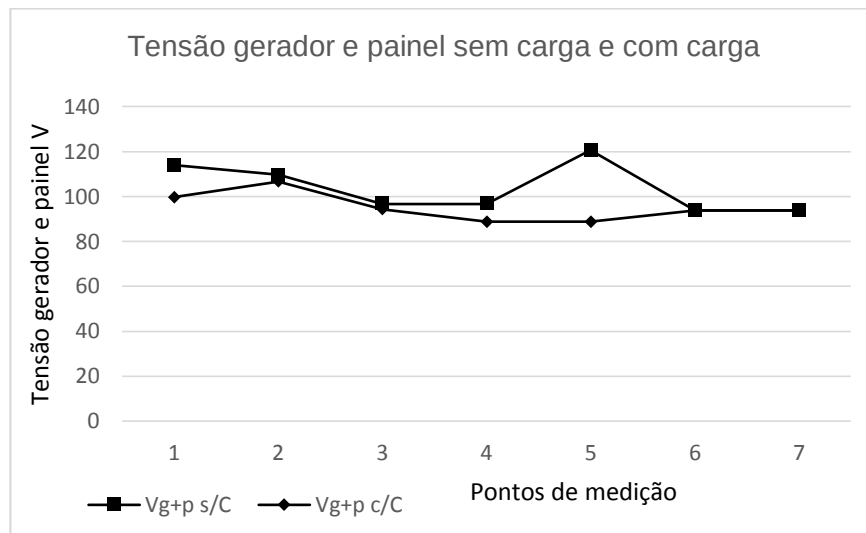
Os valores indicados na Tabela 17 mostraram a variação da tensão do gerador e o painel em paralelo quando ligado com carga (115 a 160W) e sem carga.

Tabela 17 – Valores das tensões medidas no gerador BFG 1200 e no painel fotovoltaico YL 245P-29b com e sem carga.

V_g [V]	V_{g+p} [V]	Dif₁ [V]	V_p s/c [V]	V_p c/c [V]	Dif₂ [V]	Elementos Indutivos
109,6	99,7	-9,9	18,8	19,6	-0,8	5 indutores
96,7	106,7	10	31,8	31,6	0,2	
120,5	94,3	-26,2	32,4	32,4	0	
93,9	88,8	-5,1	31,9	32,2	-0,3	6 indutores
93,7	88,8	-4,9	31,9	32	-0,1	
93,7	93,7	0	31,9	31,9	0	
93,2	93,7	0,5	31,9	31,9	0	
105,8	93,3	-12,5	32	31,8	0,2	
93,2	105,8	12,6	31,9	32,1	-0,2	

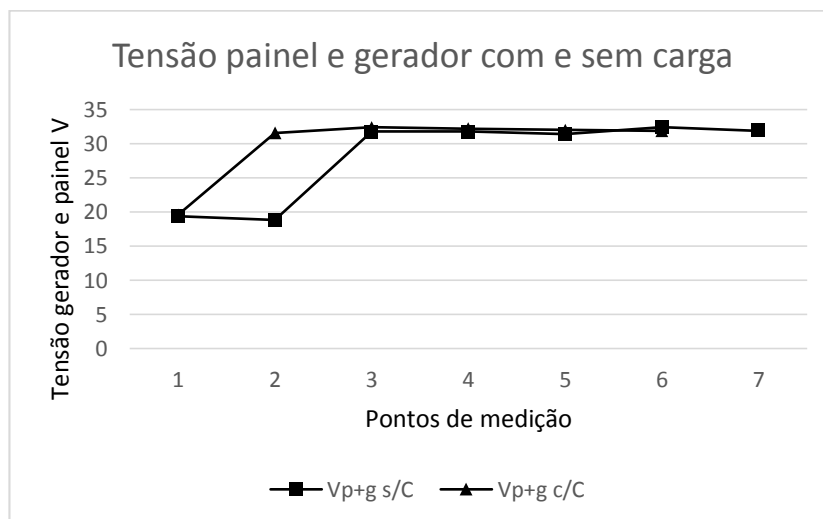
Nos gráficos das Figuras 43 e 44 foram mostrados como varia a tensão em função da carga, com 5 indutores, transformadores de 220/127V/9V-3A.

Figura 43 - Tensão medida no gerador BFG 1200 com o painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e com carga.



Fonte: (autor)

Figura 44 - Tensão medida no painel com gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo.



Fonte: (autor)

Nas Figuras 45 e 46 foram apresentadas as formas de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b com carga e ligado em paralelo com o gerador BFG 1200 e somente gerador respectivamente.

A Tabela 18 mostra as medições da potência na carga considerando o gerador BFG 1200 e o painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo alimentando a carga e somente o gerador BFG 1200.

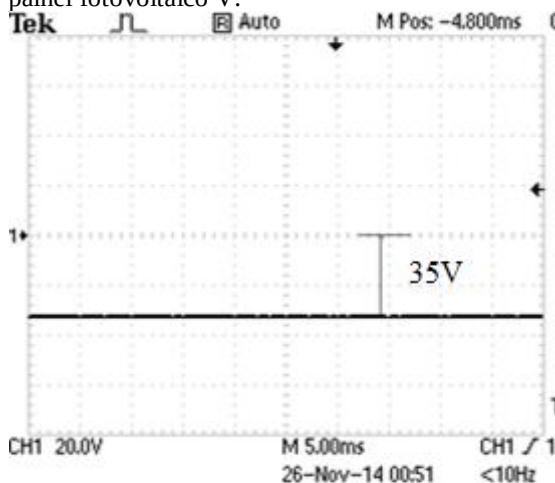
Tabela 18 – Potência do gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.

Pg+p[V]	Pg[V]	Indutores	Dif.[V]
36	34	5 indutores	2
52,8	57,2		-4,4
52,8	56,7		-3,9
58,4	56,4	6 indutores	2
57,5	55,4		2,1
56,9	55,9		1
39,3	38,8		0,5
56,9	56,4		0,5
57,2	56,9		0,3

Fonte: (autor)

A Figura 45 apresenta a forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b com carga e em paralelo com o gerador.

Figura 45 - Forma de onda do painel fotovoltaico V.

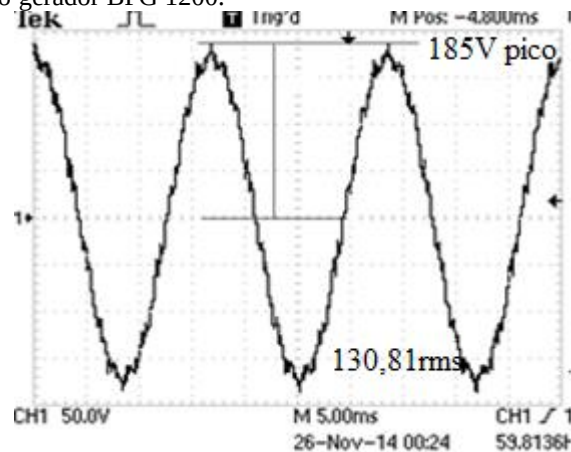


Fonte: (autor)

Na Figura 45 notou-se que a forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b não apresentou nenhuma ondulação.

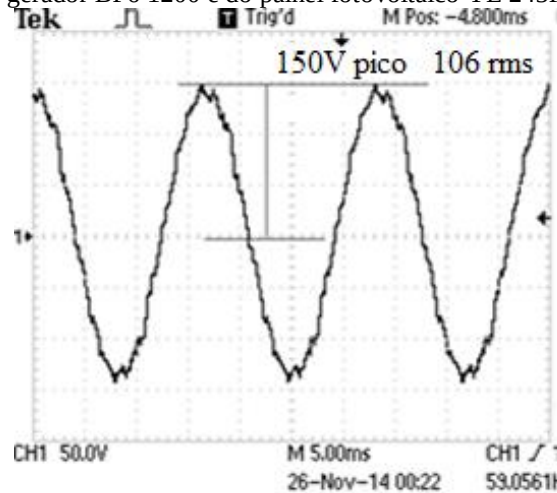
A Figura 46 apresenta a forma de onda do gerador CA sem carga e fora do paralelismo. A Figura 47 apresenta a forma de onda do gerador CA com carga e em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Figura 46 - Forma de onda do gerador BFG 1200.



Fonte: (autor)

Figura 47- Forma de onda do gerador BF6 1200 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com a carga.



Fonte: (autor)

O dispositivo encontrado para permitir que a potência ativa CC do painel fotovoltaico somasse a potência ativa CA do gerador foi o indutor, como no painel fotovoltaico a tensão contínua tem frequência igual a zero e no indutor atua frequência, o valor da reatância indutiva é dado pela equação 2:

$$X_L = 2 \pi f L \quad (2)$$

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \pi 0 L \Rightarrow X_L = 0$$

Com isso a corrente contínua flui no sentido do painel para a carga sem presença de uma alta reatância.

Para a onda da tensão CA com a frequência de 60 Hz, a reatância será da equação 2,

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \pi 60 L \Rightarrow X_L = 376,8 L (\Omega)$$

Dessa forma a impedância em série com o painel fotovoltaico tem um valor muito maior que a impedância da carga, impedindo assim a transferência de potência do gerador para o painel fotovoltaico. Assim o painel fotovoltaico consegue transferir sua potência ativa somando com a do gerador no barramento para alimentar a carga consumidora.

Da Tabela 17 as tensões medidas no painel fotovoltaico e gerador ligado a carga consumidora com e sem painel e com carga, notou-se na coluna Dif. 1 (diferença 1, $V_{g+p\ c/c} < V_g$) cinco valores negativos, o que demonstrou que o painel ainda não forneceu a potência necessária em todos os valores de variação da carga. Observou-se também na coluna Dif. 2 (diferença 2, $V_{p\ s/c}$ e $V_{p\ c/c}$), quatro valores negativos o que significa que neste, a tensão do painel sem carga foi maior do que com carga. No caso dos valores positivos a tensão do painel com carga foi menor (dois valores). Também dois valores são nulos onde as tensões se igualam.

As colunas dos componentes indutivos mostraram a quantidade de indutores utilizados durante o experimento para verificar a contribuição da transferência de potência ativa.

Da Tabela 18, o acréscimo de potência ocorreu quando se aumentou o número de indutores, mostrando dessa forma que esse tipo de dispositivo proporcionou a transferência da potência ativa do painel fotovoltaico para a carga somando à do gerador.

Na Figura 45 a forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b aparece sem ondulação quando em paralelo com o gerador BFG 1200 e alimentando a carga consumidora. Assim o indutor conseguiu evitar a entrada da tensão no painel fotovoltaico devido ao valor adequado da reatância indutiva em série com o mesmo.

4.4 EXPERIMENTO 3.4.8: PAINEL FOTOVOLTAICO YL 245P/245WP/29,6V/8,25 A, GERADOR A GASOLINA BUFFALO 1KW/220V/115V, SETE INDUTORES.

Utilizou-se o gerador a gasolina Buffalo 1kW/220V/115V com painel YL 245P/ 245 Wp/29,6 V/8,25 A e sete indutores, transformadores de 220V/127V/9-1,5 A 220V/127V-3A.

No experimento 4.3, como os valores obtidos com os 6 indutores foram satisfatórios, com sete indutores em série, utilizando um autotransformador 220/127V e também transformadores utilizados em fontes de equipamentos eletrônicos (Figura 24). Ligou-se esses elementos no lado do enrolamento primário e deixando o secundário em aberto.

Na Tabela 19 são apresentados os valores medidos das tensões no gerador e painel fotovoltaico em paralelo e separados alimentando uma carga de lâmpadas.

Tabela 19 – Tensão (TRUE - RMS) no gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b.

$V_{g+p}(V)$	$V_g(V)$	$V_p(V)$	%
137,5	137,5	31,07	0,00
137,5	137,5	30,7	0,00
142	136,9	32,69	3,73
137,2	132,6	31,66	3,47
133	126,93	30,6	4,78

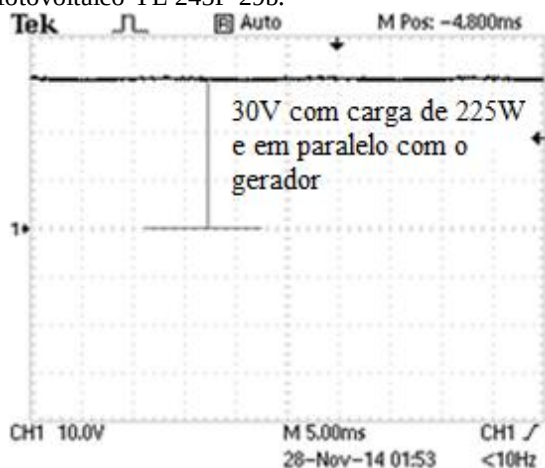
A sequência de valores da Tabela 20 segue a mesma sequência das potências mostradas na Tabela 19.

Tabela 20 – Potência do gerador BFG 1200 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e carga em watts.

$P_g(W)$	$P_{g+p}(W)$	Carga	%
145,7	146,5	150	0,55
144,3	148,7	150	3,05
223,9	225,3	225	0,63
227	228	225	0,44

Nas Figuras 49 e 50 as formas de onda medidas no painel fotovoltaico YL 245P-29b mostraram como se comportou a variação, com o painel sem carga (Figura 49), desligado da associação, em paralelo com o gerador, e com a carga em paralelo (Figura 50).

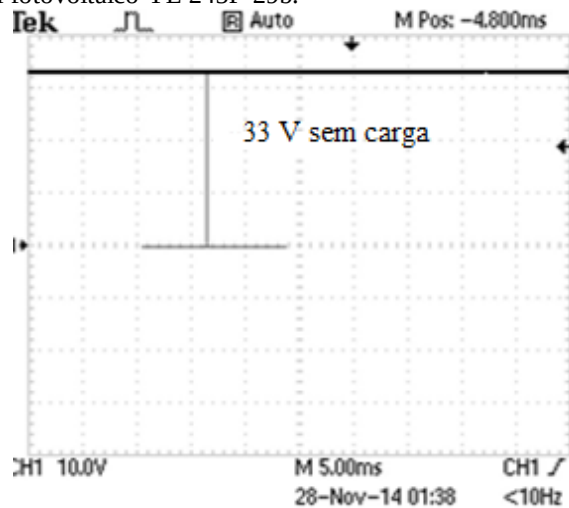
Figura 48 - Tensão no painel fotovoltaico YL 245P-29b.



Fonte: (autor)

Na Figura 48 a forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b é apresentada com carga e em paralelo com o gerador.

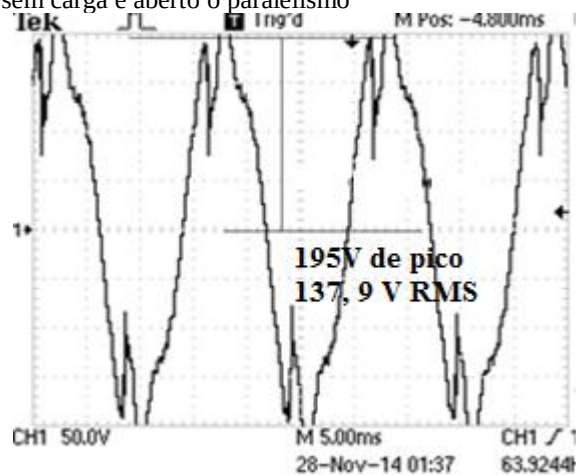
Figura 49 - Tensão no painel fotovoltaico YL 245P-29b.



Fonte: (autor)

Na Figura 49 a forma de onda do gerador BFG 1200 é apresentada sem carga e o gerador desligado do paralelismo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Figura 50 – Gerador BFG 1200 sem carga e aberto o paralelismo

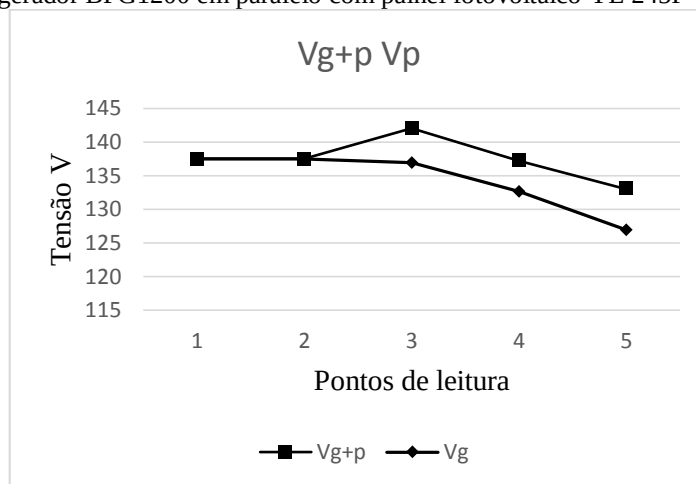


Fonte: (autor)

A Figura 50, apresenta a forma de onda do gerador BFG 1200 em paralelo com o painel fotovoltaico YL 249P-29b e considerando que a forma de onda foi maior que a escala do osciloscópio, a parte menor da onda senoidal no valor expresso na Figura 50.

Da Figura 51 onde está a comparação dos valores das tensões V_{g+p} e V_g existe um pequeno acréscimo no valor da tensão V_g .

Figura 51 - Tensão do gerador BFG1200 em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.



Fonte: (autor)

Analisando os dados do experimento 3.4.8 nas Tabelas 19 e 20, os valores da tensão do gerador BF 6 1200 mais painel fotovoltaico (Tabela 19), em paralelo no barramento e com carga, encontram-se dois valores em porcentagem iguais a zero e os outros três valores positivos. A Tabela 20 apresentou situação melhor em função dos quatro valores medidos serem maiores que zero. Confirmou-se também nesse experimento um pequeno acréscimo de potência ativa em torno de 1,12%.

Nos experimentos 3.4.5 e 3.4.6, não houve acréscimo de potência ativa e o painel fotovoltaico YL 245P-29b representou uma carga para o gerador. A partir desse resultado buscou-se conexões para a melhor transferência de potência ativa.

Na Figura 48, onde está a forma de onda medida com carga de 225W e em paralelo com o gerador BFG 1200, não apresentou nenhuma ondulação, manteve-se a tensão em 30V. Comparando-se com a forma de onda da Figura 49, onde o gerador está fora do barramento e sem carga, registrou-se uma tensão de 33V, mostrando que o indutor começou a permitir a transferência de potência ativa. Na forma de onda da Figura 50 apareceu uma distorção no pico positivo e negativo em função da associação do painel fotovoltaico YL 245P-29b e do gerador BFG 1200 e das lâmpadas fluorescentes compactas. Assim tem-se um valor de pico aproximado de 195V e o RMS de 137,88V que foi próximo do valor indicado na Tabela 19, linha 1.

4.5 EXPERIMENTO 3.4.9: PAINEL FOTOVOLTAICO ASTRO SOLAR 250W/30V/7,93 A, GERADOR DIESEL TOYAMA 5,5 kW/220V/110V, DEZ INDUTORES TRANSFORMADORES 220V/127V/3 A E 1,5 A.

Dando continuidade à busca de melhoria na transferência de potência do painel fotovoltaico para a carga associada em paralelo ao gerador diesel Toyama 5,5 kW/220/110V

T6000 CYE utilizaram-se dois painéis fotovoltaicos Astro Solar 250W/30V/7,93 A em paralelo, com o objetivo de verificar se nesse tipo de associação pode ocorrer uma maior transferência de potência ativa para a carga consumidora.

Na Tabela 21 as tensões indicadas foram medidas na saída do gerador e do painel em paralelo e só o gerador alimentando a carga. Há também a variação percentual da tensão gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A em relação a tensão do gerador.

Tabela 21 – Tensão do gerador Toyama T6000 CYE e painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A.

$V_{g+p}[V]$	$V_g[V]$	%
109,9	112,1	-1,96
110,4	110	0,36
116,6	109,9	6,10
110,4	110,4	0,00
116,6	116,6	0,00
116,6	116,6	0,00
116,6	116,6	0,00
116,5	116,4	0,09
116,5	116,4	0,09
116,4	116,4	0,00

Na Tabela 22 são apresentados os valores da potência medida no gerador T6000 CYE em paralelo com o painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A e somente o gerador alimentando a carga. Também apresenta a variação percentual da potência do gerador e painel em relação a potência ativa do gerador.

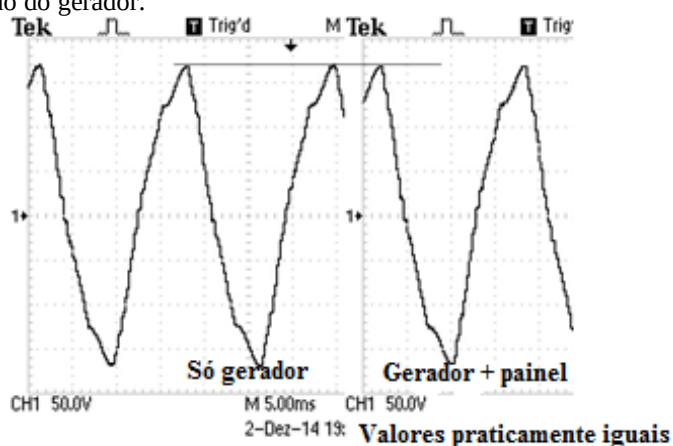
Tabela 22 – Potência do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A.

P_{g+p} (W)	P_g (W)	%
688,7	687,6	0,16
624,3	623,8	0,08
623,5	622,7	0,13
623,5	622,7	0,13
100,4	99	1,41
100,3	99	1,31
100,3	99	1,31

Da Tabela 21, a tensão do gerador T6000 CYE somada à do painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A e a tensão somente do gerador mostrou que existe uma pequena queda de tensão nas linhas 1, 2, 3, 8 e 9. Há um acréscimo no valor da tensão nas linhas 4, 5, 6, 7 e na linha 10 anulou a diferença. Há uma compensação da queda de tensão pelo painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A. Da Tabela 22, onde as medidas dos valores de potência ativa do gerador mais painel fotovoltaico e somente do gerador, mostrou que houve um acréscimo de potência ativa quando do paralelismo dos dois equipamentos geradores de 0,65%. Mostrou-se que foi possível um pequeno acréscimo de potência ativa para a carga.

Na forma de onda apresentada na Figura 52, com o gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico, Astro Solar 250W/30V/7,93 A, interligados em paralelo, com o indutor em série com o painel fotovoltaico e alimentando a carga, a forma de onda da tensão do gerador permaneceu inalterada.

Figura 52 – Forma de onda da tensão do gerador T6000 CYE e do painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A interligados e só tensão do gerador.

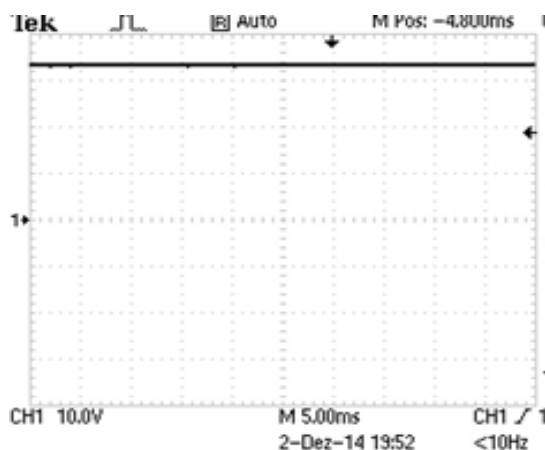


Fonte: (autor)

Da Figura 52, onde foi visualizada a forma de tensão do gerador T6000 CYE com o painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A associado com carga consumidora, houve uma pequena distorção na onda senoidal, bem menor do que a mostrada na Figura 50 do experimento 3.4.8, onde os indutores utilizados mostraram uma melhor eficiência, reduzindo a distorção. A queda de tensão foi mínima da forma de onda do gerador e painel em paralelo e só o gerador, confirmando as medidas da Tabela 21. Na forma de onda mostrada na Figura 53 a do painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93 A não ocorreu nenhuma ondulação.

Na Figura 53 notou-se que a tensão apresentada no osciloscópio, mostrou a tensão do painel fotovoltaico sem ondulação.

Figura 53 - Tensão no painel fotovoltaico Astro Solar 250W/30V/7,93A interligada ao gerador T6000 CYE e com carga de 690 W.



Fonte: (autor)

Nesse experimento com os dois painéis fotovoltaicos Astro Solar 250W/30V/7,93 A em paralelo notou-se que houve uma regularidade no valor da tensão e um pequeno acréscimo de potência ativa.

4.6 EXPERIMENTO 3.4.10 - PAINEL FOTOVOLTAICO YINGLI 245W/29,6V/8,25A E GERADOR DIESEL TOYAMA 5,5 kW/220V/110V EM PARALELO NO BARRAMENTO.

Neste experimento o painel fotovoltaico foi o da Yingli 245W/29,6V/8,25 A (YL 245P-29b) e o mesmo gerador diesel, Toyama 5,5kW/220V/110V (CYE 6000). Modificou-se a quantidade e o tipo dos indutores conforme mostrado nas Figuras 34a e 34b, de acordo com o experimento 3.3.

Na Tabela 23 os valores medidos apresentados são de tensão com o gerador Toyama CYE 6000 e o painel fotovoltaico (YL 245P-29b) em paralelo e somente o gerador com carga e sem carga.

Tabela 23 – Tensão do gerador e painel fotovoltaico, e do painel fotovoltaico.

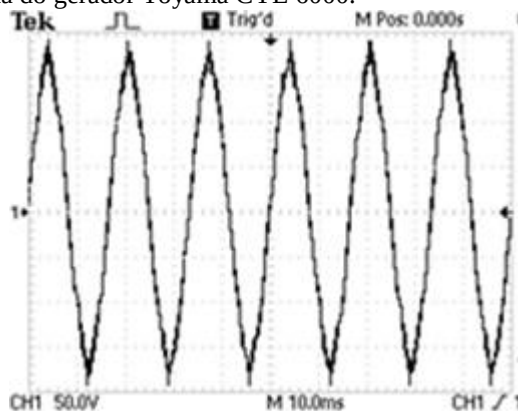
$P_{\text{carga}}[\text{W}]$	$V_p[\text{V}]$	$V_g[\text{V}]$	$V_{g+p}[\text{V}]$	$V_{p+g}[\text{V}]$
0	33,54	118,2	-	-
400	-	-	117	31,91
1030	-	-	112	33,63

Nas Figuras 54, 55, 56 e 57 as formas de onda medidas no osciloscópio mostraram o comportamento da variação da tensão utilizando cinco indutores, iguais aos da Figura 34a (transformadores 220/127/9V/1,5 A), com a carga da Tabela 23.

Na Tabela 23 têm-se dois valores de potência maiores onde foram realizadas as leituras da tensão no gerador mais painel fotovoltaico com carga.

Na Figura 54 é apresentada a forma de onda de saída do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com uma carga de 400W.

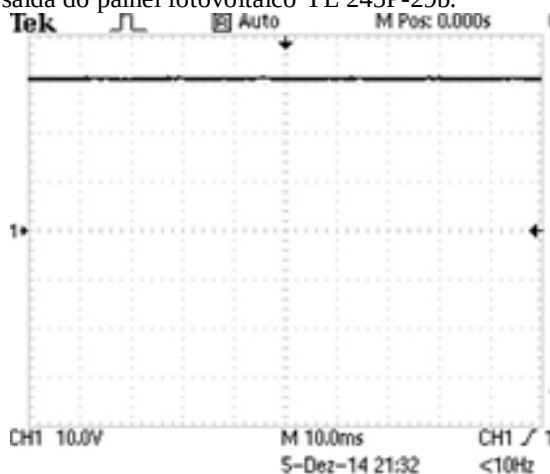
Figura 54 - Forma de onda saída do gerador Toyama CYE 6000.



Fonte: (autor)

Na Figura 55 é apresentada a forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com uma carga de 400W.

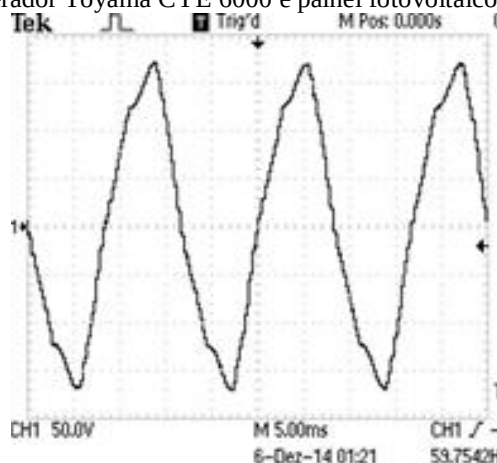
Figura 55 - Forma de onda da saída do painel fotovoltaico YL 245P-29b.



Fonte: (autor)

Na Figura 56 é apresentada a forma de onda de saída do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com uma carga de 1030W.

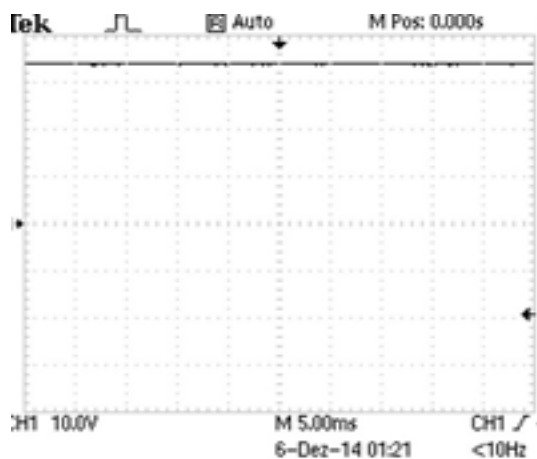
Figura 56 - Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b.



Fonte: (autor)

Na Figura 57 foi apresentada a forma de onda de saída do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com uma carga de 1030W.

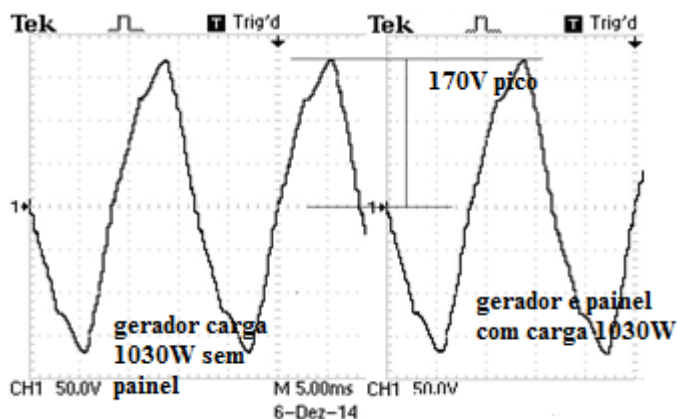
Figura 57 - Forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com o gerador T6000 CYE com carga 1030W.



Fonte: (autor)

Das Figuras 54, 55, notou-se que as formas de onda do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b com carga, respectivamente houve uma pequena alteração na forma de onda da tensão CA e na forma de onda do painel não houve nenhuma alteração, devido ao valor da reatância indutiva. Nas formas de onda das Figuras 56 e 57 houve uma distorção na onda CA, devido ao aumento da carga de 400W para 1030W e também uma queda de tensão no valor da onda da Figura 54 para a Figura 56, devido ao aumento considerável da carga. Nas Figuras 55 e 57 comparando as ondas do painel com as cargas de 400W e 1030W notou-se um pequeno aumento na tensão da maior carga e nenhuma ondulação.

Figura 58 - Forma de onda do gerador T6000 CYE com carga sem painel fotovoltaico YL 245P-29b e com painel em paralelo.



Fonte: (autor)

Na Figura 58 as medidas da forma de onda do gerador T6000 CYE em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b com carga mostrou praticamente o mesmo formato e valores em ambas as situações.

Na Figura 58, onde as formas de onda de tensão do gerador para a carga de 1030W estão lado a lado, verificou-se que não existe alteração na forma, no valor de pico e na forma da onda.

4.7 EXPERIMENTO 3.4.11: PAINEL FOTOVOLTAICO YINGLI 245W/29,V/8,25A, GERADOR DIESEL TOYAMA 5,5 kW/220V/110V, INDUTORES (TRANSFORMADORES E BOBINAS).

Nesse ensaio é utilizado o mesmo conjunto de geração CA e CC mas alterando os indutores como mostrado na Figura 34b.

Na Tabela 24 estão os valores medidos no gerador T6000 CYE e no painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Tabela 24 – Medições da tensão e potência ativa

V_{g+p} (V)	V_p (V)	P_{barr} (W)	Indutor (mH)	Observação
110,9	32,25	657,3	-	Só o gerador com carga
102,1	30,07	593,1	35	Gerador e painel em paralelo
106,3	31,05	618,8	70	
107,1	31,1	623,6	105	
108	31,34	633,1	140	Indutor sem núcleo de ferro
109,9	31,34	647	140	Indutor com núcleo de ferro
110,2	31,54	650,3	140 + 1T	T = transformador 220/127/9V - 1,5 A
110,5	31,75	655,8	-	Só o gerador com carga sem painel
110,3	31,59	652,1	140 + 2T	
110,5	31,71	652,1	-	Só o gerador com carga sem painel
110,4	31,7	650	140 + 4T	
110,5	31,17	650,4	175 + 4T	
110,4	30,99	648,5	175 + 3T	
110,3	30,87	646,1	175 + 2T	
110,1	30,97	646,8	175 + 1T	
109,5	30,82	642,7	175	

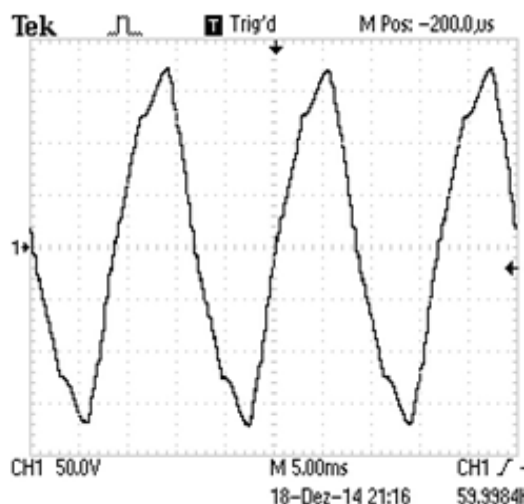
Fonte: Autor

Nas medições apresentadas na Tabela 24, à medida que associou mais um indutor em série com o existente, a tensão do barramento e do gerador teve um pequeno aumento assim como a tensão do painel.

Da Tabela 24 onde a potência foi mantida constante em 680W, alterou-se a indutância começando com 35 mH e acrescentou-se em série um a um até totalizar os dez indutores com 350 mH. Verifica-se que conforme a indutância foi aumentada, a tensão CA e a potência ativa também aumentaram no barramento da associação.

Comparando-se os valores das quinta e sexta linhas da Tabela 24 nota-se que, para a mesma bobina, quando colocou-se o núcleo de material ferromagnético o valor da tensão CA no barramento aumentou, e a tensão CC manteve-se constante e a potência fornecida à carga teve um aumento.

Figura 59 - Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 com a carga de 650W.

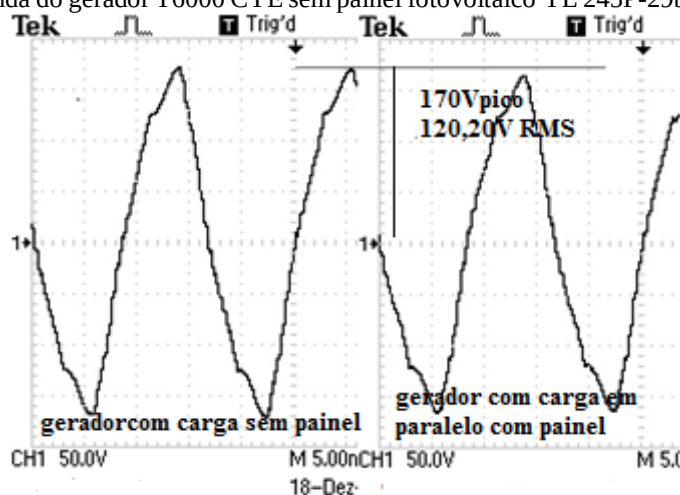


Fonte: (autor)

Na forma de onda do gerador apresentada na Figura 59 foi considerado só o gerador sem o painel fotovoltaico em paralelo e a frequência de 60 Hz.

A Figura 60 mostra uma comparação da onda de tensão do gerador CA com o painel fotovoltaico YL 245P-29b ligado em paralelo e desligado.

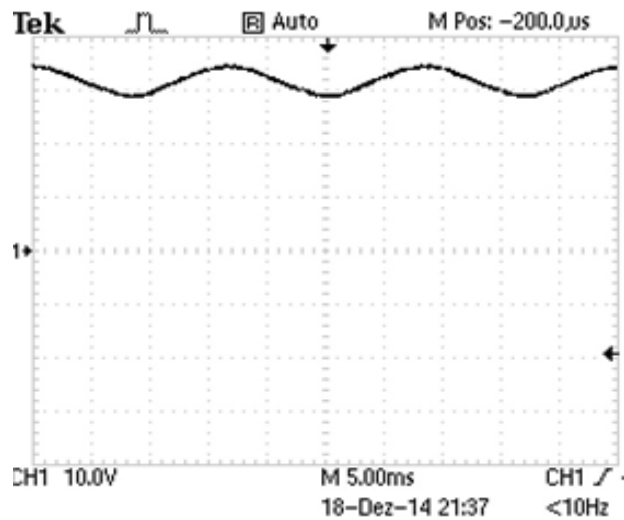
Figura 60 - Forma de onda do gerador T6000 CYE sem painel fotovoltaico YL 245P-29b e com painel em paralelo.



Fonte: (autor)

A forma de onda apresentada na Figura 60 mostrou uma pequena queda de tensão para o gerador alimentando a carga sem estar em paralelo com o painel, conforme a Tabela 24 nas linhas 1 e 2.

Figura 61- Forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com o gerador T6000 CYE e com carga de 680W.

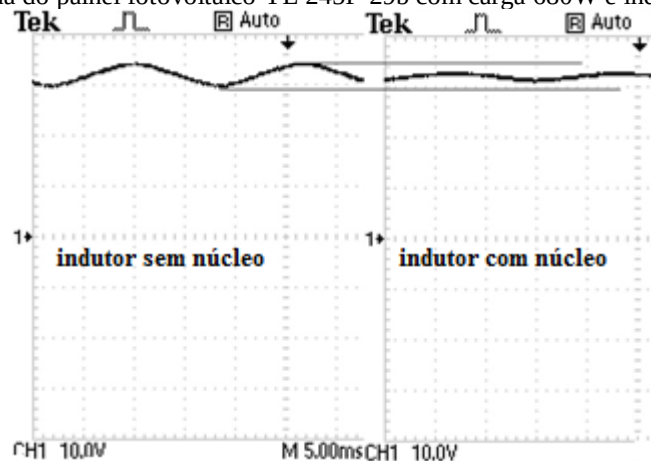


Fonte: (autor)

Na forma de onda apresentada na Figura 61 houve uma pequena ondulação na tensão do painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Em relação as formas de onda das Figuras 58 e 59 não existiu nenhuma alteração significativa. Nas formas de onda apresentadas nas Figuras 61, 62 e 63 onde mostrou a tensão do painel fotovoltaico em situações de indutância crescente foi verificado que a ondulação foi reduzida com esse aumento. Assim o elemento indutivo resolveu o desafio do painel fotovoltaico ser uma carga para o gerador e ainda conseguir a transferência de um valor de potência para a carga como mostrado na Tabela 24.

Figura 62 - Forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b com carga 680W e indutor de 35 mH.

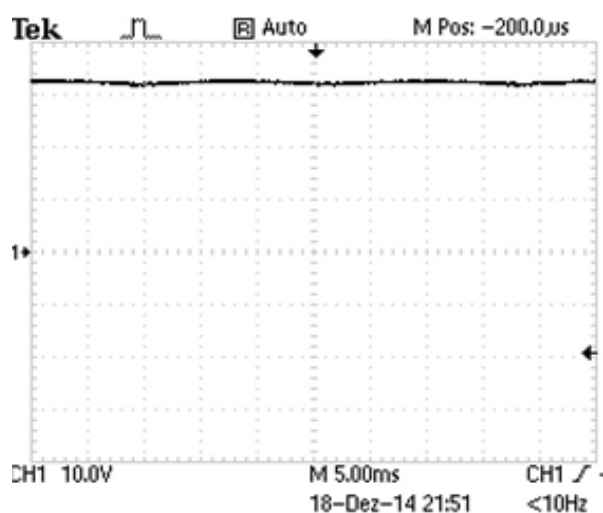


Fonte: (autor)

As formas de onda apresentadas na Figura 62 mostraram que com o aumento da indutância com a colocação do núcleo de material ferromagnético a ondulação da onda CC diminuiu.

A Figura 63 mostra a forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com o gerador com carga e série com um indutor de 140 mH+ 1T.

Figura 63 – Forma de onda painel fotovoltaico e indutor.

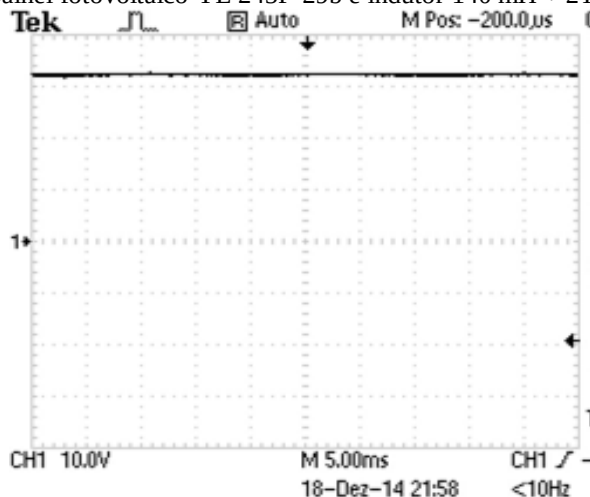


Fonte: (autor)

Da Figura 63 notou-se uma pequena ondulação na forma de onda do painel fotovoltaico indicando que o indutor atingiu um valor de impedância, que continua fornecendo potência ativa do gerador para a carga somando a potência ativa do painel fotovoltaico.

A Figura 64 mostra a forma de onda do painel fotovoltaico com carga em série com um indutor de 140 mH+ 2T.

Figura 64 - Forma de onda painel fotovoltaico YL 245P-29b e indutor 140 mH + 2T.

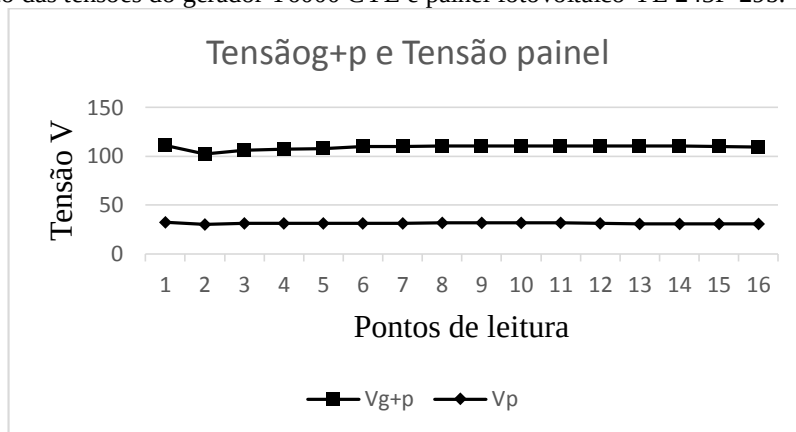


Fonte: (autor)

Nas formas de onda apresentadas nas Figuras 62 e 63 notou-se que com o aumento da indutância diminuiu a ondulação da onda CC se comparada a da Figura 61.

Do gráfico da Figura 57 notou-se que as tensões tanto do painel quanto do gerador se estabilizaram conforme houve o aumento da indutância.

Figura 65 – Gráfico das tensões do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b.

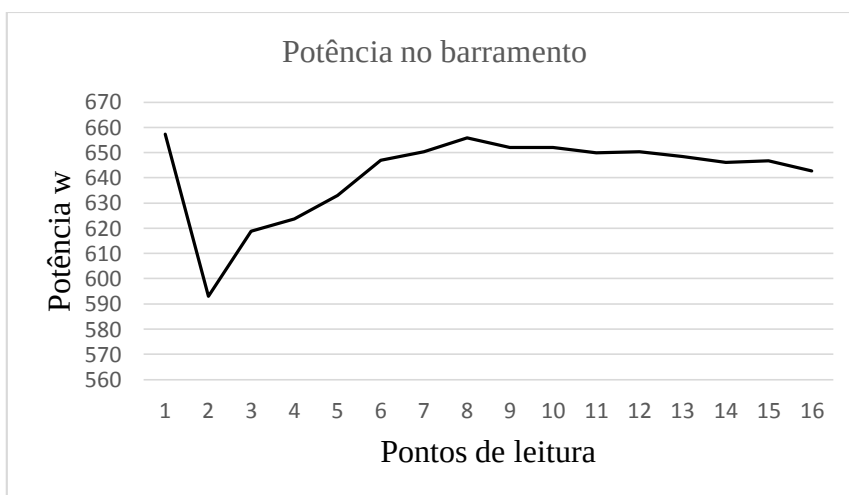


Fonte: (autor)

No gráfico da Figura 65 as linhas das tensões do gerador com o painel e do painel mostraram que houve uma estabilização nos valores em função da variação da indutância. Mostrou assim mais uma vez que não existe diminuição dos valores, compensando dessa forma as perdas com a utilização dos indutores.

O gráfico da Figura 66 mostrou a variação da potência ativa no barramento com o gerador CA e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e com carga de 680 W.

Figura 66 - Gráfico da potência ativa no barramento.



Fonte: (autor)

O gráfico da Figura 66 mostrou também uma tendência de estabilizar o valor da potência a partir do sexto valor de indutor. Na Tabela 24 pode-se verificar com maior resolução essa estabilização. No gráfico da Figura 66 mostrou uma oscilação maior em função da escala utilizada, mas a partir de um determinado ponto aconteceu uma estabilização na potência ativa. A diminuição de potência ativa aconteceu para um valor menor da indutância indicando que o valor da indutância a ser utilizado deve ser maior do que os 35 mH, onde através do aumento da impedância ocorre uma transferência gradativa de potência ativa do painel fotovoltaico YL 245P-29b para o barramento de interligação da associação.

4.8 – EXPERIMENTO 3.4.12: PAINEL FOTOVOLTAICO YINGLI 245W/29,6V/8,25A E GERADOR DIESEL TOYAMA 5,5 kW/220V/110V E INDUTOR DE 100 mH.

Com o painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e o gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V em paralelo no barramento, utilizando o indutor de 500 mH/10A.

Dos experimentos 3.4.7 ao 3.4.11 foram utilizados transformadores como indutores porque usou-se o enrolamento primário interligado deixando o enrolamento secundário em aberto.

O objetivo foi obter o valor mais aproximado possível desse dispositivo de tal forma que transfira a maior quantidade de potência do painel fotovoltaico para o barramento de interligação e finalmente para a carga. Assim após a realização dos experimentos 3.4.11 determinou-se um valor aproximado para o indutor em 200 mH.

Foi especificado, projetado e executado pela empresa Tecnotrafo um indutor de 500 mH/10 A com tap's variando de 50 mH em 50 mH até 500 mH.

Iniciaram-se os experimentos a partir de 100 mH, para verificar a quantidade de potência transferida com o novo indutor.

A carga variou de 200 W a 1000 W, conforme a Tabela 25 mostra os valores medidos das potências ativa do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b interligados e somente gerador, no barramento de interligação com a carga.

Tabela 25 – Potência ativa no barramento.

$P_{g+p}(W)$	$P_g(W)$	%
162,2	173,2	-6,78175
343	349	-1,74927
505,3	515,3	-1,97902
680	687,3	-1,07353
851,5	859	-0,8808
1023	1030	-0,68426

Fonte: (autor)

A Tabela 25 mostrou um decréscimo percentual da potência ativa quando gerador Toyama CYE 6000 está em paralelo e a coluna da variação percentual aparece negativa.

A Tabela 26 mostra as medições realizadas das tensões do gerador com painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e só o gerador alimentando a carga.

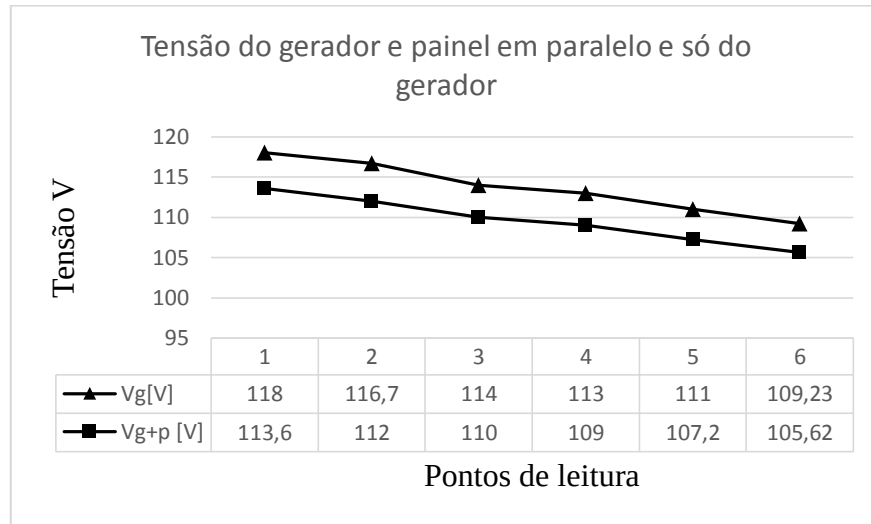
Tabela 26 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.

$V_g[V]$	$V_{g+p}[V]$	%
118	113,6	-3,87324
116,7	112	-4,19643
114	110	-3,63636
113	109	-3,66972
111	107,2	-3,54478
109,23	105,62	-3,41791

Da Tabela 26 notou-se que houve uma queda na tensão quando o gerador T6000 CYE e o painel fotovoltaico YL 245P-29b estão em paralelo alimentando a carga, mostrada na coluna de percentagem. Para esse valor de indutor não há transferência de potência do painel para a carga, como nos experimentos 3.4.7 a 3.4.11.

A Figura 67 mostra os resultados das medições apresentadas na Tabela 25 em forma de gráfico.

Figura 67 - Gráfico da tensão gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador.



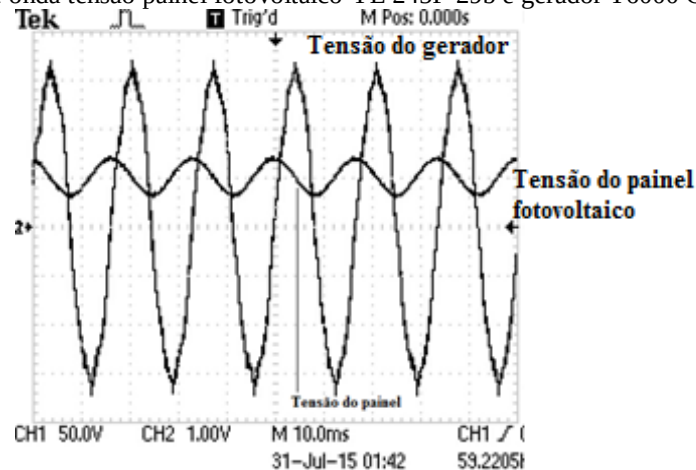
Fonte: (autor)

Do gráfico da Figura 67 nota-se o decréscimo da tensão na saída do gerador Toyama CYE 6000 quando gerador e painel fotovoltaico YL 245P-29b estão em paralelo.

Nota-se que o resultado foi diferente do resultado obtido no experimento 3.4.5, 3.4.7, Tabelas 17 e 18, respectivamente onde houve um acréscimo da tensão no barramento quando gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b conectados em paralelo e alimentando a carga 200 W a 1000W.

A Figura 68 mostra as formas de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b e do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com carga de 200 W a 1000 W.

Figura 68 - Forma de onda tensão painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador T6000 CYE.

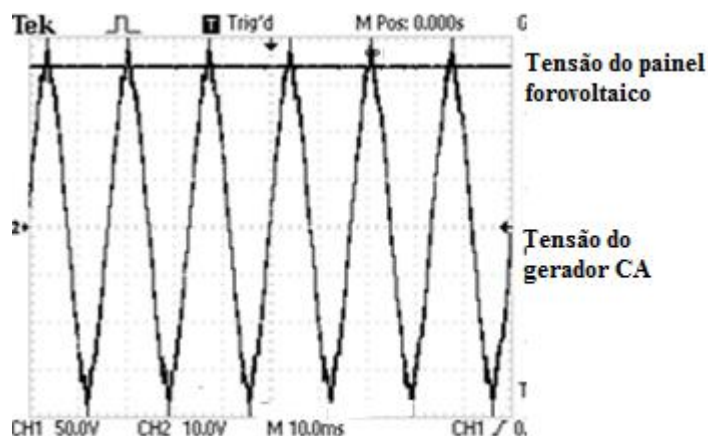


Fonte: (autor)

Na Figura 68 as formas de onda apresentadas foram medidas na entrada do barramento mostrando a tensão no gerador T6000 CYE e do painel fotovoltaico YL 245P-29b com uma ondulação e a queda de tensão que houve em relação ao painel sem carga de Figura 68.

A Figura 69 mostra as formas de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b e do gerador T6000 CYE desligados do barramento.

Figura 69 - Forma de onda tensão painel fotovoltaico YL 245P-29b e gerador T6000 CYE.



Fonte: (autor)

O valor da frequência da tensão do gerador T6000 CYE permaneceu constante em 60 Hz.

4.8.1. Experimento 3.4.13: Painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor 150 mH.

Esse experimento foi realizado com o indutor ajustado em 150 mH e a carga variando de 400 a 1084W, conforme Tabela 27.

A Tabela 27 mostra os valores medidos das potências ativa do gerador e painel fotovoltaico YL 245P-29b interligados e do gerador T6000 CYE, no barramento de interligação com a carga.

Tabela 27 – Potência ativa no barramento.

P_{g+p} [W]	P_g [W]	V%
330,3	349	-5,66152
490,3	515,3	-5,09892
860	882,3	-2,59302
920	932	-1,30435
1150	1205	-4,78261

A Tabela 27 mostrou um decréscimo percentual da potência ativa quando gerador estão em paralelo e a coluna da variação percentual aparece negativa com uma média de 3,89%.

A Tabela 28 mostra as medições realizadas das tensões do gerador T6000 CYE com o painel fotovoltaico em paralelo YL 245P-29b e somente o gerador alimentando a carga.

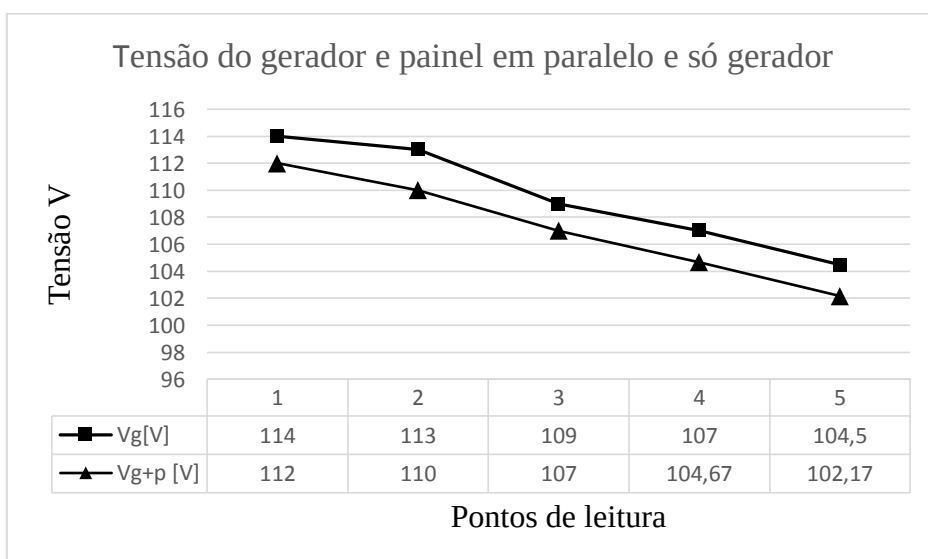
Tabela 28 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente com o gerador.

$V_g[V]$	$V_{g+p}[V]$	%
114	112	-1,78571
113	110	-2,72727
109	107	-1,86916
107	104,67	-2,22604
104,5	102,17	-2,28051

Da Tabela 28 a tensão manteve a mesma variação do experimento 4.8 (Tabela 25), com o indutor ajustado em 100 mH, ou seja, redução do valor da tensão quando do gerador em paralelo com o painel fotovoltaico alimentando a carga, como mostrada na coluna da variação percentual com valores negativos.

A Figura 70 mostra os resultados das medições apresentadas na Tabela 28 em forma de gráfico.

Figura 70 – Gráfico da tensão gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador.

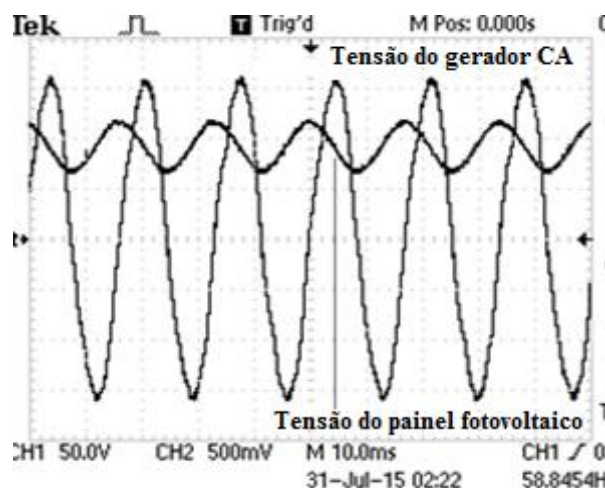


Fonte: (autor)

No gráfico da Figura 70 houve também a queda de tensão quando o gerador T6000 CYE e o painel fotovoltaico YL 245P-29b foram ligados em paralelo.

A Figura 71 mostra as formas de onda do painel fotovoltaico em paralelo e com carga.

Figura 71– Formas de onda painel fotovoltaico e gerador CA em paralelo.



Fonte: (autor)

Na Figura 71 as formas de onda apresentadas foram medidas na entrada do barramento mostrando a tensão do gerador com uma queda de tensão em relação a da Figura 68, gerador sem carga, e uma queda também em relação a da Figura 68. O valor da carga do experimento 4.6 foi de 400W e do experimento 4.7 foi de 600W, sendo a queda de tensão maior também devido ao aumento da carga.

4.8.2. Experimento 3.4.14: Painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25 A e gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V e indutor 200 mH.

Esse experimento foi realizado com o indutor ajustado em 200 mH com a carga variando de 1020 a 1870 W, conforme a Tabela 30.

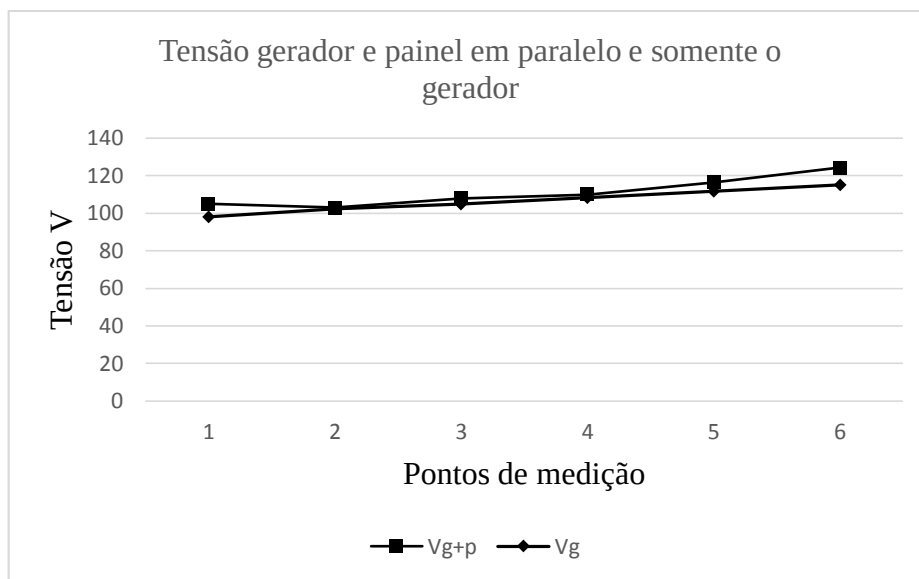
A Tabela 29 mostra as medições realizadas das tensões do gerador Toyama CYE 6000 com painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador alimentando a carga.

Tabela 29 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.

$V_{g+p}[V]$	$V_g[V]$	%
104,9	98	7,04
102,9	102,3	0,59
107,8	104,7	2,96
109,8	108,367	1,32
116,25	111,72	4,05
124,21	115,07	7,94

A Figura 72 mostra os resultados das medições, apresentadas na Tabela 29, em forma de gráfico.

Figura 72 – Gráfico da tensão gerador T6000 CYE com painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador.

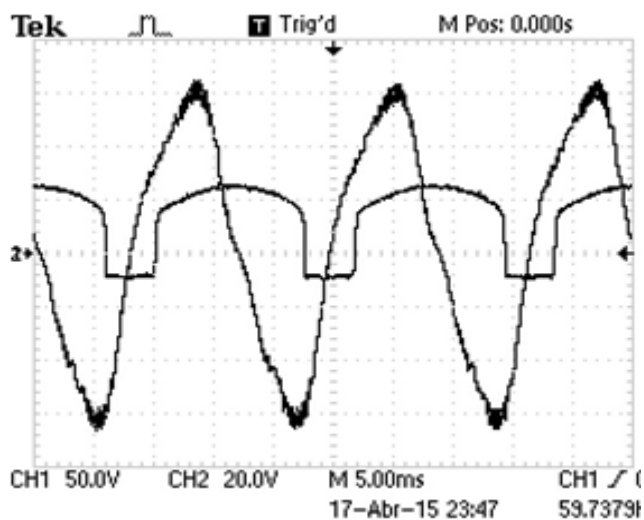


Fonte: (autor)

No gráfico da Figura 72 houve um leve acréscimo da tensão quando o gerador T6000 CYE está em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b.

A Figura 73 mostra as formas de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b e do gerador T6000 CYE em paralelo com carga variando de 1030 W a 1865 W.

Figura 73 – Gráfico da tensão gerador T6000 CYE com painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e do gerador CA.



Fonte: (autor)

Na Figura 73 as formas de onda apresentadas foram medidas na entrada do barramento mostrando a tensão do gerador CA e do painel com uma ondulação.

A Tabela 30 mostra os valores medidos no barramento de interligação gerador, painel fotovoltaico e carga das potências do gerador e painel interligados e do gerador.

Tabela 30 – Potência ativa no barramento.

$P_{g+p}[W]$	$P_g[W]$	%
1865	1865	0,00
1548	1548	0,00
1330	1340	-0,75
1146	1156	-0,87
1035	1045	-0,97
1025	1030	-0,49

Para esse experimento houve um pequeno decréscimo da potência ativa fornecida ao barramento pela associação do gerador em paralelo com o painel fotovoltaico.

A partir do experimento 4.8 foram realizados com o indutor ajustável de 50mH à 500mH e o mesmo conjunto de geração com o gerador diesel e o painel fotovoltaico Yingli, conectado em série com um indutor ajustado em 100 mH.

Com esse indutor foram realizados dois experimentos variando o valor da carga.

Analisando os dados do experimento 4.8.2, carga entre 1020W a 1870W, iniciando pela Tabela 30 e gráfico 72, notou-se que para esse indutor de 200 mH em série com o painel fotovoltaico, houve acréscimo na tensão e na média dos valores da Tabela 29 em torno de 3,98%. Esse acréscimo significa que houve uma compensação de tensão no barramento de interligação; pois normalmente os equipamentos de geração com acréscimo da carga sofrem uma queda de tensão. Em relação às formas de onda da Figura 73 houve um aumento na ondulação na onda do painel fotovoltaico, mas isso não prejudicou seu desempenho no fornecimento de potência. Existe a ondulação, mas mantém o valor do nível CC em 33V aproximadamente, Figura 73, sendo a escala da onda CC de 20V/divisão.

Da Tabela 30 verificou-se que para o valor de potência a média foi de 1325W e ocorreu um pequeno decréscimo em torno de 0,51%, ou seja, na associação do painel fotovoltaico CC com o gerador CA não conseguiu agregar potência a ser fornecida para carga com a tensão do barramento sendo mantida estável.

4.8.3. Experimento 3.4.15: Painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V e indutor 200 mH.

Esse experimento foi realizado utilizando o indutor ajustado em 200 mH com a carga variando de 120W a 880W, conforme Tabela 32. O gerador e o painel fotovoltaico são os mesmos do experimento 4.8.

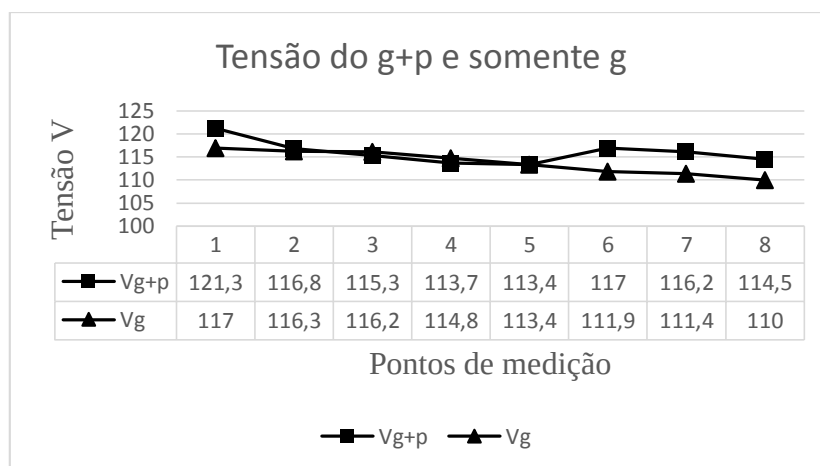
Da Tabela 31 houve a tendência da tensão estabilizar com a acréscimo da carga, seguindo a mesma tendência da Tabela 29, experimento 4.8.2, o que demonstrou uma compensação da tensão no barramento de interligação devido ao painel fotovoltaico estar em paralelo e utilizando o indutor com a variação percentual média de 1,92 a mais, mantendo a tensão estável.

Tabela 31 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador

$V_{g+p}(V)$	$V_g(V)$	%
121,3	117	3,68
116,8	116,3	0,43
115,3	116,2	-0,77
113,7	114,8	-0,96
113,4	113,4	0,00
117	111,9	4,56
116,2	111,4	4,31
114,5	110	4,09

Da Tabela 31 houve um pequeno acréscimo no valor da tensão quando gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b alimentaram a carga.

Figura 74 – Tensão do gerador T6000 CYE em paralelo com painel fotovoltaico e somente o gerador.

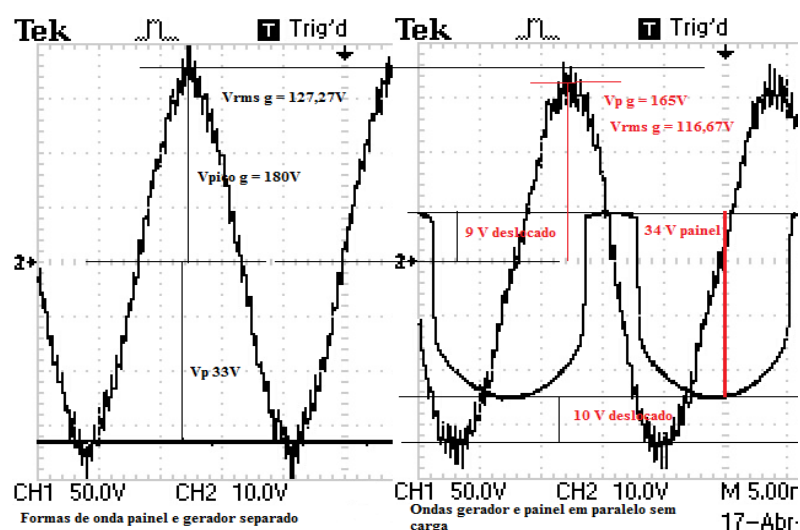


Fonte: (autor)

Da Figura 74 houve a sequência de aumento da carga e o pequeno acréscimo de tensão.

Na Figura 75 as formas de onda medidas no osciloscópio em duas situações, com os equipamentos desligados da interligação ao barramento e interligados sem carga, verificou-se uma alteração no valor da tensão de pico do gerador CA e um deslocamento na onda do painel de 10V e aparecimento da ondulação, mas mantendo a tensão em 34V CC.

Figura 75– Formas de onda gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b separados e em paralelo sem carga.



Fonte: (autor)

Na Figura 75 foram apresentadas as formas de onda do gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b separados e em paralelo sem carga onde houve a mesma ondulação das Figuras 73 e 77. Também mantendo o nível CC de 34 V, embora com um deslocamento de 10V, em relação ao eixo horizontal. Na tensão CA do gerador houve uma queda de 180V de pico para 165V, semelhantes aos outros experimentos.

Na Tabela 32 os valores da potência com o gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico YL 245P-29b interligados ao barramento com carga e somente o gerador há maior quantidade de acréscimos na potência com a variação da carga.

Tabela 32 – Potência do gerador T6000 CYE em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador.

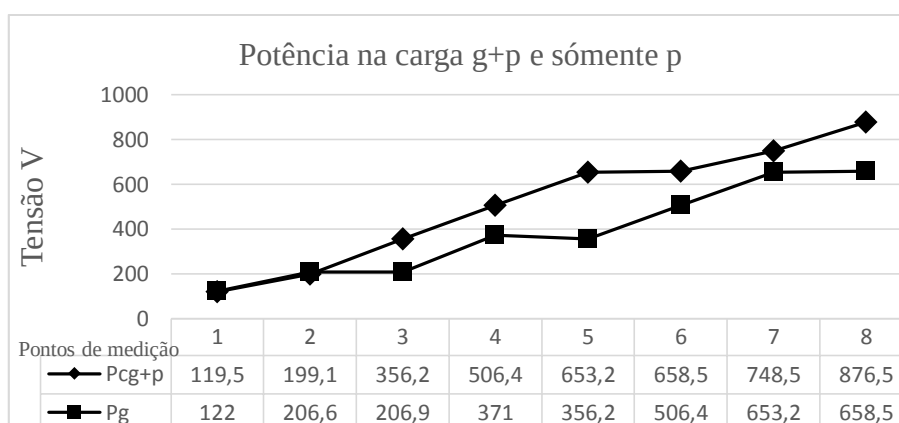
Pg+p(W)	Pg(W)	%
119,5	122	-2,0492
199,1	206,6	-3,6302
356,2	206,9	72,1605
506,4	371	36,496
653,2	356,2	83,3801
658,5	506,4	30,0355
748,5	653,2	14,5897
876,5	658,5	33,1055

Da mesma forma, analisando a Tabela 32 da potência ativa ocorreu também um acréscimo na potência ativa significativo em torno de 33% na média a mais da potência gerador com o painel fotovoltaico e somente o gerador. Comparando esse resultado com o da Tabela 28 de tensão, experimento 4.8.1, mostrou que para potência até aproximadamente 1kW, a eficiência do gerador e do painel houve um acréscimo. Tal diferença da eficiência de uma carga para outra pode ser em razão do próprio rendimento do gerador diesel que tem como potência máxima de 5,5kW, apesar da potência da carga não ultrapassar os 2kW.

Houve uma transferência mínima de potência do painel fotovoltaico somada à potência do gerador para manter a tendência de linearidade de acréscimo da potência na carga.

O gráfico da Figura 76 mostra como ocorre a variação da potência no barramento quando os equipamentos geradores estão interligados em paralelo no barramento e somente o gerador.

Figura 76 - Potência do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com painel fotovoltaico e somente o gerador.

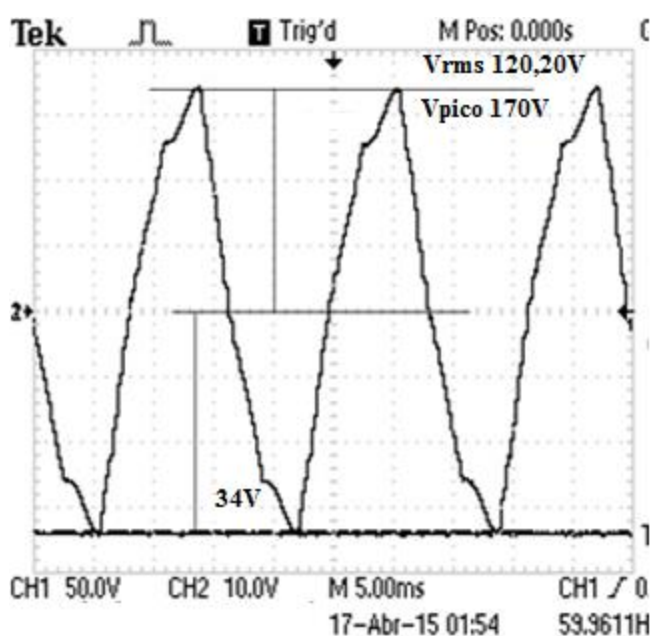


Fonte: (autor)

O gráfico da Figura 76 mostrou a variação da potência do gerador Toyama CYE 6000 mais o painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com carga e somente o gerador com carga, demonstrando que existe um acréscimo já citado em média de 33%. Assim há transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para a associação mantendo um ganho de potência ativa para esse nível de carga, que foi abaixo do limite do gerador e do painel fotovoltaico.

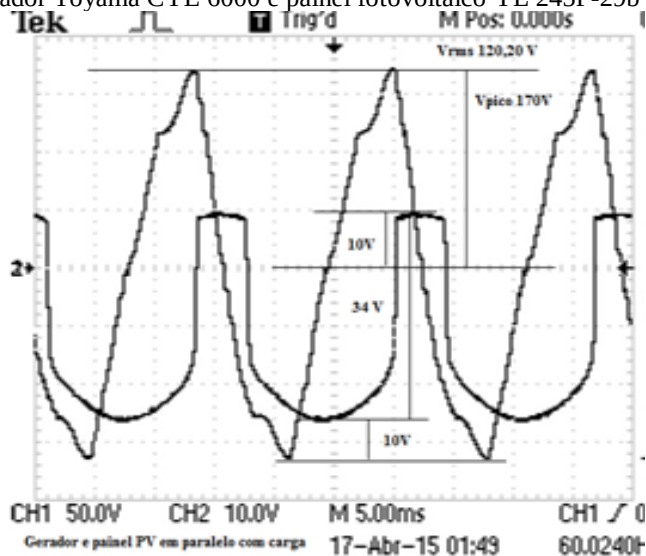
As Figuras 75 e 77 apresentam tensão somente do gerador com carga e do gerador e painel em paralelo com carga.

Figura 77 – Tensão do gerador Toyama CYE 6000 com carga de 120W a 880W.



Fonte: (autor)

Figura 78 - Tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com carga.



Fonte: (autor)

As Figuras 75 e 77 mostraram também a associação em paralelo do gerador Toyama CYE 6000 e com painel fotovoltaico YL 245P-29b e depois somente o gerador com carga. Notou-se que a tensão do gerador manteve estável e novamente a tensão do painel ganha uma ondulação com valores de 34V CC, que foi o valor medido no amperímetro alicate ajustado para tensão CC. E ocorreu novamente o deslocamento de 10V na onda CC como o ocorrido na Figura 73 do experimento 4.8.2. Mesmo com essa ondulação houve a transferência de potência ativa como foi sendo comprovado no experimento.

4.8.4 Experimento 3.4.16: Painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V e indutor 300 mH.

Utilizou-se os mesmos equipamentos do experimento 4.7 e o indutor de 300mH.

Nas Tabelas 31 e 32, da tensão e potência respectivamente ocorreu um acréscimo em média para a tensão de 5,11%, quando o gerador Toyama CYE 6000 estava em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b, em relação, ao gerador alimentando a carga. Ocorreu o mesmo para a potência com o percentual médio de acréscimo de 3,3%, pois existiram três valores nas linhas 6, 7 e 8 que são valores negativo, havendo decréscimo da potência ativa.

Na Tabela 33 a variação da tensão da associação gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b teve um acréscimo de tensão em relação a tensão somente do gerador.

Tabela 33 – Tensão do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e só o gerador.

$V_g + V_p [V]$	$V_g [V]$	%
122,6	117,5	4,34
121,4	116,2	4,48
120,9	115	5,13
119,7	113,5	5,46
119,1	113,7	4,75
117,7	112,1	5,00
116,3	110,7	5,06
116,2	108,9	6,70

Na Tabela 33 o acréscimo de potência para o gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo atingiu valor 119,7 V e começou a diminuir levemente, com uma variação percentual média de 5,11%.

A Tabela 34 mostra a variação das medidas de potência ativa medida realizadas no barramento de interligação gerador CA, painel fotovoltaico YL 245P-29b e a carga consumidora.

Tabela 34 – Potência ativa no barramento gerador e painel fotovoltaico.

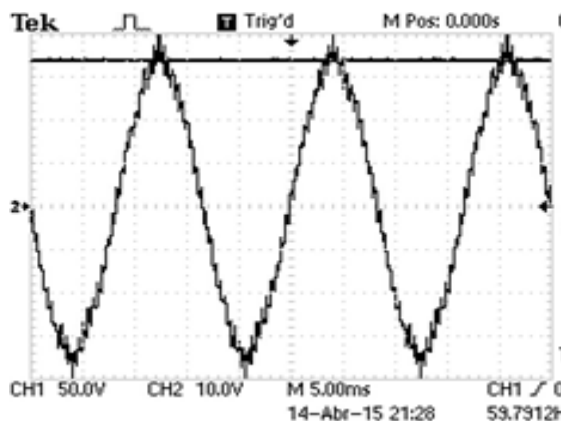
$P_{g+p}[W]$	$P_g[W]$	%
90,5	76,1	18,92
215,1	200,4	7,34
296,7	284,6	4,25
455	446,5	1,90
534,5	511	4,60
665	666,4	-0,21
807,5	808,8	-0,16
806,4	898,5	-10,25

Na Tabela 34 apesar de existir um decréscimo na potência ativa a partir de 665 W, na média houve um acréscimo de 3,30%.

Na Figura 79 as formas de onda da tensão no gerador Toyama CYE 6000 e no painel fotovoltaico YL 245P-29b são praticamente as mesmas das Figuras 73 e 75 dos experimentos 3.4.12.2 e 3.4.12.3, respectivamente, repetindo a mesma ondulação e valores; mesmo assim houve a transferência de potência ativa do painel para a associação em paralelo no barramento. Logo, mostrou-se que o indutor de 300 mH permitiu a transferência de potência ativa para a carga consumidora.

Na Figura 79 as formas de onda apresentadas mostraram as tensões do gerador e do painel sem carga e desligados do barramento.

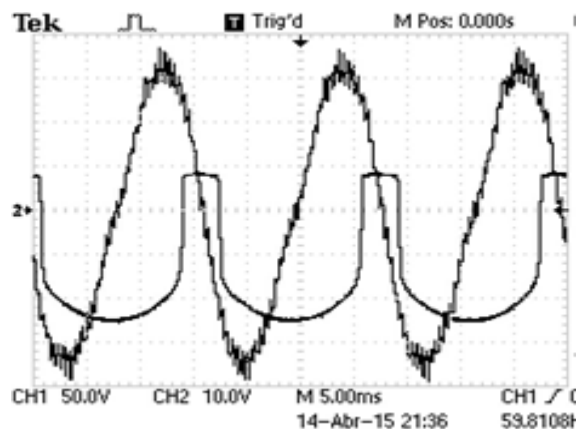
Figura 79 – Tensão do gerador Toyama e do painel fotovoltaico YL 245P-29b sem carga.



Fonte: (autor)

A forma de onda apresentada na Figura 80 mostrou uma alteração na onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b, apresentando uma ondulação. A alteração da polaridade foi devido a uma inversão na ligação da ponta de prova do osciloscópio. Nesse caso o painel fotovoltaico YL 245P-29b e o gerador T6000 CYE estão interligados ao barramento, mas com a carga desligada.

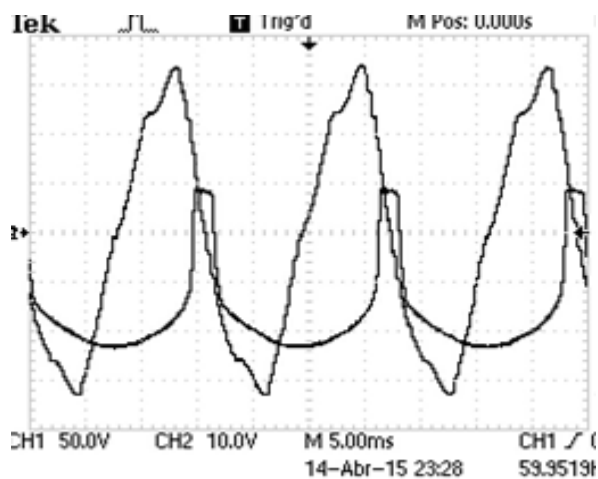
Figura 80 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo sem carga.



Fonte: (autor)

A forma de onda apresentada na Figura 81 mostrou também uma alteração na onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b como também uma pequena alteração no valor da onda do gerador Toyama CYE 6000, conectados ao barramento, com carga de 806,4 W medidos no gerador.

Figura 81 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com carga.



Fonte: (autor)

Comparando as Figuras 80 sem carga e 81 com carga houve uma deformação na onda do gerador na Figura 74 e uma redução do valor de 5,5%. A distorção apareceu em função da circulação de corrente pelo estator pela colocação da carga.

4.8.5 Experimento 3.4.17: Pannel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 450 mH.

Utilizou-se os mesmos equipamentos do experimento 4.7 e ajustando o indutor em 450 mH.

Na Tabela 35 foram apresentadas as medições de tensão realizadas no gerador Toyama CYE 6000 e pannel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente o gerador com carga.

Tabela 35 – Medições da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e pannel fotovoltaico YL 245P-29b.

V_g [V]	V_{g+p} [V]	%
118	123,5	4,66
116,8	122,8	5,14
116,8	122,7	5,05
116,6	122,5	5,06
115,7	121,6	5,10
114,7	120,6	5,14
113,9	119,9	5,27

A Tabela 35 mostrou que o gerador e pannel em paralelo e alimentando a carga ocorreu um pequeno acréscimo no valor RMS da tensão no barramento, com uma média percentual de 5,06 %.

Na Tabela 34 também houve um acréscimo na potência ativa na maioria das leituras.

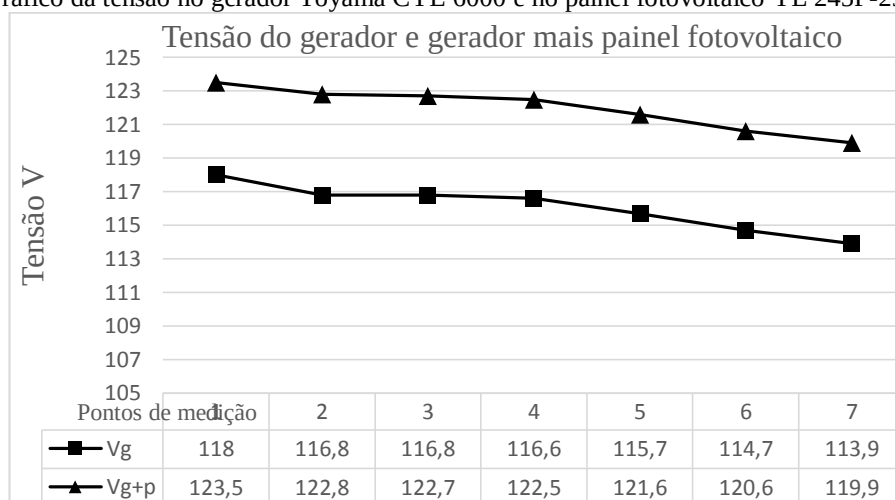
Tabela 36 – Potência ativa do gerador Toyama CYE 6000 e pannel fotovoltaico YL 245P-29b.

P_g [W]	P_{g+p} [W]	%
43,4	44,3	2,07
113,1	133,3	17,86
158	154,5	-2,22
179,4	180,5	0,61
285	292,2	2,53
399,2	406	1,70
466,3	483,7	3,73

A Tabela 35 apresentou as medições da tensão do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e só o gerador alimentando a carga, ocorreu novamente um acréscimo tanto na tensão quanto na potência ativa. O acréscimo na tensão foi na média de 5,06% e para a potência ativa foi de 3,76%. Ocorreu um valor de potência negativo em torno de -2,22%. Na Tabela 36 foi verificado que outros valores atingiram percentuais que compensaram esse valor.

O gráfico da Figura 82 mostrou um acréscimo no valor RMS da tensão do gerador Toyama CYE 6000 quando associado em paralelo ao painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Figura 82 – Gráfico da tensão no gerador Toyama CYE 6000 e no painel fotovoltaico YL 245P-29b.

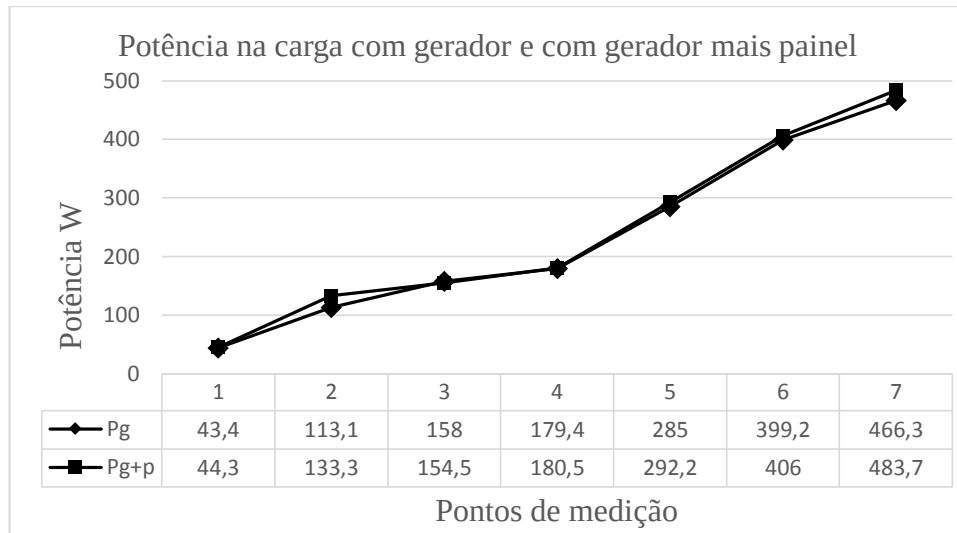


Fonte: (autor)

Na Figura 82 o gráfico da tensão mostrou o acréscimo ocorrido na tensão, compensando dessa forma as perdas normais da máquina geradora CA e ainda houve um acréscimo.

No gráfico da Figura 83 notou-se um leve acréscimo na potência ativa quando o painel fotovoltaico foi conectado em paralelo com o gerador.

Figura 83 – Gráfico da potência no gerador T6000 CYE e painel fotovoltaico e somente o gerador.

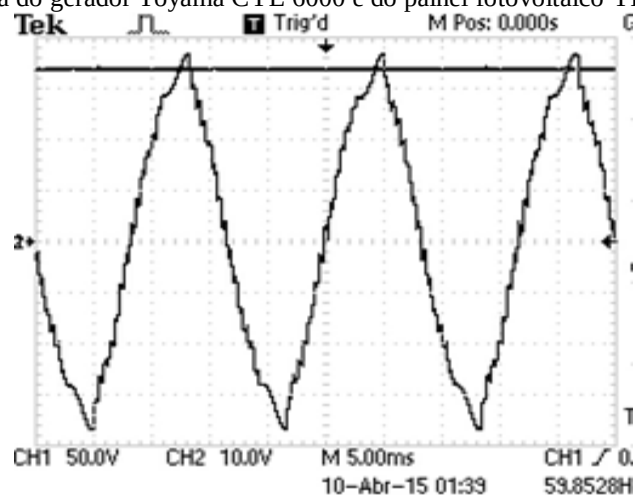


Fonte: (autor)

Na Figura 83 o gráfico da potência ativa mostrou que existiu uma regularidade na potência ativa quando o gerador CA e o painel fotovoltaico estão em paralelo no barramento alimentando a carga houve acréscimo porque os valores são maiores em relação a somente o gerador, comprovando novamente que o indutor permitiu a transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para a carga.

O gráfico da Figura 84 mostrou a forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b desligados do barramento.

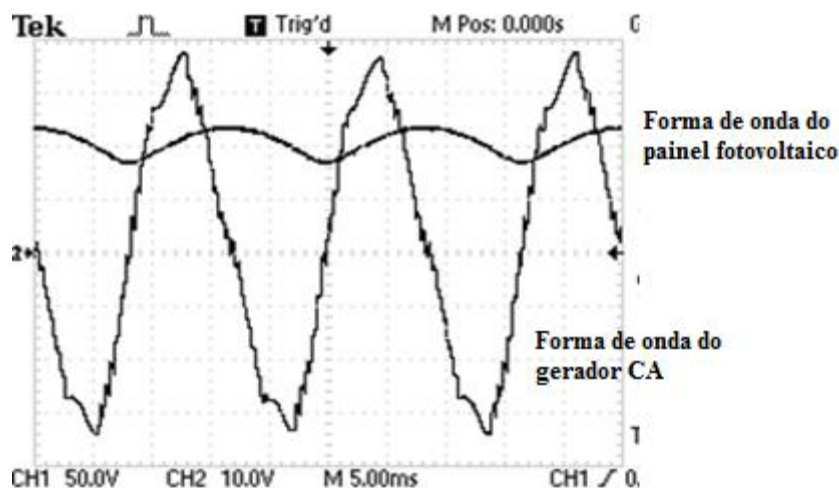
Figura 84 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b separados.



Fonte: (autor)

No gráfico da Figura 85 notou-se novamente uma pequena alteração na forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Figura 85 – Forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b ligados em paralelo.



Fonte: (autor)

Nas Figuras 84 e 85 estão representadas as formas de onda do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b desligados do barramento e ligados ao barramento alimentando a carga, respectivamente; mostrando que houve uma redução na ondulação da tensão CC do painel fotovoltaico, mantendo o seu nível em 16V no vale e 24V no pico. E novamente o indutor de 450mH permitiu a transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para a associação. A distorção da onda de tensão CA foi mantida para as duas situações.

Verificou-se que essas distorções não têm influência direta na redução da transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para a associação dos equipamentos geradores.

4.8.6. Experimento 3.4.18: Painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A e gerador diesel Toyama 5,5 kW 220V/110V, indutor 500 mH.

Utilizou-se os mesmos equipamentos do experimento 4.7 e o indutor ajustado para 500 mH.

Na Tabela 37 foram apresentadas as medições de tensão realizadas no gerador e no painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente no gerador Toyama CYE 6000 com carga.

Na Tabela 37 notou-se que existiu um acréscimo no valor RMS da tensão do gerador Toyama CYE 6000 quando em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b.

Tabela 37 – Tensão no gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo e somente no gerador.

V_g [V]	V_{g+p} [V]	%
117,6	123,8	5,27
116,9	123,8	5,90
116,7	122,4	4,88
116,6	122,5	5,06
115,8	121,7	5,09
114,9	121,3	5,57

A Tabela 38 apresenta as medições de potência ativa realizadas na saída do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b e a média percentual de acréscimo de 5,30%.

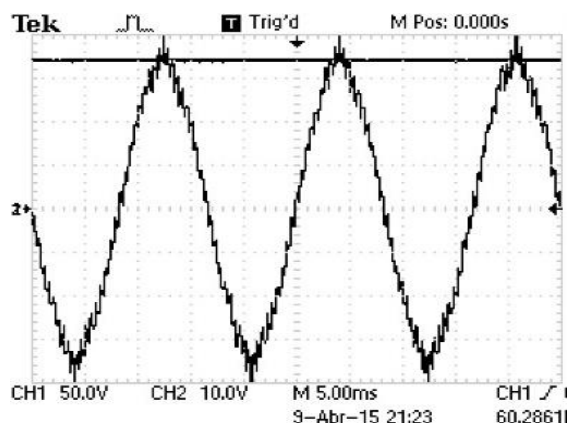
Tabela 38 – Potência no gerador e painel em paralelo e somente o gerador.

P_{g+p} [W]	P_g [W]	%
47,8	42,6	12,21
134,5	129,9	3,54
158,8	155	2,45
181	178	1,69
287,4	281,5	2,10

As Tabelas 37 e 38, apresentaram as medições da tensão do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com painel fotovoltaico YL 245P-29b e somente o gerador alimentando uma carga, e para a potência ativa e tensão ocorreu um acréscimo. O acréscimo na tensão foi na média de 5,3%, para a potência de 4,4% e nenhum valor de potência ativa negativo. Essa é uma ocorrência diferente dos outros experimentos anteriores, o que mostrou que esse valor de indutor melhorou o desempenho da transferência de potência do painel para a associação.

Na Figura 86, como o gerador e painel fotovoltaico estão desligados do barramento, as formas de onda mostradas estão sem qualquer tipo de distorção.

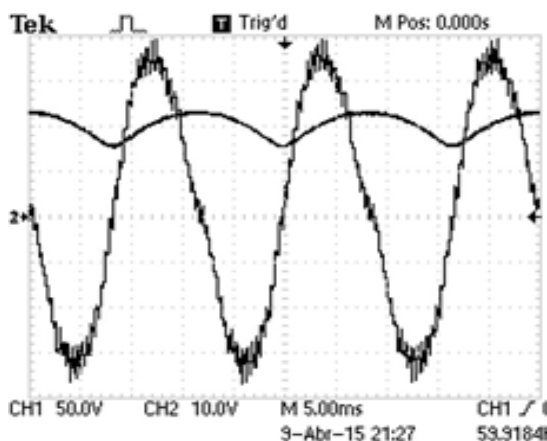
Figura 86 – Forma de onda da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b separados.



Fonte: (autor)

Das formas de onda da Figura 87 notou-se que houve uma alteração na forma de onda do painel fotovoltaico YL 245P-29b, mostrando uma ondulação em relação à forma de onda das Figuras 68 e 71.

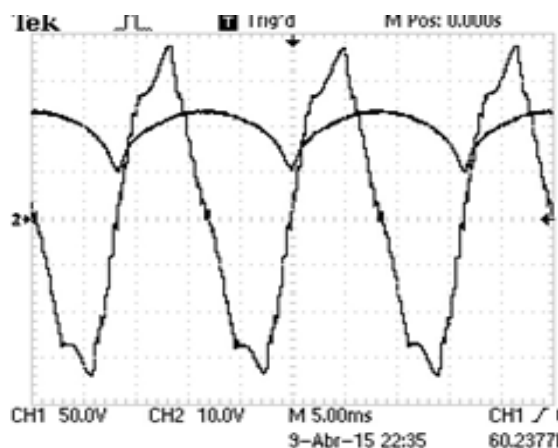
Figura 87 – Forma de onda da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo sem carga.



Fonte: (autor)

Nas formas de onda da Figura 88 notou-se que houve um aumento na ondulação no sinal da forma onda do painel fotovoltaico e também na forma de onda do gerador em relação às formas de onda da Figura 87, isso devido à introdução da carga no barramento com 335W.

Figura 88 – Forma de onda da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b em paralelo com a carga.



Fonte: (autor)

Nas Figuras 86 e 87, onde estão representadas as formas de onda do gerador e do painel desligados do barramento e ligados ao barramento sem a carga, respectivamente, mostra que houve uma redução na ondulação da tensão CC do painel fotovoltaico, como no experimento 4.8.5, Figura 88. Na Figura 89 a forma de onda mostrou que houve uma alteração na ondulação devido a colocação de carga no barramento em torno de 335W e uma pequena queda de tensão em relação à da Figura 86. Na onda da Figura 87 a tensão do painel fotovoltaico é de 16V no vale e 22V no pico, e na onda da Figura 88 a tensão do painel PV é de 10V no vale, 23V no pico e a leitura do voltímetro CC foi de 22,38V para a onda da Figura 65 foi de 22,23V para a onda da Figura 85. Na onda de tensão CA da Figura 87 também apareceu um aumento da distorção das ondas. Isso ocorre devido ao aumento da carga, aumentando a intensidade de corrente que circula no indutor provocando dessa forma um aumento da indutância o que pode ser um fator para aumentar essa distorção na onda CA e na onda CC o aumento da ondulação.

O experimento 4.8.2 foi realizado com potências ativa entre 1030W e 1880W, houve uma ondulação bem significativa na forma de onda do painel fotovoltaico conforme a Figura 73. Nesse caso a intensidade de corrente foi maior circulando pelo painel fotovoltaico e pelo indutor.

4.8.7 Experimento 3.4.19: Painel fotovoltaico Yingli 245W/29,6V/8,25A, painel fotovoltaico Astro Solar 240W/30V/7,93A e gerador diesel Toyama 5,5 kW/220V/110V, indutor 400 mH.

Utilizando-se o mesmo gerador diesel Toyama CYE 6000 e painel YL 245P-29b do experimento 4.7 e com um painel Astro Solar, 240W/30V/7,93 A em paralelo e o indutor de 400 mH.

Na Tabela 39 são apresentadas as medições de tensão realizadas no gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A em paralelo e somente gerador com carga.

Tabela 39 – Medições da tensão gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A.

Vg(V)	Vg+p(V)	%	Vp(V)	Vp+g(V)	%	Observação
118,1	120	1,61	32,4	23,03	-28,92	Sem carga
118,1	119,1	0,85	32,71	23,13	-29,29	Com carga
120	124,4	3,67	32,5	23,12	-28,86	Com carga
117	121,3	3,68	32,78	23,48	-28,37	Com carga
115,6	119,8	3,63	32,83	23,46	-28,54	Com carga
111,1	116,6	4,95	33,18	23,64	-28,75	Com carga
112,4	113,3	0,80	33	23,69	-28,21	Com carga
108	110,7	2,50	32,98	23,84	-27,71	Com carga
106,9	107,1	0,19	32,53	23,31	-28,34	Com carga

A Tabela 39 mostrou que o gerador e painel em paralelo alimentando a carga ocorre um pequeno acréscimo no valor RMS da tensão sobre o barramento. A tensão do painel, quando está em paralelo com o gerador e alimentando a carga, sofre uma queda de tensão que é normal pois com carga está circulando uma corrente de 10,42A pelo painel fotovoltaico que foi aproximadamente 63,34% da corrente nominal (16,18 A) dos dois painéis.

Na Tabela 40 são apresentadas as medições de potência ativa no gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A em paralelo e somente o gerador, ambos com carga.

Tabela 40 – Potência do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A.

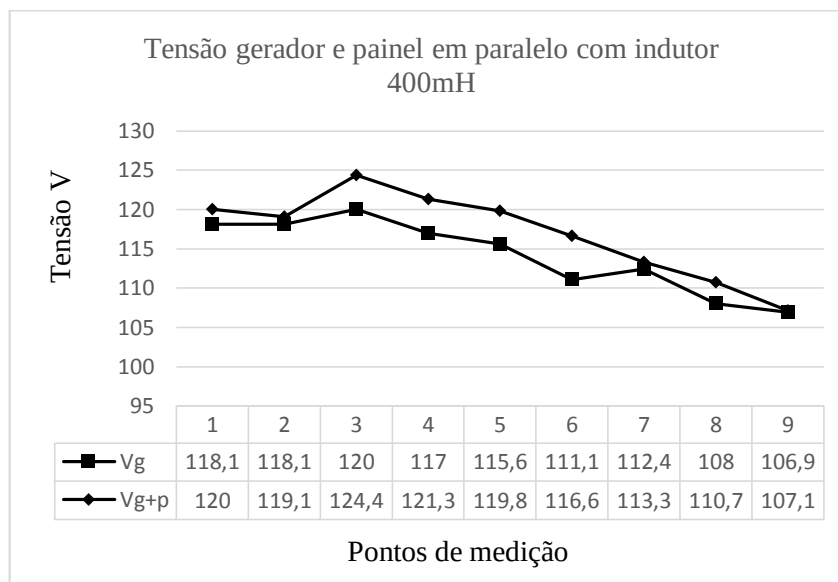
Pg[W]	Pg+p[W]	%
118,1	124,2	5,17
295,5	306,5	3,72
622,2	636,5	2,30
778,7	792,5	1,77
1076	1079	0,28
1349	1349	0,00
1532	1520	-0,78
1755	1750	-0,28

As Tabelas 40 e 41, que apresentaram as medições da tensão do gerador em paralelo com os dois painéis e só o gerador alimentando uma carga, com a potência ativa da mesma forma, ocorreu um acréscimo tanto na tensão quanto na potência ativa. O acréscimo na tensão foi na média de 2,43% e para a potência ativa foi de 1,52%. Sobre a potência ativa ocorreu dois valores de potência negativo e um que foi nulo, mas ainda ocorreu uma transferência de potência ativa para do painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A para o barramento.

Na Tabela 40, analisando as variações nas tensões do painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A em paralelo e fora da associação, ocorre uma queda de tensão devido à circulação de corrente pelos painéis em função da carga, ocorrência normal pois tem a resistência interna do equipamento, mas mantendo uma regularidade na tensão.

Na Figura 89 houve o acréscimo no valor da tensão quando colocado em paralelo o painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A com o gerador Toyama CYE 6000 alimentado a carga.

Figura 89 – Gráfico da tensão do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A.

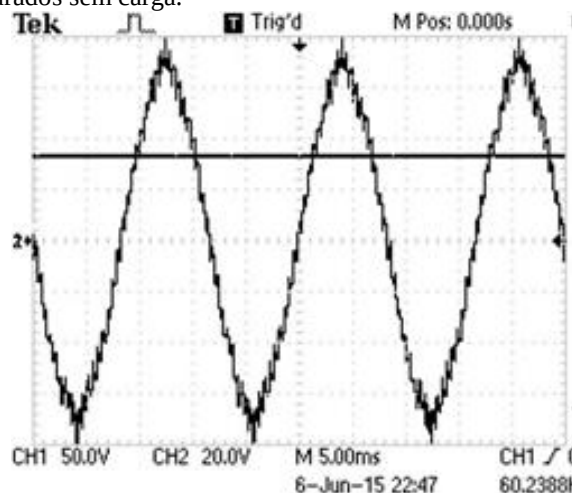


Fonte: (autor)

Nos gráficos da Figura 89 mostram também uma regularidade no valor da tensão do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo e somente o gerador e ainda um acréscimo no valor.

Na Figura 90, com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A e o gerador Toyama CYE 6000 desligados e sem carga, nota-se que não houve alteração na forma de onda tanto da tensão do gerador quanto do painel fotovoltaico.

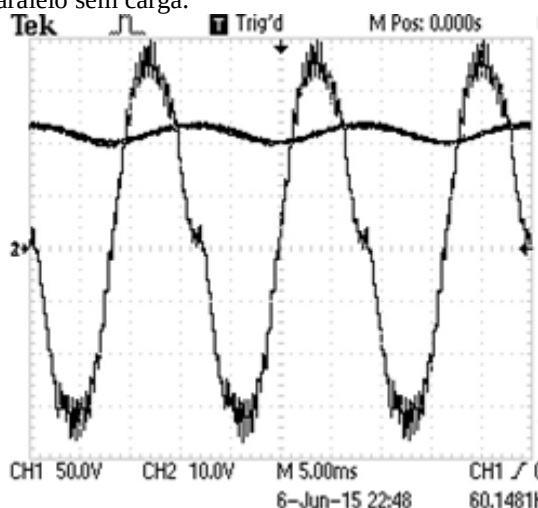
Figura 90 – Forma de onda de tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A separados sem carga.



Fonte: (autor)

Na Figura 91, com a interligação do painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A no barramento em paralelo com o gerador Toyama CYE 6000, notou-se uma pequena alteração nas formas de onda de ambos.

Figura 91– Forma de onda de tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A em paralelo sem carga.



Fonte: (autor)

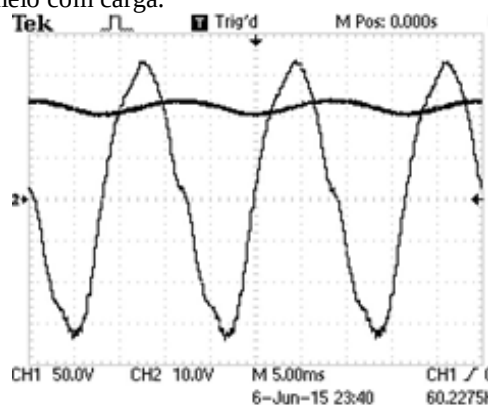
As Figuras 91 e 92 mostram uma alteração na forma de onda CA do gerador, apareceu uma pequena distorção em relação a Figura 83, quando estão em paralelo sem e carga, o que é uma ocorrência normal em função da influência de uma tensão sobre outra. Ela foi reduzida pela utilização do indutor, que para o gerador representa uma impedância de valor alto impedindo a injeção da tensão CA no painel, e o mesmo representar uma carga para o gerador. E para o painel o indutor representou um curto, resistência ôhmica igual a zero, como demonstrado no item 3.4.1, equação 2; dessa forma a potência produzida no painel flui direto

para o barramento da associação, somando à potência do gerador e aumento da potência ativa fornecida à carga.

Na Figura 92 a forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 em paralelo com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e painel fotovoltaico Astro Solar, 240W/30V/7,93A e com carga ocorre uma ondulação na onda do painel fotovoltaico comparando com a onda da Figura 88. Isso foi devido à associação em paralelo com o gerador; mesmo com o indutor em série e funcionando como filtro acontece essa pequena ondulação, Figura 90, a qual não interfere na transferência de potência do painel fotovoltaico para o barramento da associação e consequentemente para a carga. Da Tabela 38 os valores da tensão V_{p+g} tensão do painel fotovoltaico em paralelo com o gerador CA, que foi a tensão CC medida com o voltímetro CC.

Na Figura 92 houve novamente uma alteração na forma de onda do gerador Toyama CYE 6000 e do painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93 A com uma potência medida na carga de 782,5W.

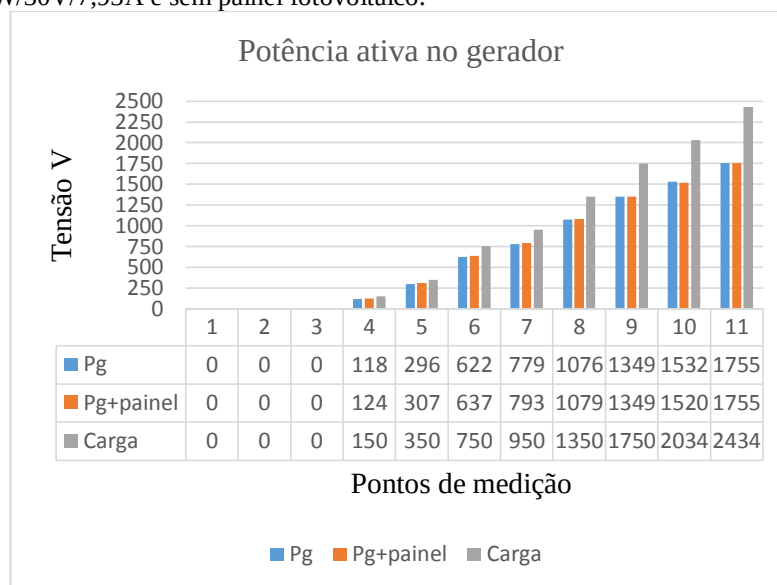
Figura 92 – Forma de onda de tensão do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A em paralelo com carga.



Fonte: (autor)

Na Figura 93 houve novamente o acréscimo de potência ativa no barramento de alimentação da carga com a colocação do gerador Toyama CYE 6000 e painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A em paralelo.

Figura 93 – Gráfico da variação da potência do gerador Toyama CYE 6000 com painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A e sem painel fotovoltaico.



Fonte: (autor)

O item carga no gráfico da Figura 93 foi a potência ativa instalada no conjunto de cargas composto por lâmpadas, ou seja, o valor que está escrito em cada uma delas.

Na Figura 93 o gráfico mostra a variação da potência na carga, com o gerador em paralelo com o painel fotovoltaico e sozinho, e o acréscimo de potência e no mínimo a manutenção do valor entre as duas situações. A redução do valor da potência do painel fotovoltaico associado ao gerador ocorreu somente para um valor, quando a potência está em 1532W, só o gerador, e para gerador e painel quando a potência foi de 1520W. Os valores que se igualaram foram para a potência de 1755W, o que comprovou o ocorrido no experimento 3.8 com a potência da carga variando de 1020W a 1870W, quando os valores ficaram mais próximos do limite do gerador Toyama CYE 6000 e também o painel fotovoltaico YL 245P-29b e Astro Solar, 240W/30V/7,93A atingiu valor de corrente próximo ao nominal.

Nos experimentos realizados nos itens 4.8, 4.8.1 e 4.8.2, utilizaram os indutores em série com o painel, com cargas acima de 1100W, ocorreu uma queda no fornecimento de potência do painel fotovoltaico a associação. Tal redução ocorreu não só por estar próximo do limite nominal do gerador e do painel, mas também em função do aumento da intensidade de corrente circulando pelo gerador, pelo painel fotovoltaico e também pelo indutor, provocando aumento nas perdas de potência devido às resistências internas dos mesmos. No indutor ocorreu mais um fator que foi o aumento da intensidade de campo devido ao aumento da intensidade de corrente, o que naturalmente provocou aumento da indutância com consequente aumento da impedância, causando maior dificuldade na transferência de potência ativa.

A redução no valor da tensão quando do gerador em paralelo com o painel fotovoltaico também ocorreu nos experimentos 4.8 e 4.8.1 com os valores de 100mH e 150 mH pois esses valores não estão na faixa em que a impedância do indutor impediu a tensão CA fluir para o painel fotovoltaico.

A Tabela 41 mostra a percentagem a média da potência ativa transferida pelo painel fotovoltaico utilizando o indutor nos experimentos 3.4.7 ao 3.4.19.

Tabela 41 – Porcentagem de acréscimo e decréscimo de potência ativa na associação

EXP 2.4.7	-2,1 %	5 indutores Trafo 220V/127V/1,5 A
	1,07 %	6 indutores trafos 220V/127V/3A
EXP 2.4.8	1,17 %	Autotrafos 3 de 300W/220/127-1 de 60W/220/127V 4 trafos 220/127V/3A
EXP 2.4.9	0,65 %	TTrafos 6 de 220/127V/1,5A 4 de 220/127V/3 A
EXP 2.4.10	-0,25 %	TTrafos 4 de 220/127V/3A 5 bobinas de 35 mH com núcleo
EXP2.4.11	-0,26 %	TTrafos 3 de 220/127V/3 e 2 de 220/127V/1,5 A 4 bobinas 35 mH
EXP2.4.12	-3,27 %	Indutor de 500mH ajustado para 100mH
EXP2.4.13	-2,17 %	Indutor de 500mH ajustado para 150mH
EXP2.4.14	3,98 %	Indutor de 500mH ajustado para 200mH 1324 W
EXP2.4.15	33 %	Indutor de 500mH ajustado para 200mH 385,1 W
EXP2.4.16	3,3 %	Indutor de 500mH ajustado para 300mH 483,8 W
EXP2.4.17	3,76%	Indutor de 500mH ajustado para 450mH 242,1 W
EXP2.4.18	4,4 %	Indutor de 500mH ajustado para 500mH 161,9 W
EXP2.4.19	1,52 %	Indutor de 500mH ajustado para 400mH 944,7 W

A Tabela 41 mostrou que o acréscimo de potência ativa ainda foi relativamente pequeno, em torno de 5%.

4.19: EXPERIMENTO 3.5: PAINEL FOTOVOLTAICO YL 245P-29B E INVERSOR I-ENERGY GT260, CERTIFICADO

Esse experimento foi realizado com o painel fotovoltaico Yingli 245P-29b, 245W/29,6V/8,25A e o inversor i-energy GT260 constituindo um kit que foi conectado à rede de energia faz a compensação da potência ativa gerada pelo kit em relação ao consumo da potência ativa fornecida pela concessionária. O experimento realizado no Centro de Energias

Renováveis foi ligando-o a uma tomada do laboratório e colocando um medidor de kWh para obter o valor transferido para rede, (FERNANDES, 2013).

Os resultados dos ensaios realizados com o painel fotovoltaico YL 245P-29b e inversor i-energy GT260 são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 – Valores medidos utilizando o kit constituído de painel fotovoltaico e inversor, conectado à rede convencional.

I [W/m2]	HORAS	Vrede [V]	Vcel [V]	Icelmicro [A]	Pcel [W]	Imicro [A]	Apainel [m2]	Pcel/Acel [W/m2]	η %
992	10:00	214,2	27,2	5,98	162,66	0,753	1,5029	108,228	10,910
996	10:15	213	27	5,85	157,95	0,742	1,5029	105,097	10,552
178	10:30	210	28	0,95	26,6	0,124	1,5029	17,699	9,943
895	10:45	213,3	27	1,1	29,7	0,150	1,5029	19,762	2,208
1045	11:00	214	27,2	6,50	176,75	0,91	1,5029	117,609	11,254
962	11:15	212,8	27,3	6,02	164,24	0,82	1,5029	109,279	11,360
960	11:30	210,1	34,5	6,08	209,78	0,008	1,5029	139,584	14,540
956	11:45	213,4	27,3	5,96	162,75	0,84	1,5029	108,292	11,328
962	12:00	214,7	27,1	5,96	161,59	0,82	1,5029	107,518	11,177
932	12:15	211,9	27,1	5,85	158,62	0,83	1,5029	105,542	11,324
911	12:30	209,6	27	5,78	156,17	0,83	1,5029	103,911	11,406
992	12:45	211,3	27,1	6,25	169,31	0,86	1,5029	112,655	11,356
990	13:00	211,2	26,6	6,24	165,93	0,86	1,5029	110,406	11,152
986	13:15	214,8	26,8	6,11	163,71	0,84	1,5029	108,930	11,048
987,8	13:30	214,3	26,6	6,13	163,17	0,83	1,5029	108,567	10,991
978	13:45	214,7	27	6,06	163,67	0,83	1,5029	108,903	11,135
969,2	14:00	214,5	27	6,01	162,35	0,82	1,5029	108,024	11,146
926,7	14:15	214,7	26,5	5,74	152,21	0,8	1,5029	101,280	10,929
956,5	14:30	210,4	26,6	6,05	160,92	0,82	1,5029	107,076	11,195
957,8	14:45	211,3	26,8	6,03	161,66	0,81	1,5029	107,567	11,231
952	15:00	213,3	26,7	5,94	158,58	0,8	1,5029	105,518	11,084
928,5	15:15	211,6	26,4	5,84	154,16	0,78	1,5029	102,575	11,047
913,1	15:30	210,7	26,9	5,77	155,13	0,78	1,5029	103,223	11,305
892,2	15:45	210,5	26,9	5,64	151,73	0,78	1,5029	100,956	11,315
867,9	16:00	212,5	26,9	5,44	146,21	0,63	1,5029	97,282	11,209
844,5	16:15	209,6	27,2	5,36	145,84	0,72	1,5029	97,039	11,491

Os valores apresentados foram medidos ao longo de seis horas e quinze minutos, acumulando 0,849 kWh, transferidos para a rede de energia elétrica convencional. Na Tabela 42 as linhas três e quatro, mostraram que a potência ativa transferida foi muito pequena. Isso ocorreu quando o sistema saiu do sincronismo, por causa da irradiação solar que, momentaneamente, reduziu-se por conta de uma nuvem. Notou-se que o valor da tensão se manteve, mas como a irradiação diminuiu, a potência transferida não se manteve.

Na linha sete, em negrito na Tabela 42, o valor mostrou que o sistema saiu do sincronismo, provocado pela variação da carga no Centro de Energias Renováveis, pelo desligamento e religamento de uma quantidade de lâmpadas fluorescentes. O sistema voltou ao sincronismo após dez minutos.

A Tabela 43 representa os valores medidos nos experimentos com o kit, na qual as três linhas grifadas mostram uma situação onde a corrente fornecida pelo micro inversor para a rede sofre uma queda brusca onde o micro inversor sai do sincronismo, deixando de fornecer potência para a rede durante alguns minutos até voltar novamente ao sincronismo. Essa saída de sincronismo com a rede de energia ocorreu devido primeiro a uma redução na irradiação solar como é verificado na linha 3 da Tabela 30, devido a presença de uma nuvem durante o experimento. O segundo fator foi que, dependendo da quantidade de lâmpadas fluorescentes do laboratório que eram desligadas e ligadas, o inversor saiu do sincronismo; isso pela própria característica do inversor, quando ocorreu uma oscilação brusca na carga de efeito indutivo como foi o caso, provocando essa situação. Quando saiu do sincronismo deixou de fornecer potência ativa a rede de energia, conseqüentemente não realizou a compensação no medidor.

Tabela 43 - Valores obtidos com o kit constituído de painel fotovoltaico YL 245P-29b e inversor i-energy GT260.

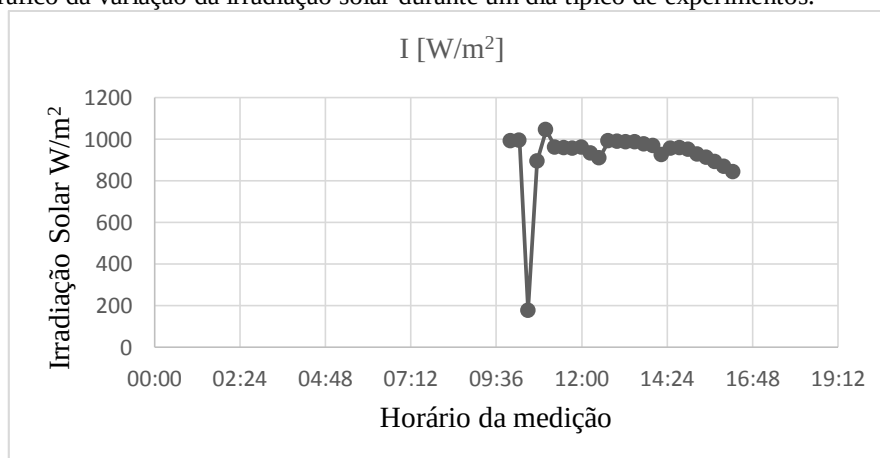
Dia	Período	Energia	Potência	Irradiação	Irradiação
	horas	kWh	Injetada W	Max W/m²	Min W/m²
12/08/2014	02:00	0.187	93	913	95.6
19/08/2014	02:35	0.312	121	950	685
22/08/2014	01:31	0.245	161	970	957.5
25/08/2015	06:20	0.906	143	886.27	527.7

Na Tabela 42 observou-se um rendimento para o kit um valor médio de 10,787% dos 26 valores medidos. Dessa forma, além do custo, notou-se a eficiência limitada, levando somente os consumidores que possuem uma reserva financeira para investir nesse sistema.

Outro ponto a ser considerado foi que qualquer variação na irradiação solar, com valor abaixo de 500W/m², o sistema saiu do sincronismo deixando de fornecer energia para compensação. Na média a fatura de energia pode ser reduzida pois o funcionamento típico desse tipo de sistema é de 6 horas diárias, num horário (geralmente comercial) onde o consumo nas unidades residenciais é reduzido. Ficando assim a energia acumulada para usar no período noturno onde o consumo da residência aumenta, compensando o crédito de energia produzido no período diurno.

Na Figura 94 o gráfico mostrou a variação da irradiação solar ao longo do tempo de realização experimento, em função da mesma, onde todos os outros valores seguem a mesma variação.

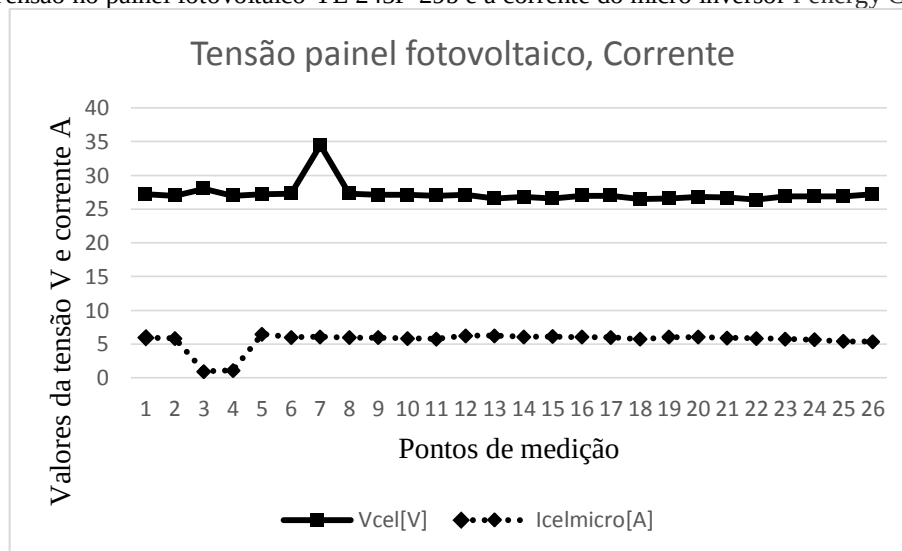
Figura 94 – Gráfico da variação da irradiação solar durante um dia típico de experimentos.



Fonte: (autor)

Na Figura 95 os gráficos da tensão na saída do painel fotovoltaico e a intensidade de corrente fornecida pelo painel fotovoltaico YL 245P-29b ao micro inversor i-energy GT260 variam regularmente os valores acompanhando a irradiação solar.

Figura 95 – Tensão no painel fotovoltaico YL 245P-29b e a corrente do micro inversor i-energy GT260.



Fonte: (autor)

A Figura 95 mostra que o ponto onde o inversor saiu do sincronismo em função da oscilação da carga, a tensão da placa solar aumentou, pois nesse instante a carga foi nula.

Essa situação aconteceu frequentemente durante outros experimentos realizados com o mesmo.

4.20 ESTIMATIVA DE CUSTOS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO E PARA PRODUÇÃO EM SÉRIE DO EQUIPAMENTO.

O custo de instalação do sistema de painéis fotovoltaicos e inversor de frequência para a faixa de potência utilizada nos experimentos, para o mês de agosto de 2015 está apresentado na Tabela 44.

Tabela 44 – Custo dos equipamentos para sistema convencional e com indutor

Equipamento comercial de conexão à rede	Valor R\$	Sistema especificado e usado	Valor R\$
Painel fotovoltaico 250W/30V/8,5A	1.100,00	Painel fotovoltaico 250W/30V/8,5A	1100,00
Cabos de conexão painel inversor	250,00	Cabos de conexão painel indutor	100,00
Inversor para conexão à rede convencional	1699,00	Indutor de 200 mH/10A	950,00
Total R\$	3049,00	Total R\$	2150,00

Para o sistema proposto nos experimentos usou-se um indutor variável de 50 a 500mH/20A e valor de R\$ 2.500,00.

Para o indutor obtido nos experimentos com valor de 250 mH/10A o custo estimado para uma peça é o mostrado na Tabela 44, sendo a redução de custo de 44,5% em relação ao valor do inversor de frequência.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS:

O objetivo do desenvolvimento desta Tese foi apresentar uma proposta de fornecer a potência ativa gerada em um painel fotovoltaico para a rede de energia elétrica convencional. Investigou-se o menor custo possível, com eficiência e equipamentos que substituíssem os inversores e os sistemas convencionais de ligação à rede.

O comportamento do indutor para a tensão CC do painel fotovoltaico tem reatância indutiva zero. Com esse valor a potência produzida no painel fotovoltaico flui para a carga. Para o gerador CA com a frequência de 60 Hz, a impedância atinge um valor que impede a entrada da tensão e corrente no painel fotovoltaico e o painel fotovoltaico passa a fornecer potência ativa. Assim houve a transferência da potência ativa como demonstrado nos experimentos.

A busca do valor mais eficiente de indutor foi iniciada utilizando-se transformadores usados como indutores para chegar o mais próximo possível de um valor e fabricar um só equipamento. Chegou-se a um valor próximo dos 200 mH, e atingindo um resultado satisfatório dentro das características de funcionamento utilizada para o experimento.

Nos experimentos realizados com os indutores de 100mH e 150mH, respectivamente, o painel fotovoltaico funcionou como carga, pois o valor da reatância indutiva não atingiu um valor que impedisse a tensão CA de fluir para o painel fotovoltaico.

Para buscar a melhora da transferência de potência ativa do painel fotovoltaico para carga somada a potência ativa do gerador CA, levantou-se as curvas características dos geradores a gasolina, 1kW/220V/115V e o gerador diesel 5,5kW/220/110V. Determinando a impedância interna de cada gerador e buscando inserir em série com o painel fotovoltaico uma reatância com o valor mais próximo possível para transferência de potência ativa.

O melhor resultado foi obtido com o gerador diesel, mostrado na Tabela 45, porque ele emula uma situação muito próxima do real, com relação a seu valor de potência ativa que é 22 vezes maior que do painel fotovoltaico.

Tabela 45 – Apresenta os melhores resultados obtidos com o gerador diesel em paralelo com o painel fotovoltaico em série com o indutor ajustável.

Indutor de 200mH			Indutor de 300 mH			Indutor de 400 mH		
P _{cg+p}	P _g	Acresc	P _{g+p}	P _g	Acresc	P _{g+p}	P _g	Acrésc
119,5	122	-2,05%	90,5	76,1	18,92%	124,2	118,1	5,17%
199,1	206,6	-3,63%	215,1	200,4	7,34%	306,5	295,5	3,72%
356,2	206,9	72,16%	296,7	284,6	4,25%	636,5	622,2	2,30%
506,4	371	36,50%	455	446,5	1,90%	792,5	778,7	1,77%
653,2	356,2	83,38%	534,5	511	4,60%	1079	1076	0,28%
658,5	506,4	30,04%	665	666,4	-0,21%	1349	1349	0,00%
748,5	653,2	14,59%	807,5	808,8	-0,16%	1520	1532	-0,78%
876,5	658,5	33,11%	806,4	898,5	-10,25%	1755	1755	0,00%
Média		33,01%	Média		3,30%	Média		1,56%

Para o gerador a gasolina, que a potência ativa é quatro vezes maior. O resultado não foi adequado pois somente um valor dos experimentos realizados atingiu o objetivo do trabalho.

O objetivo de inserção de potência ativa na rede foi atingido. Há que se ressaltar que a produção de energia pelo painel fotovoltaico ligado direto à rede como realizado nos experimentos pode colaborar para o sistema nacional, onde a geração é distribuída pelas centenas de municípios do país e na somatória final contribuirá para uma folga no sistema como um todo desde a geração nas grandes usinas hidrelétricas e térmicas, como no sistema de transmissão de energia.

A redução de custo também foi atingida pois o equipamento a ser produzido é facilmente fabricado no mercado nacional e com o aumento na demanda dos indutores o seu custo ficará mais adequado em relação ao protótipo utilizado nos experimentos.

Com relação a trabalhos futuros podem ser propostos:

a) Desenvolver novos projetos com geradores de potência ativa maiores, de modo a simular a rede convencional, com cargas maiores e, portanto, novas faixas de indutores.

b) Aumentar a potência de geração dos painéis fotovoltaicos aumentando a inserção de potência ativa na rede de energia elétrica.

6. BIBLIOGRAFIA

ABINEE – Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira, (2012), Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.

ALMONACID F., EDUARDO F. FERNÁNDEZ, P. RODRIGO, P.J. PÉREZ-HIGUERAS, C. RUS-CASAS, Estimating the maximum power of a High Concentrator Photovoltaic (HCPV) module using an Artificial Neural Network; *Energy* 53 (2013) 165e172.

AMIN AND WOLLENBERG, Toward a Smart Grid, *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 3, n. 5, p. 34-38, set./out. 2005.

AMIN N.; CHIN W. L. B.; KAMARUZZAMAN S; A practical field study of various solar cells on their performance in Malaysia, *Renewable Energy* 34 (2009) 1939–1946.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “BIG – Banco de Informações de Geração”, 2015b, Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>, Acessado em fevereiro 2015.

ANEEL, Cadernos Temáticos Micro e Mini geração, Sistema de compensação de energia elétrica, março 2014, disponível em <http://www.aneel.gov.br>.

AVRIL S., C. MANSILLA, M.BUSSON, T.LEMAIRE, Photovoltaic energy policy: Financial estimation and performance comparison of the public support in five representative countries, *Energy Policy* 51 (2012) 244–258.

AKWA, J. VICENTE*, KONRAD O., KAUFMANN G. VINÍCIUS, MACHADO C. AUGUSTO, Evaluation of the photovoltaic generation potential and real-time analysis of the photovoltaic panel operation on a building facade in southern Brazil, Center of Science and Technology; Center, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brazil; *Energy and Buildings* 69 (2014) 426–433.

CERVO, AMADO LUIZ, Metodologia Científica, 6ª edição, Pearson Prentice Hall, 2007.

CHEN Z; CHEN Y; GUERRERO J. M.; KUANG H.; HUANG H.; ZHOU L.; LUO A.; Generalized coupling resonance modeling, analysis, and active damping of multi-parallel inverters in microgrid operating in grid-connected mode; *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* (2016) 4(1):63–75.

DOUGLAS A. A. GARCIA; E F DUZZI E. F. JR; Aspectos da evolução do smart grid nas redes de distribuição, Capítulo III, publicado no site www.osetoreletrico.com.br, acessado em 12/02/2015.

DUONG Q. H.; MITHULANANTHAN N.; BANSAL R.C.; Integration of PV and BES units in commercial distribution systems considering energy loss and voltage stability; *Applied Energy* 113 (2014) 1162–1170.

EFFENDY YA'ACOB M., HIZAM H., KHATIB T., AMRAN M. RADZI M., A comparative study of three types of grid connected photovoltaic systems based on actual performance; Austria, Energy Conversion and Management 78 (2014) 8–13.

FERNANDES, N. FILIPE MENDES, Microinversor para Ligação à Rede Elétrica de Paineis Fotovoltaicos, Outubro 2013, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

FERREIRA, B. SOFIA TÂNIA, Menos Carbono, Mais energias Renováveis Alto da Cova da Moura – Energia Solar Fotovoltaica, 2010, Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Arquitectura;

GLOBAL MARKET OUT LOOK For Photovoltaics 2014-2018, EPIA – Europe Photovoltaic Industry Association; <http://solargis.info> (© 2014 GeoModel Solar).

GREEN, M. [2000] *Power to the people*, University of New South Wales Academic Press.

GUPTA A., CHANANA S., THAKUR T., THD reduction with reactive power compensation for fuzzy logic DVR based solar PV grid connected system; Front. Energy 2014, 8(4): 464–479.

ILANGO G. SARAVANA; RAO P. SRINIVASA; A. KARTHIKEYAN; C. NAGAMANI; Single-stage sine-wave inverter for an autonomous operation of solar photovoltaic energy conversion system, Renewable Energy 35 (2010) 275–282.

JIANHUI W.; YUN SENG L.; JUN H. T.; EZRA M.; Grid-connected photovoltaic system in Malaysia: A review on voltage issues Renewable and Sustainable Energy Reviews 29 (2014) 535–545.

LINFENG Z.; NICOLAE G.; LAWRENCE V. H.; Energy management in a microgrid with distributed energy resources, Energy Conversion and Management 78 (2014) 297–305.

MARREKCHI A.; KAMMOUN S.; SALLEM S.; KAMMOUN M.B. A.; A practical technique for connecting PV generator to single-phase grid, Unite' de Commande de Machines Electriques et Re'seaux de Puissance CMERP-ENIS; Solar Energy 118 (2015) 145–154

MARRERO A. P.; MATOS J.C.; OLIVEIRA A. C.; Comparison of software prediction and measured performance of a grid-connected photovoltaic power plant; Journal of Renewable and Sustainable Energy 7, 063102 (2015).

Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira, Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da ABINEE, junho de 2012;

OLSON ERIK L.; Green Innovation Value Chain analysis of PV solar power; Journal of Cleaner Production 64 (2014) 73e80.

RUGGERO S.-T.; Sustainable Strategies; How renewables will change electricity markets in the next five years; Energy Policy 48 (2012) 64–75.

RUS-CASAS C.; AGUILAR J.D.; RODRIGO P.; ALMONACID F.; PÉREZ-HIGUERAS P.J.; Classification of methods for annual energy harvesting calculations of photovoltaic generators, *Energy Conversion and Management* 78 (2014) 527–536.

SAMPIERI, R. HERNÁNDEZ; COLLADO C. H.; LUCIO P. B.; TRADUÇÃO MURAD F. CONCEIÇÃO; KASSNER M.; LADEIRA D. S. C.; revisão técnica e adaptação Garcia Queluz A. Gracinda; Valle do P. Herald; 3ª ed. McGraw-Hill, 2006.

SAHU B. KUMAR, A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 43, March 2015, Pages 621–63.

SIVAKUMAR P.; KADER A. A.; KALIAVARADHAN Y.; M. ARUTCHELVI; Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance MPPT technique under non-linear loading conditions, *Renewable Energy* 81 (2015) 543e550.

SMITH A.; FLORIAN K.; ROB R.; BRAM V.; SPRU A.; Solar photovoltaic electricity in the UK; *Technological Forecasting & Social Change* 81 (2014) 115–130.

THILO G. A.; MOLINHUO B.; KARSTENNEUHOFF; Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China, *Energy Policy* 51 (2012) 20–37.

TIEPOLO, M. GERSON, Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede no Estado do Paraná Curitiba 2014; Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola Politécnica, Pós-Graduação em Engenharia de Produção; Tese.

TSILINGIRIDIS G., IKONOMOPOULOS A., Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, POB487,P.C.54124, Thessaloniki, Greece; *Energy Policy* 58 (2013) 303–311.

WAI S. H.; MOHD Z. W.; MOHD T; HASLENDIA H.; ZARINA A. M.; Process Systems Engineering Centre (PROSPECT); *Electrical Power and Energy Systems* 54 (2014) 481–486.

WISSEM Z., GUEORGUI K., HÉDI K.; Modeling and technical economic optimization of an autonomous photovoltaic system Laboratory of Electomechanical; *Energy* 37 (2012) 263-272.

XIAO B., HANG L., MEI J., RILEY C., TOLBERT L. M., and OZPINECI B., Modular Cascaded H-Bridge Multilevel PV Inverter With Distributed MPPT for Grid-Connected Applications; *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 51, no. 2, march/april 2015;

YA'ACOB M. E.; HIZAM H.; KHATIB T.; RADZI M. A. M.; A comparative study of three types of grid connected photovoltaic systems based on actual performance; *Energy Conversion and Management* 78 (2014) 8–13.

ZENG Z., RONGXIANGZHAO, HUANYANG, SHENGQINGTANG, Policies and demonstrations of micro-grids in China: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014) 701–718.

APÊNDICE A

Solicitação de patente e Artigos

O desenvolvimento da tese permitiu desenvolver um equipamento para substituir os inversores eletrônicos, possibilitou o pedido de patente junto ao NIT da UNESP, sob o título: **“Reatância Indutiva para conexão de painéis fotovoltaicos a rede convencional de energia elétrica”**, submetido em 28 de setembro de 2015 com o número de identificação 2015 ID 15CI030.

Quanto a publicação de artigos houve a submissão do artigo

Panunzio, P.A.; Souza, T.M.; Silveira, J.L., Avella J. M.; Connection of Photovoltaic Generation to the Conventional Electricity Grid through an Adjustable Inductor for Small and Medium Sizes Energy Consumers; a revista Renewable & Sustainable Energy Reviews, fator de impacto 5,9, janeiro de 2016.

Apresentação em congressos

Panunzio, P.A.; Souza, T. M.; Silveira, J.L.

Uma nova proposta de equipamento de conexão à rede para a utilização da geração de energia solar em consumidores de pequeno e médio porte
XXXV – Int. SODEBRAS, SP, Dezembro 2015.

Panunzio, P.A.; Souza, T. M.; Silveira, J.L.

Conexão à rede de geração fotovoltaica utilizando indutores para fornecedores de energia de pequeno e médio porte; XXXIV – International Sodebras Congresso, Salvador, Bahia, maio 2015.

Publicação em periódicos eletrônicos

Panunzio, P.A.; Souza, T.M.; Silveira, J.L.; Nova metodologia de análise, para a utilização da geração de energia solar em consumidores de pequeno e médio porte; Revista Gestão & Tecnologia-REGET (2015), UNISAL, ISSN 2358-3126.

Panunzio, P.A.; Souza, T.M.; Silveira, J.L.; Conexão à rede de geração fotovoltaica utilizando indutores para fornecedores de energia de pequeno e médio porte; Revista Sodebras vol. 12 (2016), n.º123, ISSN 1809057.