

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

IVO RENÉ SALAZAR TAUTE

**Procedimentos de qualificação e aceitação de componentes de  
sistemas fotovoltaicos domiciliares**

São Paulo

2004

IVO RENÉ SALAZAR TAUTE

**Procedimentos de Qualificação e Aceitação de Componentes de  
Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Instituto de Física / Faculdade de Economia e Administração) para obtenção do título de Mestre em Energia.

Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica  
Orientador: Prof. Dr. Roberto Zilles

São Paulo

2004

Esta versão difere da tese depositada e aprovada na defesa, à qual foram incorporadas modificações sugeridas pela comissão examinadora, devidamente verificadas e aprovadas pelo orientador.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO PARCIAL E DIVULGAÇÃO TOTAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

### Catálogo na Publicação

Serviço de Documentação do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia

Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Física

Salazar, Ivo René Taute

Procedimentos de Qualificação e Aceitação de Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares / Ivo René Salazar Taute; Orientador Roberto Zilles. São Paulo, 2004.

**152 f.** : fig.

Dissertação (Mestrado - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica) – Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

1. Fotovoltaico. 2. Especificações Técnicas. 3. Amostra. 4. Procedimentos de avaliação. 5. Reprodutibilidade



## UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Relatório de Defesa**

Relatório de defesa pública de Dissertação do(a) Senhor(a) Ivo René Salazar Taute no Programa: Interunidades em Energia, do(a) Interunidades em Energia da Universidade de São Paulo.

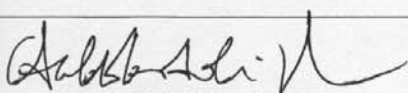
Aos 11 dias do mês de maio de 2004, no(a) São Paulo realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Ivo René Salazar Taute, apresentada para a obtenção do título de Mestre em Energia, intitulada:

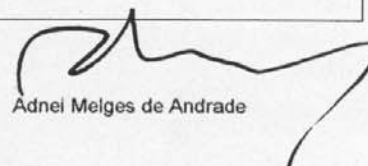
"Procedimentos de qualificação e aceitação de componentes de sistemas fotovoltaicos domiciliares"


Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Vínculo do Docente	Sigla da Unidade	Resultado
Roberto Zilles	Presidente	IEE	APROVADO
Oswaldo Livio Soliano Pereira	Suplente	Docente Externo	APROVADO
Adnei Melges de Andrade	Titular	EP	APROVADO
<b>Resultado Final:</b>			
<b>Parecer da Comissão Julgadora</b>			

Eu, Adaljisa Furlan da Paixao \_\_\_\_\_, Secretária, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 11 dias do mês de maio de 2004.

  
Oswaldo Livio Soliano Pereira

  
Adnei Melges de Andrade

  
Roberto Zilles  
Orientador(a)

Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

Nos termos do artigo 110, do RG-USP, encaminhe-se o presente relatório à CPG, para homologação.

Impresso em: 11/05/2004

A minha família

## **AGRADECIMIENTOS**

Ao Professor Roberto Zilles, pela orientação, paciência e por todas oportunidades brindadas nestes dois anos.

Á CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por ter viabilizado a bolsa.

Á CEMIG pelo apoio através do projeto: Avaliação tecnológica da energia solar fotovoltaica CEMIG /ANEEL P&D 017-2001-2004.

Aos Professores do IEE e aos colegas do PIPGE e em especial a Alaan, Wilson, Cristina, Federico, Luis e Norman.

Ao Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF/IEE-USP) por haver facilitado a utilização de suas instalações e pelo financiamento de viagens de campo e da instalação das bancadas de teste necessárias a este trabalho.

Aos professores do Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madri, em especial ao Professor Miguel Angel Egido e aos colegas Pablo e Javier pela grata acolhida que me deram durante meu estagio.

Aos Professores Manfred Horn e Rafael Espinoza, pelos conselhos e pelas oportunidades brindadas.

Ao todo o pessoal administrativo do programa e do instituto, em especial a Rosa, Jisa e Julio.

A meus caros amigos Pablo, Gladys, Wilfrido e Patrícia, por todo o compartilhado neste tempo.

A minha mãe, Ulkike, a meu pãe, Héctor e minha companheira Gisele. Obrigado pela compreensão de minha ausência e todo o apoio recebido.

## RESUMO

Salazar, I. R. T. **Procedimentos de Qualificação e Aceitação de Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares**. 2004. 148 f. Dissertação – Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Com o fim de possibilitar o incremento da qualidade dos programas de eletrificação rural que optem pelo uso de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares, na presente dissertação apresenta-se uma proposta de especificações técnicas mínimas, uma metodologia para a seleção da amostra, os procedimentos de avaliação para o acumulador de carga, para o controlador de carga, para a luminária em corrente contínua e para o inversor CC/CA. Para o caso do controlador de carga e do inversor CC/CA verifica-se a reprodutibilidade dos procedimentos propostos, os quais foram realizados no laboratório do Instituto de Energía Solar da Universidad Politécnica de Madrid e no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos da Universidade de São Paulo.

Palavras-chave: Fotovoltaico. Especificações técnicas. Procedimentos de avaliação. Amostra. Reprodutibilidade



## ***ABSTRACT***

Salazar, I. R. T. **Procedures for Qualification and Acceptance of Components of Solar Home Systems**, 2004. 148 f. Work. Program of Post-Graduation in Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

In order to facilitate an improvement of the quality of the Rural Electrification Programs by using Solar Home Systems, the present work proposes the minimal technical specifications, a methodology for selecting a sample, the procedures for evaluating the charge accumulator, the charge controller, the DC fluorescent lights and the inverter CC/AC. In case of the charge controller and the inverter CC/AC, it has been verified the feasibility to reproduce the proposed procedures, which have been performed in the Instituto de Energía Solar of the Universidad Politécnica de Madrid and in the Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos of the Universidade de São Paulo.

Keywords: Photovoltaic. Technical specifications. Procedures for qualification. Sample. Reproducibility.

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 - Diagrama de blocos do processo de compra.	66
Figura 2.2 - Fluxograma da metodologia proposta na determinação da amostra.	75
Figura 2.3. Análise econômica para a determinação da amostra dos controladores.	80
Figura 3.1. Configuração dos aparelhos e instrumentação para o ensaio de acumuladores.	86
Figura 3.2. Configuração dos aparelhos de medição e componentes para o ensaio de controladores.	92
Figura 3.3. Configuração dos instrumentos de medição, aparelhos e componentes para os ensaios das luminárias.	99
Figura 3.4. Configuração dos instrumentos de medição e aparelhos para o ensaio de ciclado das luminárias.	102
Figura 3.5. Configuração dos instrumentos de medição e os aparelhos para o ensaio de funcionamento contínuo das luminárias.	103
Figura 3.6. Configuração do aparelho e componente para avaliar as proteções das luminárias.	104
Figura 3.7. Configuração dos aparelhos de medição e componentes para avaliação elétrica do inversor.	108
Figura 4.1. Tensões de desconexão e reposição da carga do gerador FV do controlador 1.	117
Figura 4.2. Processos de carga e descarga com o controlador 1.	120
Figura 4.3. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 usando uma fonte.	127

Figura 4.4. Pontos de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 usando um acumulador.	127
Figura 4.5. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 medidas usando uma fonte.	128
Figura 4.6. Pontos de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 medidos usando um acumulador.	128
Figura 4.7. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões.	131
Figura 4.8. Pontos de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 com uso de acumulador.	132
Figura 4.9. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões.	132
Figura 4.10. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 com uso de acumulador.	133
Figura A.1. Configuração dos aparelhos e instrumentação para o ensaio de durabilidade.	151

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Discrepâncias nos requerimentos técnicos exigidos por diferentes agências.	33
Tabela 1.1 - Informação geral do SFD e das condições climáticas da localidade.	36
Tabela 2.1 - Comparação dos níveis de inspeção.	71
Tabela 2.2 – Instrumentos requeridos para ensaiar os parâmetros de um determinado componente.	73
Tabela 2.3 - Plano de amostragem simples.	74
Tabela 2.4 - Plano de aceitação simples para um universo de 1000 unidades de controladores.	78
Tabela 2.5 - Resumo da seleção das amostras para um universo de 1000 unidades, considerando uma bancada de ensaio e a avaliação de um parâmetro por componente.	81
Tabela 3.1- Registro das medições dos valores de descarga do acumulador de carga.	88
Tabela 3.2. Registro das medidas no controlador de carga.	97
Tabela 3.3. Consumo da luminária sem lâmpada.	100
Tabela 3.4 - Registro das medições de ligamento e desligamento.	103
Tabela 3.5 - Registro das medidas no inversor.	109
Tabela 4.1 - Especificação dos controladores 1 e 2.	115
Tabela 4.2 - Tensões de desconexão, reposição e fim de carga do gerador FV do controlador 1.	117
Tabela 4.3 - Tensões de desconexão, reposição e fim de carga do gerador FV do controlador 2.	118
	36

Tabela 4.4 - Tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV do controlador 1 para diferentes temperaturas.	118
Tabela 4.5 - Tensões de desconexão e reposição da carga do gerador FV do controlador 2 para diferentes temperaturas.	119
Tabela 4.6 - Tensões de desconexão e reposição das cargas para o controlador 1.	119
Tabela 4.7 - Tensões de desconexão e reposição das cargas para o controlador 2.	120
Tabela 4.8 - Tensões de desconexão e reposição das cargas no controlador 1 para diferentes temperaturas.	121
Tabela 4.9 - Tensões de desconexão e reposição da carga no controlador 2 para diferentes temperaturas.	121
Tabela 4.10 - Queda de tensão do controlador 1.	121
Tabela 4.11 - Queda de tensão do controlador 2.	122
Tabela 4.12. Cálculo da queda de tensão para uma corrente de 11 A.	122
Tabela 4.13 - Fonte como acumulador para medir as tensões de corte e reposição das cargas do controlador 1.	123
Tabela 4.14 - Fonte como acumulador para medir as tensões de corte e reposição das cargas do controlador 2.	123
Tabela 4.15 - Medidas do autonconsumo dos controladores 1 e 2 em ambos laboratórios.	124
Tabela 4.16 - Características técnicas dos inversores.	125
Tabela 4.17 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do Inversor 1.	129
Tabela 4.18 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do inversor 2.	129
Tabela 4.19 – Componente alternada na linha contínua do inversor 1.	130
Tabela 4.20 – Componente alternada na linha contínua do inversor 2.	130
Tabela 4.21 – Parâmetros elétricos diversos dos inversores 1 e 2.	131

Tabela 4.22 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do Inversor 1.	133
Tabela 4.23 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do inversor 2.	134
Tabela 4.24 - Componente alternada na linha contínua do inversor 1.	134
Tabela 4.25 - Componente alternada na linha contínua do inversor 2.	135
Tabela 4.26 - Parâmetros elétricos diversos do inversor 1 e 2.	135
Tabela 4.27 - Comparação das características da instrumentação usada nos laboratórios e a mínima requerida.	140

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEE	Associação Eletrotécnica Espanhola
ASTM	American Society Testing and Materials
BBPT	Agency for the Assessment and Application of Technology
CENELEC	Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica
CESP	Companhia Energética de São Paulo
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKE	Deutsche Elektrotechnische Kommission
FV	Fotovoltaico
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IBNORCA	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad
IEC	International Electrotechnical Commission
IES	Instituto de Energía Solar da Universidad Politécnica de Madrid
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas, México
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
IP	Ingress Protection
IREDA	Indian Renewable Energy Development Agency
ISO	International Organization for Standardization
LSF	Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, IEE/USP, Brasil
NRECA	National Rural Electric Cooperative Association, Estados Unidos da América
NREL	National Renewable Energy Laboratory, Estados Unidos da América
PV-GAP	Global Approval Program for Photovoltaics, Suíça.

PWM	Pulse-width-modulated
SFD	Sistema Fotovoltaico Domiciliar
STC	Standard Test Condition
UL	Underwriters Laboratories, Estados Unidos da América



## LISTA DE SÍMBOLOS

A	ampere
AM	amplitude modulada
Ah	amperes-hora
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
g/cm <sup>3</sup>	gramas por centímetro cúbico
h	horas
HP	Horse Power
kHz	quilohertz
m	metros
mA	miliampers
min	minutos
mm <sup>2</sup>	milímetros quadrados
manm	metros acima do nível do mar
mV/°C/elemento	mili Volts por °C e por elemento
R\$	Reais
s	Segundos
THD	Distorção Harmônica Total
V	volts
V/elemento	volts por elemento
W	watt
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem

%/°C	Porcentagem por graus Celsius
+	Positivo
-	Negativo
Ω	Ohms

# SUMÁRIO

	<i>Pág.</i>
Resumo	
<i>Abstract</i>	
Lista de tabelas	
Lista de figuras	
Lista de siglas	
Lista de símbolos	
Apresentação	25
Objetivo	25
Motivação	26
Metodologia	34
<b>Capítulo I. Discussão de Especificações Técnicas para Fins de Aquisição de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos para Programas de Eletrificação Rural.</b>	<b>35</b>
1.1. Acumulador de carga	37
1.1.1. Características gerais	37
1.1.2. Características físicas	37
1.1.3. Características elétricas	38
1.2. Controlador de carga	41
1.2.1. Características gerais	41
1.2.2. Características físicas	42
1.2.3. Características elétricas	43
1.2.4. Funcionamento em condições extremas de operação	49
	43

1.2.5. Proteções	50
1.3. Luminária em corrente continua	51
1.3.1. Características gerais	51
1.3.2. Características físicas	51
1.3.3. Características elétricas	52
1.3.4. Ciclo de vida	53
1.3.5. Proteções	56
1.4. Inversor CC/CA	57
1.4.1. Características gerais	58
1.4.2. Características físicas	58
1.4.3. Características elétricas	60
1.4.4. Funcionamento em condições extremas de operação	63
1.4.5. Proteções	64
<b>Capítulo II. Seleção da amostra</b>	<b>65</b>
2.1. Introdução	65
2.2. Proposta de metodologia para seleção da amostra	67
2.2.1. Fatores técnicos	68
2.2.1.1. Tempo	68
2.2.1.2. Infraestrutura	68
2.2.1.3. Pessoal	69
2.2.1.4. Bancada de ensaio	69
2.2.2. Fatores estatísticos	69
2.2.2.1. Universo ou lote	69
2.2.2.2. A ferramenta estatística	69
2.2.2.3. Qualidade esperada do lote e limite de qualidade	69
2.2.3. Fatores econômicos	71

2.2.3.1. Custo do serviço	71
2.2.3.2. Custos gerais e outros	72
2.2.3.3. Custo de troca	72
2.2.3.4. Investimento	72
2.3. Metodologia	72
2.4. Aplicação da metodologia proposta	75
2.4.1. Critérios	76
2.4.2. Exercício	77
2.4.2.1. Dados de entrada	77
2.4.2.2. Cálculos e resultados	77
2.4.2.3. Comentários	78
2.4.3. Discussão dos resultados	81
<b>Capítulo III. Procedimentos de Verificação</b>	<b>83</b>
3.1. Acumulador de carga	84
3.1.1. Avaliação geral	84
3.1.2. Avaliação física	85
3.1.3. Avaliação elétrica	85
3.1.3.1. Bancada de ensaio	85
3.1.3.2. Capacidade e densidade do eletrólito	86
3.1.3.3. Autodescarga	88
3.1.3.4. Capacidade inicial	89
3.1.3.5. Ensaio de durabilidade	89
3.2. Controlador de carga	90
3.2.1. Avaliação geral	90
3.2.2. Avaliação física	90
3.2.3. Avaliação elétrica	91

3.2.3.1. Bancada de ensaio	91
3.2.3.2. Tensões de desconexão e reposição de carga do gerador fotovoltaico	92
3.2.3.3. Tensão de desconexão e de reposição das cargas	93
3.2.3.4. Queda de tensão	94
3.2.3.5. Autoconsumo	94
3.2.3.6. Interferência	95
3.2.4. Avaliação do funcionamento em condições extremas de operação	95
3.2.5. Avaliação das proteções	95
3.3. Luminárias em corrente contínua	98
3.3.1. Avaliação geral	98
3.3.2. Avaliação física	98
3.3.3. Avaliação elétrica	99
3.3.3.1. Bancada de ensaio	99
3.3.3.2. Características elétricas	100
3.3.4. Avaliação do ciclo de vida	101
3.3.4.1. Bancada de ensaio	101
3.3.4.2. Ciclagem	102
3.3.4.3. Funcionamento contínuo	103
3.3.5. Avaliação das proteções	104
3.3.5.1. Bancada de ensaio	104
3.3.5.2. Inversão de polaridade	104
3.3.5.3. Luminária sem lâmpada	105
3.3.5.4. Luminária com lâmpada queimada	105
3.4. Inversores CC/CA	106
3.4.1. Avaliação geral	106

3.4.2.	Avaliação física	106
3.4.3.	Avaliação elétrica	107
3.4.3.1.	Bancada de ensaio	107
3.4.3.2.	Eficiência, distorção harmônica total, variação da frequência e tensão de saída AC, tensões de desconexão e reposição das cargas e autoconsumo.	108
3.4.3.3.	Compatibilidade com as cargas	110
3.4.3.4.	Surtos	110
3.4.3.5.	Interferências	111
3.4.4.	Avaliação do funcionamento em condições extremas de operação	111
3.4.5.	Avaliação das proteções	111
<b>Capítulo IV. Avaliação da reprodutibilidade dos ensaios</b>		113
4.1.	Controlador de carga	115
4.1.1.	Instrumentos de medição e aparelhos	115
4.1.1.1.	Instrumentos de medição	115
4.1.1.2.	Aparelhos	116
4.1.2.	Resultados dos ensaios	116
4.1.2.1.	Fonte como gerador fotovoltaico	116
4.1.2.2.	Fonte como acumulador	122
4.2.	Inversor CC/CA	125
4.2.1.	Instrumentos de medição e aparelhos	126
4.2.1.1.	Instrumentos de medição	126
4.2.1.2.	Aparelhos	126
4.2.2.	Resultados	126
4.2.2.1.	Instituto de Energia Solar	126
4.2.2.2.	Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos	131

4.3.	Requisitos mínimos para desenvolver os ensaios	136
4.3.1.	Requisitos mínimos	136
4.3.2.	Comparação da instrumentação usada e requerida	139
<b>Capítulo V. Considerações finais</b>		141
5.1.	Conclusões	141
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros	142
<b>Bibliografia</b>		144
<b>Apêndice 1. Proposta de avaliação da durabilidade de acumuladores</b>		150



## **Apresentação**

O presente documento é apresentado a propósito da defesa da dissertação de mestrado com título: “Procedimentos de Qualificação e Aceitação de Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares”. Com este fim, se estruturou o documento da seguinte forma:

A dissertação se inicia com apresentação das questões que propiciaram o interesse pelo trabalho, o contexto e as ferramentas para o seu desenvolvimento.

No capítulo I, apresenta-se uma proposta de especificações técnicas para cada um dos componentes, os quais se caracterizam por serem os mínimos requerimentos que deveriam ser exigidos e que possam ser avaliados com relativa facilidade. Também se inclui na maioria dos casos, a justificativa das especificações técnicas mediante um levantamento das recomendações que aparecem na bibliografia e a discussão das mesmas. Nos casos evidentes não se inclui nenhum comentário.

No capítulo II, apresenta-se a metodologia, o procedimento e um exemplo para determinar a amostra de cada componente a ensaiar-se, levando em conta não só os parâmetros estatísticos como, por exemplo, o limite de qualidade, assim como os limites de tempo e de recursos econômicos para realizar o ensaio destas amostras.

No capítulo III, descrevem-se os procedimentos propostos para avaliação das especificações técnicas apresentadas no capítulo I. Estes procedimentos procuram caracterizar-se por serem os mais simples possíveis e pelo uso de instrumentos de medição e equipamentos de uso comum nos laboratórios.

No capítulo IV, mostram-se os resultados das medidas elétricas feitas em distintos laboratórios seguindo o procedimento proposto para demonstrar assim sua reprodutibilidade.

No capítulo V, são apresentadas as contribuições da dissertação e as recomendações para futuros trabalhos.

## **Objetivo**

O trabalho tem por objetivo identificar os parâmetros que caracterizam os componentes dos sistemas fotovoltaicos domiciliares (SFD's)<sup>1</sup> em corrente contínua e alternada. Sobre esta

---

<sup>1</sup> Esta dissertação abrange sistemas fotovoltaicos de até 500 Wp, sendo possível adequar os resultados finais deste trabalho para sistemas com potências maiores.

base elaborar procedimentos mais simples possíveis para qualificação dos componentes dos SFD's empregando aparelhos de medição de uso comum na maioria dos laboratórios.

## **Motivação**

As formas de energia renovável, em geral, foram utilizadas desde os primórdios da civilização, mas com a crise dos combustíveis fósseis dos anos 70 intensificou-se seu estudo ampliando, ainda que modestamente, o leque de suas aplicações. Desde então, as fontes renováveis passaram a ser consideradas como uma alternativa a mais para suprir a demanda energética. O que produziu um incremento do desenvolvimento das tecnologias, seu uso e transformação.

No caso da energia solar fotovoltaica, as primeiras aplicações como alternativa de atendimento foram em SFD's de pequena potência. No ano de 1968 foi registrada a primeira instalação de um sistema de 48 Wp para fornecer energia elétrica a uma televisão em uma escola da Nigéria (1977 apud POLGAR; LORENZO, 1997:4). Logo depois daquela experiência alentadora, entre 1968 e 1977, instalaram-se 123 SFD's adicionais com similares características em escolas de distintos países africanos (NARVARTE, 2001:29).

Nos anos 80, os SFD's foram reconhecidos como uma alternativa competitiva em relação às tecnologias existentes no setor rural, o qual supôs um avanço significativo na implementação de projetos de eletrificação rural fotovoltaica.

Os anos 90 se caracterizaram por um incremento dos projetos de eletrificação rural fotovoltaica. Estes foram desenvolvidos principalmente por diversas instituições de ajuda ao desenvolvimento, os governos e, em menor escala, pelo setor privado. Este último setor se limitou ao estabelecimento de pequenos negócios de comercialização, dimensionamento e instalação, com uma infra-estrutura insuficiente para abordar programas de certa importância. (1986 apud HERTLEIN; ZILLES, 1996:38).

Assim, depois de três décadas de experiências pontuais com sistemas fotovoltaicos, é amplamente aceito que a tecnologia fotovoltaica é atualmente madura e disponível para satisfazer as demandas de energia elétrica para regiões rurais dispersas e afastadas da rede elétrica convencional.

O número de SFD's, de diversos tamanhos, instalados no mundo nestas últimas décadas contabiliza-se como sendo de 1,3 milhões (NIEUWENHOUT et al., 2000:5) com uma tendência de crescimento de 12 a 15% (CHAUREY, 2001:240). No entanto, estas quantidades

não são significativas<sup>2</sup> quando se compara com a quantidade<sup>3</sup> de pessoas que não tem acesso à rede elétrica convencional ou com o crescimento da população rural em diversas regiões. Com este cenário é de se esperar que o número de SFD's aumente em grandes quantidades nos próximos anos através de importantes programas de eletrificação rural.

Contudo, apesar da maturidade, da disponibilidade da tecnologia fotovoltaica para implementação de programas de eletrificação rural e do aparente avanço significativo da difusão dos SFD's como solução à eletrificação rural, quando se analisa com mais profundidade a experiência de campo, constata-se que existe uma grande disparidade no funcionamento dos SFD's, enquanto alguns sistemas não funcionam desde o início outros funcionam sem problemas por mais de 10 anos (NIEUWENHOUT et al., 2000:19).

Por outro lado, um estudo feito pelo NREL<sup>4</sup>, sobre a base de uma amostra de projetos instalados em diversas regiões do mundo, revela que 45% das instalações têm algum tipo de defeito de operação ou defeito permanente (NIEUWENHOUT et al., 2000:9). Merece salientar que o autor considera este valor otimista, já que um dos projetos pesquisados havia sido instalado há menos de 1 ano. O qual revela um panorama nada alentador.

Os problemas técnicos encontrados e registrados podem estar associados a diversos fatores:

- a. Inadequadas estimações da demanda ou oferta de eletricidade.
- b. Inadequados desenhos ou instalações.
- c. Ausência de manutenção e atividades de monitoramento para registro de ocorrências de falhas.
- d. Problemas de mercado.
- e. Falta de informação.
- f. Má adaptação dos mecanismos de eletrificação.
- g. Falta de capacitação do usuário.
- h. Falta de especificações técnicas concordantes com a realidade onde será implementado o SFD.
- i. Ausência de procedimentos de ensaios dos componentes do SFD.

Precisamente em relação a estes dois últimos pontos, a experiência mostra que nos programas de eletrificação rural fotovoltaica de diversos países geralmente se publica especificações técnicas com maior ou menor rigorosidade como, por exemplo, que o conjunto luminária-

---

<sup>2</sup> 1% a 2% no Quênia (VAN DER PLAS; HANKINS, 1998:295).

<sup>3</sup> Segundo alguns autores esta quantidade é superior aos 2 bilhões de pessoas (NARVATE; MUÑOZ; LORENZO, 2001:475) e para outros é de 1 bilhão de pessoas (GARCÍA, 2002:3), independentemente da qualidade que for, resulta evidente que a ordem de magnitude é bem mais alta que o número de instalações.

<sup>4</sup> National Renewable Energy Laboratory

lâmpada tenha uma eficiência luminosa de 35 lm/W e um funcionamento contínuo de mais de 10.000 horas, que o controlador de carga possua proteções contra tensões induzidas e um bom funcionamento para diversas temperaturas, etc. Mas, são raros os programas que adotam algum procedimento de verificação, que possa realmente ser feito no país, segundo as especificações técnicas estabelecidas para os componentes e o sistema. Assim, por exemplo, estima-se que menos de 10% das lâmpadas fluorescentes acionadas por reatores eletrônicos em corrente contínua, atualmente disponíveis no mercado fotovoltaico (FV), foram alguma vez submetidos a ensaio (NARVATE; MUÑOZ; LORENZO, 2001:477) de qualquer tipo (luminosidade, eficiência elétrica, eficiência luminosa, etc.).

Esta falta de predisposição a fazer ensaios pode ter diversas razões, como falta de prática para execução de ensaios, a imagem de que ensaiar sistemas fotovoltaicos é uma coisa que poucos laboratórios podem fazer, pois requerem instrumentos e equipamentos de medição sofisticados como esferas integradoras para medição de luminosidade, simuladores solares para medição de módulos fotovoltaicos, etc.

Tal situação tem fomentado uma série de experiências insatisfatórias, não só para os profissionais envolvidos, mas também para os usuários, produzindo-se conseqüentemente uma diminuição na confiabilidade nos SFD's.

Desde um ponto de vista técnico pode-se afirmar que o módulo fotovoltaico é o dispositivo de maior confiabilidade de um sistema fotovoltaico e com padrões<sup>5</sup> bem estabelecidos, enquanto que os demais componentes se caracterizam, em geral, por não contarem com padrões similares que garantam a qualidade dos mesmos e ainda menos ao conjunto de componentes do SFD.

Desta forma facilita-se o caminho para o surgimento de grandes disparidades na qualidade, surgindo fabricantes que oferecem produtos com características técnicas inadequadas<sup>6</sup>. Prática aparentemente bastante disseminada no mercado atual, que é fomentada pela falta de procedimentos de verificação de qualidade efetiva dos componentes.

Com o objetivo de retratar esta problemática, apresenta-se, a seguir, alguns comentários extraídos da bibliografia:

---

<sup>5</sup> IEC (International Electrotechnical Commission), ASTM (American Society Testing and Materials), IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), UL (Underwriters Laboratories) ou similares, contudo podem apresentar diferenças de 5 a 10% da potência indicada pelo fabricante.

<sup>6</sup> Em medições feitas do fluxo luminoso, valor diretamente relacionado com a iluminância, tem-se que existem diferenças de 10% a 63% a menos do valor indicado pelo fabricante (GARCIA, 2002:4).

- No projeto da CESP<sup>7</sup>/ELEKTRO (ECOWATT), na região de Lagamar, no qual 90% dos SFD's instalados estão abandonados devido a problemas com a qualidade dos controladores, baterias e lâmpadas. (SERPA, 2001:225).
- Na Índia, um dos mercados mais importantes de sistemas fotovoltaicos no mundo, “as instalações existentes se caracterizam por uma baixa confiança de funcionamento, devido à falta de manutenção e de procedimentos de avaliação da qualidade e desempenho dos componentes dos sistemas”. (CHAUREY, 2001:242).
- “Muitos problemas tem-se originado com o uso de controladores bons, mas inadequados. Por exemplo, foram usados controladores para baterias de eletrólito absorvido ou gelificado com baterias abertas inundadas, sem compensação por temperatura”. (DÍAZ et al., 2000:3).
- No Quênia, 36,4% dos usuários relatam problemas com suas baterias porque não contavam com um controlador de carga e, nos casos que existiam, os pontos de corte estavam mal selecionados. Por outro lado, o autoconsumo do controlador, aproximadamente 4 W, é excessivo. (VAN DER PLAS; HANKINS, 1998:297-298).
- “Na África do Sul, é amplamente conhecido que um projeto de 50.000 SFD's se encontra paralisado depois da instalação de algo menos que 15% das instalações, e os problemas técnicos estão entre as razões desse fato” (NARVARTE, 2001:13). Caso similar foi o que aconteceu no Perú, num projeto governamental. Logo após ao início das instalações, os controladores e as lâmpadas apresentaram problemas de funcionamento, com o qual as instalações foram suspensas enquanto se tramitavam as reclamações correspondentes para que a empresa fornecedora trocasse aqueles componentes. A troca realizou-se depois de dois anos, tempo no qual as baterias sofreram envelhecimento apesar de terem sido cuidadas nesse lapso de tempo.
- Na Argentina, “uma empresa elétrica teve que trocar as lâmpadas (mais de 2500) de um projeto de SFD's depois de alguns meses de operação, devido ao deficiente funcionamento do reator a baixas temperaturas, características da região em questão”. (NARVARTE, 2001:13-14).

Em meio a este cenário, existe um amplo consenso da necessidade de estabelecer especificações técnicas e os respectivos procedimentos de controle de qualidade dos sistemas fotovoltaicos que garantam seu adequado funcionamento (ZILLES, 1996; CABRAAL;

---

<sup>7</sup> Companhia Energética de São Paulo.

COSGROVE-DAVIES; SCHAEFFER, 1998:208; FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:1; SANTOS, 2002:115; DÍAZ; LORENZO, 2001b:363).

Desta maneira, os principais benefícios que podem ser obtidos pelo estabelecimento destes requerimentos técnicos mínimos e, além disso, pelos procedimentos de qualificação de componentes e avaliação do sistema, em conjunto são:

- Servir como referência na fabricação dos produtos.
- Balancear a concorrência entre os diferentes produtos.
- Maior transparência no mercado.
- Conseguir sistemas fotovoltaicos melhores e confiáveis.
- O implementador terá as ferramentas necessárias para verificar as especificações técnicas requeridas.
- Garantir uma boa qualidade dos produtos e com isso a satisfação do usuário.
- Estimular a transferência tecnológica apropriada ao meio.
- Promover uma efetiva proteção ao consumidor.
- Melhorar radicalmente a realidade da eletrificação rural fotovoltaica e desta forma, fomentar sua disseminação com maior facilidade.
- Os programas de grande porte terão uma melhor oportunidade de terem resultados positivos.

A procura pelo estabelecimento das especificações técnicas e o controle de qualidade, que sejam amplamente aceitos internacionalmente, tem a finalidade de definir as normas correspondentes para o sistema e para cada componente. Similares aos existentes para os módulos fotovoltaicos.

A tarefa de normalização dos componentes fotovoltaicos é tratada nas instituições eletrotécnicas de cada país, as quais se agrupam internacionalmente no IEC, e, por exemplo, no contexto regional tem-se o CENELEC<sup>8</sup> no continente europeu. Nos diferentes países europeus tem-se, por exemplo, a DKE<sup>9</sup> da Alemanha, a AEE<sup>10</sup> da Espanha. Enquanto na América Latina tem-se, por exemplo, o IBNORCA<sup>11</sup> da Bolívia, a ABNT<sup>12</sup> do Brasil, etc.

Embora o objetivo da presente dissertação não vise que as especificações e procedimentos propostos se convertam em normas, senão, a servir como um documento de consulta, se

---

<sup>8</sup> Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica

<sup>9</sup> Deutsche Elektrotechnische Kommission

<sup>10</sup> Associação Eletrotécnica Espanhola

<sup>11</sup> Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

<sup>12</sup> Associação Brasileira de Normas Técnicas

consultou a informação existente referida a estes temas inclusive aquelas que procuram converter-se em normas, informação que se descreve sucintamente a seguir.

Algumas das instituições anteriormente mencionadas junto com outras entidades independentes ou particulares (IREDA<sup>13</sup>, IIE<sup>14</sup>, IES<sup>15</sup>, GTZ<sup>16</sup>, NRECA<sup>17</sup>), promotores da eletrificação rural (governos, Banco Mundial), grupos internacionais de certificação (IEC, PV-GAP<sup>18</sup>) estão tentando estabelecer as especificações técnicas e controle de qualidade, seguindo diversas estratégias e como resultado, têm-se o surgimento, nos últimos anos, de diversas normas técnicas<sup>19</sup> para alguns componentes, como por exemplo, a norma francesa de baterias solares NF-C 58-510, a alemã DIN<sup>20</sup> 40025, algumas normas americanas IEEE, ou projetos de normas através de diversas instituições, comitês técnicos, etc. como, por exemplo, o comitê técnico da CENELEC, chamado “Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica” que se criou em 1996.

No entanto, a principal dificuldade é que muitas delas se defrontam com o problema de que para sua comprovação é necessário realizar procedimentos de ensaio complexos, baseados em instrumentação sofisticada, encontrada tipicamente nos países desenvolvidos, e mão de obra especializada. Isto faz com que seja inviável sua implementação em muitos projetos ou programas de eletrificação rural. De fato, a maior parte destas normas nunca foi aplicada em um programa de eletrificação rural fotovoltaica (NARVARTE, 2001:11). Justamente nesta direção se estão desenvolvendo ações para definir especificações e procedimentos que sejam aceitos amplamente por diversas organizações, a seguir destacam-se as seguintes:

- **Photovoltaics-Global Approval Program (PV-GAP).**

Programa promovido por vários fabricantes de equipamentos solares, instituições de crédito, organizações governamentais e não governamentais. Este programa foi apresentado no 14º Conferencia Fotovoltaica em Barcelona – Espanha como uma ação internacional, dirigida pela organização de empresas fotovoltaicas com o objetivo de identificar, compilar normas de qualidade e procedimentos de certificação de componentes, eventualmente desenvolver

---

<sup>13</sup> Indian Renewable Energy Development Agency

<sup>14</sup> Instituto de Investigaciones Eléctricas

<sup>15</sup> Instituto de Energia Solar da Universidad Politécnica de Madrid

<sup>16</sup> Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

<sup>17</sup> National Rural Electric Cooperative Association

<sup>18</sup> Global Approval Program for Photovoltaics

<sup>19</sup> 93 e 117 normas que afetam, respectivamente, ao sistema fotovoltaico ou algum de seus componentes (NARVARTE, 2001:11).

<sup>20</sup> Deutsches Institut für Normung

normas em países que não tenham e identificar laboratórios de ensaios qualificados para certificar componentes e sistemas (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:6; MROHS, 1998:310).

O PV-GAP, que trabalha em conjunto com o IEC, elaborou um conjunto de normas e procedimentos que tem, entre outros, os inconvenientes de responder a critérios da indústria que não estão adaptados totalmente às realidades de diversos países, além disso, impõe sobre os fabricantes de componentes e/ou integradores de sistemas, que todos os produtos fotovoltaicos levem um selo GAP proporcionado pelo Laboratório de Ensaio Fotovoltaico de Qualificação GAP. O qual, como se pode imaginar, tem um custo elevado especialmente para fabricantes locais, favorecendo assim, os fabricantes que justamente promovem o PV-GAP.

- **Projeto de normas CENELEC: Procedimentos de ensaio para controladores de carga e sistemas de iluminação para sistemas fotovoltaicos domiciliares.**

Projeto de norma elaborada pela TÜV-Rheinland, the Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme e o Laboratório Tecnológico de Energia de BBPT<sup>21</sup> na Indonésia. Atualmente está sendo revisada pelo CENELEC e pelo IEC. Estes procedimentos, como no caso anterior, apresentam o problema dos altos custos dos ensaios devido à complexidade de alguns deles (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:9).

- **Quality Standards for Solar Home Systems and Rural Health Power Supply.**

Normas elaboradas pela GTZ em base à avaliação de 11 documentos, de diversas instituições, sobre propostas de normas ou recomendações técnicas para os componentes do sistema e para o sistema fotovoltaico.

- **The Universal Technical Standard for Solar Home Systems. Thermie B SUP 995-96. EC-DGXVII.**

Desenvolvido no marco do programa de pesquisa da Comunidade Européia pelo IES. O documento propõe uma série de critérios para o dimensionamento e para as características técnicas dos diversos componentes do SFD divididos em “compulsórios”, “recomendáveis” e “sugeridos”.

Estes critérios foram estabelecidos através da revisão e análise de 18 documentos técnicos produzidos no período de 1989 a 1997 em diversos países do Mundo.

---

<sup>21</sup> Agency for the Assessment and Application of Technology



Esta proposta tem o objetivo de estabelecer requerimentos técnicos mínimos dos componentes e do sistema fotovoltaico. Adicionalmente, estabelecer procedimentos simples para avaliação dos mesmos utilizando aparelhos de medição que podem ser encontrados na maioria dos laboratórios equipados com instrumentação elétrica de uso comum e, ademais, não necessariamente reconhecidos como entidades de certificação internacional (ISO<sup>22</sup> 17025 ou similar).

Todos estas publicações apresentam algumas inconsistências, particularmente no que se refere à especificação do tipo de módulo e número de células por módulo, tipo de baterias, pontos de ajuste do controlador de carga, informações operacionais aos usuários, queda de tensão nos equipamentos, medidas de segurança e requerimentos para reatores de lâmpadas, fios, cabos e conectores. (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:23). A tabela 1 extraída de Zilles (1996) exemplifica algumas destas inconsistências.

Obviamente, esta diversidade de requerimentos técnicos representa um problema, especificamente para o estabelecimento de um mercado fotovoltaico internacional baseado, atualmente, na importação de produtos dos países desenvolvidos.

Tabela 1 - Discrepâncias nos requerimentos técnicos exigidos por diferentes agências.

<b>Agência</b>	<b>Baterias</b>	<b>Controlador de carga</b>
IREDA	Baterias de carro são proibidas	Diodo de bloqueio é requerido
IIE	Baterias de carro são permitidas	Diodo de bloqueio é requerido
GTZ	Baterias de carro são permitidas com severas modificações	Diodo de bloqueio não é mencionado
IES	Baterias de carro são permitidas com pequenas modificações	Diodo de bloqueio não é mencionado

Portanto, faz-se necessário organizar as informações para sugerir as especificações técnicas mínimas e seus respectivos procedimentos de avaliação da qualidade dos componentes dos SFD's que possam ser implementados em laboratórios com uma instrumentação relativamente simples, tal como, por exemplo, os vinculados a ensaio e pesquisa de sistemas fotovoltaicos.

<sup>22</sup> International Organization for Standardization

## **Metodologia**

O método adotado consta de uma revisão da bibliografia sobre o tema em questão, com ênfase em normas e procedimentos de qualificação de componentes usados em sistemas fotovoltaicos domiciliares. Pretende-se conhecer os principais parâmetros que caracterizam e qualificam os componentes constituintes dos sistemas fotovoltaicos domiciliares.

A partir desse conhecimento, busca-se estabelecer os procedimentos de ensaio dos parâmetros que caracterizem os respectivos componentes dos sistemas fotovoltaicos domiciliares. Dá-se ênfase na adoção de procedimentos simples com aparelhos de medição de uso comum nos laboratórios de eletricidade, instrumentação ou similares, com a melhor precisão possível nos resultados finais e que possam ser aplicáveis na maioria dos laboratórios existentes nos institutos e grupos de pesquisa dos países em desenvolvimento.

# **Capítulo I. Discussão de Especificações Técnicas para Fins de Aquisição de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares para Programas de Eletrificação Rural**

Neste capítulo apresenta-se a proposta de especificações técnicas para os componentes do SFD, com o objetivo de garantir um mínimo de qualidade dos componentes nos programas de eletrificação rural fotovoltaica.

Para definir as especificações se procurou as já existentes, assim como, as recomendações e comentários que aparecem na bibliografia, as quais são discutidas oportunamente. Nos casos em que as especificações resultaram óbvias não se incluiu nenhuma justificativa.

Como as especificações estão diretamente relacionadas com os procedimentos de ensaio, neste trabalho se procurou não perder de vista, ao definir cada especificação, a viabilidade dos ensaios de verificação de cada uma das especificações, com este fim se estabeleceram os seguintes critérios:

- Os instrumentos ou dispositivos de medição e aparelhos usados na verificação das especificações deverão ser os mais simples possíveis e de uso comum nos laboratórios.
- Os procedimentos de verificação das especificações deverão levar em conta, na medida do possível, às condições previstas de funcionamento do SFD. Por exemplo, tempo de funcionamento, capacidade dos componentes, etc.

As especificações referentes aos componentes em questão, estão divididas em cinco blocos, a saber:

- Gerais, especificações relacionadas com as informações técnicas que deverão acompanhar a cada componente, as quais deverão estar na língua do país ou na língua nativa onde será instalado o SFD.
- Físicas, especificações destinadas a facilitar as atividades de instalação e manutenção, assim como, garantir um mínimo de acabamento e qualidade nos materiais usados na confecção do componente.
- Elétricas, especificações que procuram garantir um mínimo de qualidade de funcionamento dos componentes por longo tempo de vida.
- Funcionamento em condições extremas de operação, especificações destinadas a garantir o funcionamento dos componentes em eventuais condições críticas.
- Proteções, especificações destinadas a proteger um componente, ou os demais, durante as atividades de instalação ou manutenção.

Dado que algumas das especificações e procedimentos propostos estão relacionadas com o tamanho do SFD e as condições climáticas onde será implantada a tecnologia FV, deve-se previamente preencher uma ficha similar à que se apresenta na tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Informação geral do SFD e das condições climáticas da localidade.

	Características nominais	
SFD	Tipo	Em ..... (continua, alternada ou continua/alternada)
	Tensão nominal em corrente contínua (CC) e/ou alternada (CA)	..... V <sub>CC</sub> / ..... V <sub>CA</sub>
Gerador FV	Corrente pico a STC <sup>23</sup>	..... A
	Tensão de circuito aberto a STC	..... V
Controlador de carga	Capacidade do lado do gerador FV	..... A
	Capacidade do lado das cargas	..... A
Acumulador de carga	Capacidade	..... Ah – .... V para ..... horas
Luminária em CC	Potência nominal	..... W
Inversor CC/CA	Potência nominal	..... W
Cargas	Corrente	..... A
Localidade	Temperatura máxima	..... °C
	Temperatura mínima	..... °C

<sup>23</sup> Standard Test Condition

## **1.1. Acumulador de carga**

O acumulador de carga de chumbo ácido, o qual a partir de agora se denominará só como acumulador, caracteriza-se, em relação às outras tecnologias, por ser mais econômico, disponível e de uso comum no setor rural, porém, as especificações técnicas que se apresentam neste capítulo referem-se aos acumuladores de chumbo ácido aberto ou selado<sup>24</sup> do tipo automotivo e automotivo modificado.

### **1.1.1. Características gerais**

ACG-1. Deverá estar devidamente etiquetado. A etiqueta deverá estar colada firmemente ou impressa sobre a superfície (lateral ou superior) do acumulador. Deverão constar nela a marca, modelo, número de serie denominação comercial (se tiver), data de fabricação, tipo de acumulador, tensão nominal e a capacidade em Ah para uma determinada quantidade de horas.

ACG-2. Cada acumulador deverá estar acompanhado de suas especificações técnicas, cartilha de uso e certificado de garantia.

As especificações deverão incluir as informações apresentadas na etiqueta, a densidade do eletrólito, as curvas de carga e descarga para regime de descarga de 20 horas.

### **1.1.2. Características físicas**

ACF-1. Deverá contar com algum dispositivo que faça parte da caixa do acumulador que facilite o transporte do acumulador com segurança.

ACF-2. A polaridade deverá estar sinalizada sobre a caixa do acumulador ao lado de cada terminal mediante uma impressão em baixo ou alto relevo com as seguintes simbologias, “+” para a polaridade positiva e “-” para a polaridade negativa.

---

<sup>24</sup> Ou os assim chamados de livre manutenção.

ACF-3. Cada terminal do acumulador deverá permitir a fixação de um fio igual ou maior a 6 mm<sup>2</sup>, mediante um parafuso, o qual deverá ser fornecido junto com suas respectivas arruelas e porcas.

ACF-4. No caso dos acumuladores abertos, as tampas deverão poder ser retiradas manualmente, sem necessidade de instrumentos, e sem maiores dificuldades.

ACF-5. A densidade do eletrólito quando o acumulador está completamente carregado, deverá estar entre 1,20 e 1,22 g/cm<sup>3</sup> para regiões quentes<sup>25</sup>, 1,23 e 1,25 g/cm<sup>3</sup> para regiões com clima temperado e 1,26 e 1,28 g/cm<sup>3</sup> para regiões frias<sup>26</sup>. Especificação destinada para os acumuladores abertos.

#### Comentário:

Em algumas publicações se recomenda que a densidade do eletrólito tenha um valor mínimo, tal como, por exemplo, 1,25 g/cm<sup>3</sup> (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37), mas como a temperatura influencia a densidade do eletrólito e este à resistência da passagem de corrente e este à capacidade do acumulador (VINAL, 1966:109, 219-222), se considerou importante levar em conta este parâmetro segundo a temperatura típica da localidade tal como recomenda Dunlop et al. (2001:2), porém, adotou-se as recomendações (LORENZO et al., 1994:138; LASNIER; ANG, 1990:119-121) que estabelecem uma relação entre uma condição climática e a densidade do eletrólito.

### **1.1.3. Características elétricas**

ACE-1. O acumulador deverá, logo depois de realizados três ciclos<sup>27</sup> de carga (até 2,4 V/elemento) e de descarga (até 2,05 V/elemento), fornecer<sup>28</sup> .... Ah em .... horas a 25 °C com um fator de correção da capacidade de 1%/°C. A capacidade não deverá ser menor que 5% da capacidade especificada.

#### Comentário:

A capacidade total do acumulador está definida pelos Ah contidos entre a tensão de 1,8 V/elemento e a tensão que assegure uma carga completa do acumulador para uma

---

<sup>25</sup> Temperatura média anual superior a aproximadamente 30 °C (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:35)

<sup>26</sup> Temperatura média anual inferior a aproximadamente 15 °C (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:35)

<sup>27</sup> Ver ponto 3.1.3.1. da presente dissertação.

<sup>28</sup> Valores que deverão estar preenchidos na tabela 1.1.

determinada quantidade de horas de descarga, sendo que este valor não deverá ser menor<sup>29</sup> que 5% do valor especificado.

Por outro lado, dado que a temperatura é um dos fatores que determina a capacidade do acumulador especificou-se a necessidade de corrigir a capacidade do acumulador em 1%/°C, tal como se menciona em Lorenzo et al. (1994:137) sempre que a temperatura de ensaio for diferente de 25 °C.

Entretanto, em diversas publicações (VINAL, 1966:48; CHENLO et al., 1991:1047; BOPP et al., 1998:278; DIAZ; LORENZO, 2001b:368; VERVAART; NIEUWENHOUT, 2001:12; ATMARAM; ROLAND, 2001:32) se ressalta o fato que os acumuladores de carga, em geral, quando saem da fábrica não têm sua verdadeira capacidade, senão, em muitos casos, um valor muito menor. Portanto, recomenda-se (SPIERS; ASKO, 1995:249) fazer alguns ciclos de carga e descarga prévios antes de determinar finalmente a capacidade do acumulador, por exemplo, Vervaart e Nieuwenhout (2001) recomendam fazer previamente 10 ciclos de carga e descarga do acumulador antes de fazer a primeira verificação de sua capacidade enquanto Atmaram e Roland (2001) recomendam fazer de dois a três ciclos.

Recomendações estas que tornam o procedimento de ensaio muito demorado, entre 5 e 9 dias dependendo do número de ciclos e a profundidade de descarga, razão pela qual se propõe realizar 3 ciclos prévios com tensões de fim de carga de 2,4 V/elemento e de descarga de 2,05 V/elemento ao regime de descarga especificado.

ACE-2. Estando o acumulador completamente carregado, sua capacidade não deverá diminuir por efeito de sua autodescarga, em um mês em mais de 6% para climas temperados, 8% para climas quentes e 3% para climas frios.

#### Comentário:

O acumulador eventualmente pode ficar armazenado sem receber carga antes ou após a instalação por diversos motivos, porém, adotaram as recomendações (EUROPEAN COMMISSION, 1998:55; FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:77, VELA, 2000:23) relacionadas a autodescarga segundo o clima.

ACE-3. A capacidade inicial do acumulador não deverá ser menor que 80% da capacidade nominal do acumulador.

---

<sup>29</sup> Valor máximo aceitado em diversas publicações, tal como a European Commission (1998:55)

Comentário:

Dado que tipicamente, no dimensionamento do acumulador, nos SFD's se estima uma profundidade de descarga diária máxima de 20% (LORENZO et al., 1994:132) aproximadamente, se propõe especificar que a capacidade inicial não poderá ser menor que 80% da capacidade nominal do acumulador.

ACE-4. O ciclo de vida do acumulador, para profundidade de descarga de 20%, deverá ser superior a 1.500 ciclos.

Comentário:

Um dos parâmetros importantes para a qualificação do acumulador é o ciclo de vida, o qual tipicamente, em condições de operação normal, encontra-se entre os 1.000 e 2.000 ciclos, (BOPP et al., 1998:275; VELA, 2000:22). Sua constatação exige, pelo menos, a mesma quantidade de dias ou mais para uma determinada profundidade de descarga diária, o qual evidentemente resultaria em processos de ensaio muito longos para os prazos tipicamente encontrados nos programas de eletrificação rural.

Com o objetivo de reduzir estes tempos, alguns procedimentos propõem submeter o acumulador de carga a profundidades de descarga máxima durante um *mínimo* de ciclos, tal como 200 ciclos a profundidade de descarga de 50% (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:31), taxas de corrente de carga e descarga bem maiores às nominais ou degradação acelerada em piscinas a temperaturas elevadas<sup>30</sup>. Contudo, segue-se tendo o problema da limitação de tempo<sup>31</sup>. Por exemplo, no primeiro caso, um acumulador com capacidade de 100 Ah (20 horas) completamente carregado precisaria de pelo menos dois dias (considerando 10 horas de carga, 10 horas de descarga, 24 horas em tensão constante e tempos de repouso) para fazer um ciclo por acumulador, ou seja 30 ciclos em dois meses, menos de 7% dos 200 ciclos recomendados. No entanto, se apresenta uma proposta de especificação de durabilidade cuja implementação estará em função da disponibilidade de tempo e da logística necessária para realizar o ensaio.

---

<sup>30</sup> Em torno aos 45 °C.

<sup>31</sup> Como foi estabelecido no início deste capítulo esta limitação é de dois meses.



## 1.2. Controlador de carga

O controlador cumpre uma série de funções, como por exemplo, fornecer energia às cargas a uma tensão adequada, informar ao usuário de alguma forma o estado de carga do acumulador, etc., porém sua principal função é de controlar o funcionamento do acumulador para evitar um prematuro envelhecimento do mesmo que é produto da estratificação do ácido, de inadequadas estratégias de carga e de descargas profundas (RUDELLE et al., 2002:532).

Por outro lado, os acumuladores de carga têm um comportamento diferenciado entre eles nos processos de carga e descarga, portanto, as tensões de corte e de desconexão do controlador não poderão ter um único valor, senão, dependerão do tipo de acumulador. Por isso, nas especificações correspondentes às características elétricas têm-se informadas as faixas de tensões nas que o controlador deverá atuar necessariamente.

As seguintes especificações técnicas estão destinadas aos controladores de carga, tipo *on/off*, eletromecânico ou estado sólido, e PWM<sup>32</sup>. Que a partir de agora serão denominados só como controladores.

### 1.2.1. Características gerais

CCG-1. Deverá estar devidamente etiquetado. Deverá constar na etiqueta o nome do fabricante, modelo, número de serie, denominação comercial (se tiver), capacidade em amperes do lado do gerador FV e das cargas, tensão nominal de operação, capacidade do fusível, diagrama elétrico de conexão especificando claramente as polaridades e os terminais de cada componente.

CCG-2. Cada controlador deverá estar acompanhado pela seguinte documentação: características técnicas (as apresentadas na etiqueta, as tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV, as tensões de desconexão e reposição das cargas, o fator de correção de tensão por temperatura, tipo de controlador e explicação detalhada da informação visual que fornece o controlador), os manuais de manutenção, de operação, de instalação, de cuidado pessoal e certificado de garantia.

---

<sup>32</sup> Pulse-width-modulated

CCG-3. O fusível deverá ser de uso comum nas redondezas da localidade onde será instalado o sistema.

### **1.2.2. Características físicas**

CCF-1. A caixa do controlador deverá estar vedada para impedir a entrada de água, poeira e insetos em seu interior. O índice de proteção<sup>33</sup>, IP, recomendado é IP 54.

#### Comentário:

Em várias experiências se verificou o quanto é importante que o controlador evite a entrada de insetos, especialmente em regiões quentes, pois estes prejudicam o funcionamento do mesmo.

CCF-2. A caixa do controlador e seus acessórios deverão ser de materiais resistentes à oxidação e rígidos.

CCF-3. Deverá ter-se acesso à placa eletrônica ou aos dispositivos eletromecânicos do controlador. Sendo possível identificar os componentes da mesma.

CCF-4. Nos terminais do controlador deverão estar claramente indicadas a polaridade e o componente a conectar. Esta sinalização deverá estar de acordo com a apresentada no diagrama elétrico.

CCF-5. Os terminais deverão estar firmemente conectados na caixa do controlador, deverão ser de material resistente à oxidação e apropriados para conectar fios a partir de 4 mm<sup>2</sup>.

#### Comentário:

Visando a necessidade de diminuir as perdas de energia recomenda-se que as quedas de tensão na fiação sejam próximas a 1% (LORENZO et al., 1994:116) e dado que os controladores de menor capacidades estão em torno a 10 A sugere-se que os terminais permitam a conexão de fios de um diâmetro não inferiores a 4 mm<sup>2</sup>.

---

<sup>33</sup> Sistema de qualificação desenvolvido pela CENELEC e descrito no IEC 60529 que proporciona um meio de classificar o grau de proteção de sólidos e líquidos que o equipamento deve possuir. Assim, por exemplo, um IP 54 significa que o equipamento está protegido contra objetos sólidos de mais de 1 mm e contra jatos de água a baixa pressão de todas as direções.

CCF-6. O controlador deverá conter todos os acessórios necessários para sua instalação. Todos os parafusos deverão ser de material resistente à oxidação.

CCF-7. O porta fusível deverá ficar na parte externa da caixa e devidamente identificado sua posição e sua capacidade em amperes. O fusível deverá ser facilmente removível, sem necessidade de uso de ferramentas.

### **1.2.3. Características elétricas**

CCE-1. Os valores das tensões de desconexão e reposição não deverão mudar em mais de 1% para qualquer regime de carga ou descarga.

#### Comentário:

Embora se especifique uma faixa de tensões para cada tensão de desconexão ou reposição, o controlador deverá manter estas tensões estáveis para qualquer processo de carga ou descarga onde será instalado, com este fim se adotou a recomendação da European Commission (1998:56).

CCE-2. O valor da tensão de desconexão de carga do gerador FV deverá estar entre os 2,35 e os 2,45 V/elemento (para os controladores *on/off*) e para os controladores PWM entre os 2,3 e os 2,35 V/elemento a 25 °C.

#### Comentário:

Em diversas experiências mostra-se a importância de selecionar uma apropriada tensão de desconexão para minimizar o consumo de água (ZILLES; LORENZO; SERPA, 2000:426) nos acumuladores abertos ou evitar o deterioramento dos acumuladores selados.

A tensão de desconexão não necessariamente é a maior tensão que o controlador permite atingir, mas sim, a tensão na qual começa o controle do processo de carga do acumulador.

Para a seleção da tensão de desconexão, VELA et al. (2000) recomenda para impedir o fenômeno da estratificação, uns dos fatores responsáveis pelo envelhecimento do acumulador (BOPP et al., 1998:280), evitar a subcarga e favorecer, bem mais, as sobrecargas, no entanto, esta prática traz problemas de corrosão. Adicionalmente, cabe mencionar que outro benefício futuro da sobrecarga será de ajudar a equilibrar o aumento da resistência interna do acumulador ao envelhecer (VELA, 2000:17).

No caso dos controladores *on/off*, cujo procedimento de carga se fundamenta no fornecimento de corrente à tensão variável, a tensão de desconexão deverá ser maior que a tensão de

gasificação para permitir que durante algum tempo se produza o fenômeno de gasificação. No caso dos controladores PWM, cuja carga final se realiza a tensão “constante” deverá ser algo menor que a tensão especificada para os controladores *on/off*.

A faixa de valores especificada para a tensão de desconexão de carga do gerador FV foi extraída das seguintes recomendações:

- 2,30 e 2,25 V/elemento a 20 °C (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37);
- 2,35 V/elemento a 25 °C para controladores paralelo e de 2,45 V/elemento para controladores serie (LORENZO et al.,1994:152);
- 2,41 e 2,50 V/elemento a 25 °C (STRONG; SCHELLER,1993:90; ATMARAM; ROLAND, 2001:37);
- 2,42 V/elemento a 25 °C (VERVAART; NIEUWENHOUT, 2001:48);
- 2,45 V/elemento a 25 °C (DUNLOP; FARHI, 2001:5);
- 2,50 e 2,54 V/elemento a 25 °C para acumuladores automotivos e entre 2,60 e 2,65 V/elemento para acumuladores de descarga profunda (LASNIER; ANG, 1990:118);
- 2,35 V/elemento a 25 °C (PREISER; KUHMAN; PARODI, 1998:3);
- 2,35 e 2,40 V/elemento a 25 °C (ATMARAM; ROLAND, 2001:32; KIVAISI, 2000:467);
- 2,3 e 2,4 V/elemento a 25 °C (EUROPEAN COMMISSION, 1998:6).

CCE-3. A tensão de reposição de carga do gerador FV para os controladores *on/off* deverá estar entre 2,25 e 2,3 V/elemento.

#### Comentário:

Uma vez atingida a tensão de desconexão de carga do gerador FV existem duas possíveis situações, a primeira que a tensão do acumulador diminua “naturalmente” e a segunda que diminua devido ao ligamento das cargas.

Portanto, a tensão de reposição de carga do gerador FV deverá ser tal que o tempo de reposição de carga seja de alguns minutos e não algumas horas produzindo-se perdas de energia, nem tampouco de alguns segundos produzindo-se uma histerese muito curta que pode prejudicar o controlador.

Os valores recomendados na bibliografia (PREISER et al., 1998:3; ATMARAM; ROLAND, 2001:37; DUNLOP; FARHI, 2001:5) são de 2,3 V/elemento e de 2,15 e 2,2 V/elemento (EUROPEAN COMMISSION, 1998:6), valores estes últimos que podem resultar em tempos

muito longos<sup>34</sup>, especialmente se a descarga acontece “naturalmente”, por esta razão especifica-se a faixa de tensões mais próxima ao maior valor recomendado.

CCE-4. A tensão de desconexão das cargas deverá estar entre os 1,95 V/elemento e 2,02 V/elemento.

Comentário:

A tensão de desconexão das cargas está diretamente relacionada com a satisfação do usuário e com a vida do acumulador.

Um valor da tensão de desconexão das cargas muito baixo permite que se produzam descargas profundas, as quais, por sua vez, provocam diminuição da concentração do eletrólito, que caso ocorra por longos períodos produzirá o envelhecimento dos acumuladores (BOPP et al. 1998:280).

Os valores recomendados para tensões de desconexão das cargas são:

- 1,7 e 1,9 V/elemento para acumuladores de descarga profunda e acumuladores automotivos, respectivamente (LASNIER; ANG, 1990:118);
- 1,8 e 1,9 V/elemento (ATMARAM; ROLAND, 2001:38);
- 1,7 e 1,9 V/elemento (PRESSEAS; MAKIOS, 1991:998);
- 1,83 e 2,0 V/elemento (STRONG; SCHELLER, 1993:94);
- 1,9 V/elemento (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37; PREISER et al., 1998:3);
- 1,90 e 1,95 V/elemento (LORENZO et al., 1994:153);
- 1,95 e 2,0 V/elemento (KIVAISI, 200:467);
- 2,0 V/elemento (BOPP et al., 1998:277).

A experiência tem demonstrado que valores inferiores a 1,9 ou 1,95 V/elemento, valores próximos a 20 e 40% do estado de carga do acumulador, são muito pequenos e prejudiciais para a vida do acumulador (BOPP et al. 1998:285; DUNLOP; FARHI, 2001:5). Motivo pelo qual, encontram-se altas taxas de falha em algumas experiências de campo, tais como de 19% (VAN DER PLAS; HANKINS,1998:297).

Por um lado, a conclusão lógica seria de elevar esta tensão, mas por outro lado, um valor muito alto produzirá insatisfação nos usuários pelos contínuos cortes de fornecimento ou a necessidade de sobredimensionar o acumulador, o qual por sua vez pode trazer outros problemas. Levando em conta estas questões se propõe a faixa de tensões apresentada que procura garantir uma profundidade de descarga máxima em torno a 50%.

---

<sup>34</sup> Mais de uma hora

CCE-5. A tensão de alarme por proximidade de desconexão das cargas não deverá ser maior que 0,04 V/elemento nem menor a 0,03 V/elemento em relação à tensão de desconexão das cargas.

Comentário:

O usuário deverá ser advertido previamente à desconexão das cargas para que este tome suas providências. Díaz e Lorenzo (2001b:41) recomenda que a tensão de alarme apareça quando esta atingir um valor de 0,2 V maior que a tensão de desconexão para sistemas com tensão nominal de 12 V. Para fins de generalização desta recomendação se especificou esta tensão por elemento.

CCE-6. A tensão de reposição das cargas deverá estar entre 2,15 e 2,25 V/elemento, se o controlador usa relés eletromecânicos a reposição das cargas deve ser efetivada somente após ter transcorrido pelo menos 1 minuto.

Comentário:

Esta faixa de tensões de reposição das cargas foi escolhida na especificação para garantir que o acumulador recupere seu estado de carga em patamares maiores a 75%.

As recomendações na literatura são de:

- 1,95 a 2,25 V/elemento (PRESSEAS; MAKIOS, 1991:998);
- 2,10 V/elemento (PREISER et al., 1998:3; FAHLENOCK; HAUPT, 1998:37);
- 2,15 a 2,2 V/elemento (EUROPEAN COMMISSION, 1998:6);
- 2,17 a 2,27 V/elemento (STRONG; SCHELLER, 1993:94).

Todos estes valores procuram a melhor relação de compromisso entre o cuidado do acumulador e a satisfação do usuário, questão complicada devido à variabilidade das condições ambientais na que funciona o SFD e do hábito de consumo do usuário. Uma seleção elevada desta tensão para proteger o acumulador poderá provocar, no usuário, uma insatisfação pela demora na reposição do serviço e conseqüentemente uma conexão direta que elimina o controlador tal como se relata em diversas experiências (NIEUWENHOUT et al., 2000; HUACUZ; FLORES; AGREDANO, 1995; EUROPEAN COMMISSION, 1998).

Portanto, procurou-se selecionar uma faixa de tensões que permita ao usuário, depois de uma descarga profunda, usar seu sistema por algumas horas e que o acumulador recupere o mínimo de sua capacidade.

CCE-7. O controlador deverá funcionar entre as temperaturas mínimas e máximas anuais da localidade onde será instalado o SFD.

Comentário:

Há registros de problemas de funcionamento de controladores em condições extremas de temperatura, em geral associados com sobreaquecimento da parte eletrônica devido a uma deficiente ventilação. Para exemplificar este fato, em Díaz e Lorenzo (2001b:39) é relatado que metade dos controladores ensaiados apresentaram problemas de funcionamento a 45 °C.

CCE-8. As quedas internas de tensão do controlador deverão ser no máximo de 4% entre os terminais do acumulador – gerador FV e cargas para qualquer condição de funcionamento do SFD.

Comentário:

O funcionamento adequado do SFD está baseado basicamente nas tensões dos diversos elementos, sendo assim, uma elevada queda de tensão na geração elétrica produzirá uma baixa taxa de acumulação de energia, enquanto que, uma queda de tensão elevada do lado da carga provocará que estas fiquem desligadas com maior frequência.

Portanto, minimizar as quedas de tensão no SFD deveria ser, em geral, uma prática comum para diminuir as perdas de energia e fornecer um serviço de melhor qualidade.

Os valores encontrados na bibliografia são de 0,5 ou 1,0 V para os sistemas de 12 e 24 V (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37) respectivamente ou porcentagens de 5% (ATMARAM; ROLAND, 2001:39) e de 4% (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37; EUROPEAN COMMISSION, 1998:7), sendo o último adotado para esta especificação.

CCE-9. O controlador não deverá consumir mais de 10 mA em qualquer condição de tensão.

Comentário:

Em algumas experiências de campo têm-se encontrado controladores que consomem cerca um terço da energia (VAN DER PLAS; HANKINS, 1998:297) que fornece o gerador fotovoltaico ou valores da ordem de 1,5 e 3,0 W (CHENLO et al. 1991:1047). Valores que contradizem uma das principais funções do controlador: otimizar o consumo de energia.

O autoconsumo deverá levar em conta, na avaliação, o consumo de energia dos dispositivos eletrônicos ou eletromecânicos e dos dispositivos de informação visual que podem ser ativados ou desativados pelo usuário.

Os valores recomendados para o autoconsumo de corrente são: 10 mA (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37), 1% (ATMARAM; ROLAND, 2001:39) da corrente nominal de consumo

para todas as tensões típicas do SFD e 3% do consumo diário previsto no projeto (EUROPEAN COMMISSION, 1998:7). Destes valores se adotou a recomendação de Fahlenbock e Haupt (1998).

CCE-10. O controlador deverá ser automático. Opcionalmente o dispositivo de informação visual poderá ser desligado ou ligado manualmente. A informação proporcionada pelo controlador deverá ser no mínimo a seguinte:

- indicação de entrega de corrente pelo gerador fotovoltaico
- a tensão ou estado de carga do acumulador
- alarme por proximidade de desconexão das cargas.

Comentário:

A experiência tem demonstrado que a facilidade de desativar algumas funções principais do controlador pode ocasionar o deterioramento do acumulador de carga (HUACUZ; FLORES; AGREDANO, 1995). Portanto, preferiu-se especificar que as principais funções do controlador sejam automáticas.

CCE-11. O controlador deverá contar com um dispositivo automático para mudar as tensões de desconexão e reposição de carga do gerador fotovoltaico, decorrente da mudança da temperatura ambiente. O fator de correção deverá estar entre -3 e -5 mV/°C-elemento. Em nenhum caso o controlador deverá fazer esta correção para as tensões de desconexão e reposição das cargas.

Comentário:

O tempo de vida de um acumulador é influenciado principalmente pelos seguintes fatores: o armazenamento do acumulador, os ciclos de carga e descarga e a temperatura ambiente.

Enquanto os dois primeiros fatores são controláveis, dado que o primeiro está relacionado à etapa previa de instalação e o segundo está associado com a seleção das tensões de desconexão e reposição adequadas, o terceiro não é controlável, pois está vinculado com as condições ambientais, razão pela qual o controlador deverá atuar, mediante algum dispositivo, sobre as tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV para compensar esta variação. Na ausência desta compensação, no processo de carga do acumulador, para temperaturas superiores a de referência teremos sobrecarga no acumulador e para temperaturas inferiores a de referência não se obtém a carga completa do acumulador.

O impacto da temperatura no acumulador em seu tempo de vida depende fortemente das condições de operação, o qual faz com que seja difícil sua quantificação (RUDDELL et al.,



2002:533). Contudo, com o intuito de exemplificar o impacto da temperatura Bopp et al. (1998:280-281) afirma que um incremento de aproximadamente 10 °C duplica a velocidade de corrosão.

Para que se produza esta mudança, o dispositivo no controlador deverá aplicar um determinado fator de correção. A faixa de valores especificada foi escolhida em função das seguintes recomendações:

- - 5 mV/°C-elemento (JOSSEN et al., 1991:1012; STRONG; SCHELLER, 1993:94; LORENZO et al.,1994:153);
- - 4 mV/°C-elemento (PREISER et al., 1998:4);
- - 5,5 mV/°C-elemento (PRESSEAS; MAKIOS, 1991:997);
- De -3 a -5 mV/°C-elemento (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:37 , VELA, 2000:17);
- De -3 a -7 mV/°C-elemento (ATMARAM; ROLAND, 2001:39);
- De - 4 a - 5 mV/°C-elemento (EUROPEAN COMMISSION, 1998:6).

É de ressaltar que, esta recomendação será válida sempre que o controlador estiver num ambiente similar ao acumulador ou disponha de um circuito adicional ligado ao acumulador ou ao ambiente onde este se encontra.

CCE-12. O controlador não deverá provocar interferências nas radiofrequências em nenhuma condição de operação.

#### Comentário:

Em função do principio de funcionamento (estratégias de comutação dos circuitos de controle) o controlador pode provocar interferências (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:39) no rádio ou TV, o qual evidentemente prejudica o serviço fornecido pelo sistema, há a necessidade de se verificar a não existência de tal interferência.

#### **1.2.4. Funcionamento em condições extremas de operação**

CFCE-1. O controlador deverá funcionar sem problemas em qualquer condição de acumulador desligado, ou seja, o gerador fotovoltaico (gerando) e as cargas ligadas ou desligadas, garantindo uma tensão de saída às cargas não maior de 1,25 vezes a tensão nominal do sistema.

#### Comentário:

Em certas ocasiões, pode acontecer que nos processos de instalação ou manutenção o acumulador fique, acidentalmente, desligado do controlador, frente esta eventualidade o controlador não deverá danificar-se e tampouco deverá permitir que as cargas sejam danificadas mediante algum controle (limitador) sobre a tensão de saída às cargas.

O valor especificado foi adotado tendo como base às recomendações de Fahlenbock e Haupt (1998:44) e da European Commission (1998:7).

CFCE-2. O controlador deverá permitir o fluxo de corrente desde o gerador fotovoltaico até um acumulador de carga com uma tensão de 1,5 V/elemento.

#### Comentário:

Normalmente o acumulador não deveria atingir patamares de tensão tão baixos como 1,5 V/elemento, mas frente à possibilidade que este evento se produza por diversos motivos, se incluiu esta especificação. O valor adotado foi extraído da European Commission (1998:26).

### **1.2.5. Proteções**

CP-1. Deverá contar com proteção contra correntes inversas.

#### Comentário:

Embora a incorporação desta proteção produza uma queda de tensão na linha, gerador fotovoltaico-acumulador, o qual envolve uma perda de energia, também é certo que eventualmente pode dar-se o caso de que circule uma corrente contrária até o gerador fotovoltaico com perigo de danificação, portanto se há preferido incluir esta especificação.

CP-2. Deverá contar com proteções contra polaridade invertida nas linhas do acumulador e do gerador fotovoltaico.

### **1.3. Luminária em corrente contínua**

A seguir se apresentam às especificações técnicas mínimas para luminárias, nestas especificações não se incluem às que correspondem às características luminosas porque não se conseguiu definir um procedimento de medida com a consistência suficiente, ficando para um trabalho futuro definir as especificações e procedimentos respectivos.

Com o fim de facilitar a leitura do trabalho a seguir se usará o termo luminária para referir-se ao conjunto luminária-lâmpada.

#### **1.3.1. Características gerais**

LCG-1. A luminária deverá estar etiquetada. A etiqueta deverá estar localizada sobre a superfície da luminária e contendo as seguintes informações: nome do fabricante, modelo, denominação comercial (se tiver), tensão de entrada, potência do reator e da lâmpada e o diagrama elétrico.

LCG-2. Cada luminária deverá estar acompanhada pela seguinte documentação: características técnicas (as apresentadas na etiqueta e as proteções), cartilha de uso e certificado de garantia.

LCG-3. A lâmpada deverá ser de uso comum nas redondezas da localidade onde será implantada a tecnologia.

#### **1.3.2. Características físicas**

LCF-1. A polaridade dos terminais ou dos fios de conexão deverá estar identificada claramente sobre a superfície da luminária.

LCF-2. As partes da luminária deverão ser desmontáveis. Depois de desmontado deverá ser possível identificar, por separado, como mínimo, a cobertura (se tiver), a estrutura metálica<sup>35</sup>, o reator e a lâmpada. A retirada da cobertura e lâmpada deverão ser de forma manual e fácil, sem uso de ferramentas.

---

<sup>35</sup> Incluído o refletor

- LCF-3. A estrutura metálica deverá ser feita com materiais resistentes à oxidação.
- LCF-4. O processo de limpeza da luminária não deverá apresentar perigo de ferimentos e nem o desprendimento da pintura ou material da cobertura.
- LCF-5. A luminária deverá estar bem vedada para impedir o ingresso de insetos, poeira e água em seu interior.
- LCF-6. Se a luminária está destinada a um ambiente onde se produza fumaça (por exemplo, a cozinha) ou emissão de partículas, esta deverá conter necessariamente uma cobertura rígida transparente, de fácil instalação e extração. A cobertura deverá estar unida à luminária de tal forma a evitar que a lâmpada e o refletor fiquem sujos.
- LCF-7. O modelo da luminária deverá permitir uma instalação fácil. Todos os acessórios necessários para sua montagem deverão ser fornecidos, estes deverão ser de materiais resistentes à oxidação e que permitam o uso de ferramentas simples, tal como chave de fendas do tipo estrela, plana ou mista.

### **1.3.3. Características elétricas**

LCE-1. O reator deverá contar com um sistema de pré-aquecimento.

#### Comentário:

A probabilidade de que uma luminária apresente problemas com um sistema de pré-aquecimento é menor em comparação a uma luminária que não o tenha, em especial quando a luminária funciona a baixas temperaturas, sobretudo em situações abaixo de 0°C. (NARVARTE; MUÑOS; LORENZO, 2001:482; PFANNER et al., 1991:1042). Em medições feitas por Pfanner e Kuhmann (1999:1044) as luminárias sem pré-aquecimento apresentaram falhas na lâmpada antes de 2.000 h de funcionamento. Igualmente Preiser e Kuhmann (1995:3) reconhecem a importância da existência do dispositivo de pré-aquecimento nas luminárias.

Tipicamente o tempo de pré-aquecimento dura alguns segundos (VERVAART; NIEUWENHOUT, 2001:23,34), contudo o tempo de pré-aquecimento depende da estratégia de acendimento adotado pela luminária. Portanto só se considera a existência de um retardo no acendimento da lâmpada.

LCE-2. A luminária não deverá produzir nenhum tipo de interferência na recepção de sinais de comunicação em toda a faixa de tensões típica de funcionamento do sistema fotovoltaico.

Comentário:

Esta especificação é colocada dado que a luminária pode produzir interferências, através dos fios ou via aérea, no funcionamento dos rádios ou TV<sup>36</sup>, assim como também pode produzir ruídos audíveis<sup>37</sup> para o ser humano que são incômodos.

LCE-3. A temperatura na superfície da luminária, próximo ao reator, não deverá superar os 50 °C.

Comentário:

Devida à existência do perigo de fogo por contacto do reator com materiais inflamáveis, tais como a madeira seca ou a palha, e o perigo de ferimentos por parte do usuário ao trocar a lâmpada, se optou por limitar a temperatura do reator. Para isto se adotou a recomendação que aparece na norma UL 1741.

LCE-4. O consumo de potência dos reatores quando operam sem lâmpada deverá ser inferior a 20% de seu consumo nominal em toda a faixa de tensões típica de funcionamento do sistema fotovoltaico.

Comentário:

Recomendação adotada da European Commission (1998:61) e de Atmaram e Roland (2001:50).

#### **1.3.4. Ciclo de vida**

LCV-1. O número de ciclos da luminária deverá ultrapassar os 5.000 ciclos para a menor temperatura típica da localidade ou região durante o ano. Cada ciclo consistirá em períodos de “T” minutos acesa, tempo definido pelo período em que a lâmpada levou para atingir sua temperatura máxima, e “t” minutos apagado até que este atinja sua temperatura inicial mais 2 °C ( $T_{\text{inicial}} + 2 \text{ °C}$ ). A degradação de suas características elétrica não deverá ser maior a 5%.

---

<sup>36</sup> Televisão

<sup>37</sup> Freqüências menores que 20 kHz (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:49)

### Comentário:

O número de ciclos foi adotado em base à recomendação da European Commission (1998:60) e de Fahlenbock e Haupt (1998:48).

Em quanto à duração de cada ciclo, existem três propostas, a primeira sugere o uso de ciclos lentos:

- De 3 horas acesa e 20 minutos de desligamento, tempo recomendado pela IESNA<sup>38</sup> (JI; DAVIDS; CHEN, 1999:57);
- De 2 horas e 45 minutos acesa e 15 minutos de desligamento (PFANNER et al., 2001:3).

A segunda sugere o uso de ciclos intermediários (GARBOWICK, G, 1994 in JI; DAVIDS; CHEN, 1999:58):

- De 5 minutos acesa e 5 minutos de desligamento;
- De 15 minutos acesa e 15 minutos de desligamento.

E a terceira sugere o uso de ciclos rápidos:

- De 60 segundos acesa e 120 segundos de desligamento (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:46);
- De 60 segundos acesa e 150 segundos de desligamento (EUROPEAN COMMISSION, 1998:60);
- De 10 segundos acesa e 10 segundos de desligamento (GARBOWICK, G, 1994 in JI; DAVIDS; CHEN, 1999:58);
- De 40 segundos acesa e 20 segundos de desligamento (GARBOWICK, G, 1994 in JI; DAVIDS; CHEN, 1999:58).

Propostas que envolvem, para os 5.000 ciclos, períodos de ensaio de aproximadamente 1,8 anos no caso dos ciclos lentos, 2,3 meses no caso dos ciclos intermediários e de entre 1,2 dias e 12 dias para os ciclos rápidos.

Como se pode observar existe uma grande variedade de valores recomendados segundo o fabricante ou a instituição. Segundo Ji, Davids e Chen et al. (1997:57) e García (2004:963) os ciclos rápidos têm o inconveniente de não reproduzir o funcionamento real da luminária, já que elas não chegam a ficar o suficientemente frias depois do tempo de desligamento. Fato comprovado mediante medições feitas no laboratório pelo autor desta dissertação, encontrando-se que a temperatura da lâmpada, 31 °C antes do acendimento, permanecia entre 34 e 35 °C em cada ciclo rápido.

---

<sup>38</sup> Illuminating Engineering Society of North America

Por esta razão se decidiu selecionar os tempos de acesa e apagada em função da temperatura máxima e mínima que atinge a lâmpada respectivamente, o qual envolve tempos próximos a dois meses. Tempo este que pode resultar excessivo considerando que nos processos de compra de SFD's serão necessárias duas avaliações<sup>39</sup>, uma primeira sobre o modelo de luminária de cada concorrente e a segunda da amostra do concorrente ganhador. Porém, existem duas possibilidades, a primeira seria modificar esta especificação e adotar algum ciclo rápido, tal como os mostrados anteriormente, ou na avaliação do modelo usar um número de ciclos menor, tal como 1.000 ou 2.000 ciclos, em função do tempo disponível para fazer este teste.

Por outro lado, também é importante avaliar a degradação da luminária, para isto adotou-se percentagens próximas às recomendadas por García (2000:40) para as luminárias em corrente alternada.

LCV-2. A luminária deverá funcionar em forma contínua durante 1.200 horas. A degradação de sua característica elétrica não deverá ultrapassar o 5%.

#### Comentário:

Para os ensaios de funcionamento contínuo Atmaram e Roland (2001:51) recomenda fazer o ensaio em 1.000 horas, o qual facilmente pode ser ultrapassado caso se considere 2 meses o tempo dedicado a este ensaio, mas mesmo assim o tempo é bastante curto<sup>40</sup> comparado com o tempo de vida total da lâmpada ou do reator. No entanto, procura-se com este ensaio eliminar as luminárias que apresentem sérios problemas de funcionamento no curto prazo.

Enquanto à degradação, adotou-se a mesma recomendação usada na especificação anterior de ciclagem.

Vale mencionar que neste caso, tal como foi mencionado para a ciclagem, também se apresentará a mesma limitação de tempo para o ensaio do modelo de luminária de cada concorrente, para o qual se têm duas alternativas, a primeira seria ensaiar as luminárias no tempo que se disponha nessa etapa do processo de compra ou deixar este ensaio para avaliação da amostra do concorrente ganhador.

---

<sup>39</sup> Informação mais detalhada pode ser encontrada no Capítulo II da presente dissertação.

<sup>40</sup> Equivalente a aproximadamente a 12% do tempo de vida esperada do reator, 10.000 h (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:48), e 24% do tempo esperado de duração da lâmpada, 5.000 h (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:48).

### **1.3.5. Proteções**

LP-1. A luminária deverá estar protegida contra inversão de polaridade.

LP-2. A luminária deverá funcionar por tempo indeterminado sem lâmpada.

LP-3. A luminária deverá funcionar por tempo indeterminado com a lâmpada queimada.



## 1.4. Inversor CC/CA

Tradicionalmente a configuração dos SFD's tem sido em corrente contínua, fato que limita em muitos casos o consumo de energia e os usos finais, principalmente porque o mercado em corrente contínua é ainda limitado. Enquanto que, em corrente alternada acontece o oposto, o mercado é abrangente e mais diversificado, no qual, o usuário tem uma maior opção de escolha. Portanto, nos casos em que se deseja usar aparelhos em corrente alternada se necessitará incorporar ao sistema um inversor de corrente contínua em alternada, desta forma o inversor se converte no elo entre o sistema em corrente contínua e o em corrente alternada.

O inversor deverá garantir o fornecimento de energia elétrica com a qualidade necessária para que não se produza nenhuma degradação dos aparelhos ligados ao sistema ou prejudique as atividades que realizam os usuários, seja através de interrupções ou perturbações. Perturbações que podem manifestar-se através de ruídos audíveis pelo ser humano<sup>41</sup> ou interferências nos dispositivos de transmissão ou recepção de sinais, por exemplo, os rádios, TV, etc.

A qualidade dos inversores de CC/CA encontrados no mercado é diversa, a qual está em função de sua topologia, eficiência, qualidade da energia elétrica, etc.

Em relação à forma de onda dos inversores, como se sabe, estes podem ser de onda quadrada, quadrada modificada ou senoidal. Sendo tradicionalmente de maior uso as duas primeiras, devido a questões de custo e capacidade. Contudo, este cenário está sendo revertido devido ao aprimoramento da tecnologia dos inversores de onda senoidal nos últimos anos, sendo possível encontrar no mercado inversores de boa qualidade<sup>42</sup> de baixa potência, por volta de 200 W (DURISCH; LEUTENEGGER; TILLE, 1999:417).

Do ponto de vista do usuário, o interesse é que seus aparelhos elétricos, tais como, as luminárias de baixo consumo, TV, rádio, geladeiras, pequenos motores (tipicamente de ¼ HP), etc. funcionem dentro dos parâmetros que não prejudiquem seu funcionamento.

Com este fim, o inversor, adicionalmente às outras características mencionadas anteriormente, deverá ser compatível com os aparelhos domésticos, ou seja, o inversor deverá permitir o funcionamento parcial ou total dos eletrodomésticos, fato que nem sempre acontece, tal como se relata em alguns ensaios realizados por Barros e Pinho (2002). Daí a importância de se

---

<sup>41</sup> Frequências menores a 20 kHz (FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:49)

<sup>42</sup> Alta eficiência, baixo teor de harmônicos, suportar surtos típicos que acontecem ao ligar um motor ou algum aparelho semelhante, sem interferência eletromagnética, etc.,

ensaiar não somente o inversor com cargas resistivas, senão também, sua compatibilidade com as cargas reais que serão conectadas.

#### **1.4.1. Características gerais**

ICG-1. O inversor deverá estar etiquetado. A etiqueta deverá estar localizada sobre a superfície do inversor e contendo a seguinte informação: nome do fabricante, modelo, número de serie, denominação comercial (se tiver), tensão de entrada, tensão de saída, potência nominal e o diagrama elétrico, o qual deverá mostrar claramente a localização dos terminais para fazer as conexões em corrente contínua e alternada.

ICG-2. Cada inversor deverá estar acompanhado pelos seguintes documentos: características elétricas (as apresentadas na etiqueta, eficiência elétrica para cargas parciais<sup>43</sup>, autoconsumo, corrente de surto, tensão de desconexão das cargas, tensão de reposição das cargas e proteções), manuais de instalação, operação, manutenção, cuidado pessoal e certificado de garantia.

#### **1.4.2. Características físicas**

ICF-1. A caixa do inversor deverá estar vedada para impedir a entrada de poeira, de insetos e de água ao interior do mesmo. O índice de proteção, IP, recomendado é de IP54.

##### Comentário:

As razões desta especificação são as mesmas expostas para o caso do controlador.

ICF-2. A caixa do inversor, os terminais e demais acessórios deverão ser feitos com materiais resistentes à oxidação ou pintado ao forno.

ICF-3. Todos os parafusos deverão ser de cabeça fenda, estrela ou mista de aço inoxidável.

ICF-4. Os terminais de entrada (lado CC) e saída (lado CA) deverão estar unidos firmemente ao inversor.

---

<sup>43</sup> Desde 10% até 100% da potência nominal com intervalos de 10%

ICF-5. A polaridade dos terminais do lado CC deverá estar identificada claramente sobre a superfície do inversor, assim como, quais são os terminais do lado CA.

ICF-6. Os terminais na entrada do inversor, lado CC, deverão permitir a conexão de fios com diâmetros não inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.

Comentário:

Com a mesma justificativa colocada na especificação CCF-5 e dado que os inversores de menor potência estão em torno aos 150 W e que estes deveram suprir surtes de até 6 vezes sua corrente nominal sugere-se que os terminais permitam a conexão de fios de um diâmetro não inferiores a 10 mm<sup>2</sup>.

ICF-7. Os terminais na saída do inversor, lado CA, deverão permitir a conexão de fios com diâmetros iguais ou superiores a 1,5 mm<sup>2</sup>.

Comentário:

Recomenda-se o valor de 1,5 mm<sup>2</sup> por as mesmas razões expostas na anterior especificação.

ICF-8. A localização do fusível, ou fusíveis, deverá estar sobre a superfície externa do inversor, claramente identificada. Este fusível deverá poder ser trocado pelo usuário de forma simples, sem uso de ferramentas.

ICF-9. O fusível deverá ser de uso comum nas redondezas da localidade onde se fará a instalação.

ICF-10. Cada inversor deverá incluir todos os acessórios necessários para fazer sua instalação.

ICF-11. Deve-se ter acesso ao interior do inversor, sendo possível identificar a placa eletrônica, fios, etc.

ICF-12. O ligamento do inversor poderá ser automático ou manual. Em qualquer caso, o inversor deverá contar com um interruptor para o ligamento ou desligamento do aparelho.

### 1.4.3. Características elétricas

ICE-1. A distorção harmônica total em tensão do inversor deverá ser inferior a 5% em relação à tensão fundamental RMS da forma de onda para qualquer fator de carga e para toda a faixa de tensões de entrada em CC típica do SFD.

Comentário:

A distorção harmônica em tensão é produzida fundamentalmente pelo dispositivo fornecedor de energia, enquanto as distorções em corrente são responsabilidade dos aparelhos ligados à fonte de energia. Em qualquer caso, as distorções causam perdas de energia, aquecimento de fios, problemas nos dispositivos eletrônicos, interferências, etc. Razão pela qual, decidiu-se limitar este parâmetro adotando-se as recomendações do IEEE 519 apud Gama (2001:409) e de Muñoz e Lorenzo (2003:17).

ICE-2. O autoconsumo do inversor em modo de espera ou em vazio deverá ser menor que 3 % da potência de consumo nominal do inversor para qualquer fator de carga e tensão de entrada em CC típica do SFD.

Comentário:

Valor adotado da recomendação que aparece em Atmaram e Roland (2001:46) com o objetivo de minimizar as perdas de energia no SFD.

ICE-3. O inversor deverá ter uma eficiência superior a 80% para fatores de carga entre 15% e 90% para qualquer tensão de entrada em CC típica do SFD e temperatura de operação.

Comentário:

O inversor funcionando a plena carga pode, segundo Durisch, Leutenegger e Tille (1998:585), ter eficiências entre os 85 e 95% e segundo Cruz (2000:20) entre 90 e 94%. Enquanto, que para fatores de carga menores, tais como 75%, segundo Atmaram e Roland (2001:44) a eficiência deverá ser superior a 80%. Em base a estas informações é que se especificou o valor da eficiência levando em conta que nem sempre o inversor funcionará a plena carga.

ICE-4. A tensão de saída em corrente alternada deverá manter-se entre  $\pm 10\%$  do valor nominal, para qualquer fator de carga e tensão de entrada em CC típica do SFD.

Comentário:

A variação no valor da tensão de saída pode provocar danos nas cargas ou anomalias de suas características elétricas ou luminosas.

Os valores recomendados das porcentagens de variações na tensão de saída do inversor diferem, segundo o autor, desde 5% (IES, 2000:5) a 10% (ATMARAM; ROLAND; 2001:45; UL, 2001:92; MUÑOZ; LORENZO, 2003:15). Dado que atualmente a maior parte dos aparelhos eletrodomésticos modernos funcionam com uma maior tolerância à mudança das tensões, se adotou a segunda recomendação.

ICE-5. A frequência nominal do inversor deverá manter-se entre  $\pm 5\%$  do valor nominal para qualquer fator de carga e tensão de entrada em CC típica do SFD.

Comentário:

Muitos dos dispositivos atuais não apresentam problemas com a variação da frequência, contudo existe a possibilidade que algum aparelho seja afetado com esta mudança, tal como os motores que são afetados em sua velocidade de rotação, assim como o funcionamento de relógios internos ou temporizadores de certos equipamentos.

Para prever qualquer funcionamento das cargas fora de suas características nominais se preferiu especificar os limites na mudança da frequência. Para isto se adotaram as recomendações de Atmaram e Roland. (2001:45) e Muñoz e Lorenzo (2003:15).

ICE-6. A tensão de desconexão do inversor deverá ser maior que 1,9 V/elemento e menor que 1,95 V/elemento.

Comentário:

Como foi discutido no item do controlador, é importante que o acumulador não sofra de descargas profundas para não envelhecê-lo prematuramente, mas por outro lado, muitos dos aparelhos eletrodomésticos em corrente alternada consomem, ao serem acionados, correntes maiores que a nominal, o qual produz, por sua vez, uma queda de tensão no acumulador. Razão pela qual, procura-se uma relação de compromisso, para a tensão de desconexão das cargas, que assegure que os aparelhos possam ser ligados e que o acumulador não atinja profundidades de descarga que comprometam o seu tempo de vida.

Por um lado, medições feitas em inversores de 12 V pelo IES demonstraram que as tensões de desconexão estão entre 9,6 V e 10,5 V (MUÑOZ; LORENZO, 2003:12). De igual forma pode-se encontrar valores recomendados na literatura, tal como 1,8 V/elemento (ATMARAM; RONALD, 2001:45) o qual evidentemente torna-se prejudicial para a vida do

acumulador pois esta tensão representa uma profundidade de descarga próxima a 100%, entretanto, um valor tal como 2 V/elemento resulta em um valor grande para as quedas de tensão típicas ao ligar-se todas as cargas em corrente alternada ao mesmo tempo, por esta razão preferiu-se escolher uma faixa de valores intermediários tal como a especificada.

ICE-7. O sinal por tensão de corte iminente das cargas deverá estar entre 1,97 e 2,0 V/elemento.

ICE-8. A tensão de reposição das cargas deverá estar entre 2,25 V/elemento e 2,3 V/elemento.

Comentário:

Os valores medidos das tensões de reposição das cargas em diferentes inversores de 12 V (MUNÕZ; LORENZO, 2003:12) se encontram entre os 15,0 e 16,3 V. Valores que produziram uma sobrecarga do acumulador.

Para garantir uma recuperação do acumulador antes de ser submetido novamente a um processo de descarga será preciso que este atinja patamares de tensão que o assegurem um mínimo de capacidade, que neste caso correspondem a estados de carga próximo a 75%.

ICE-9. O inversor não deverá apresentar componentes de corrente contínua e alternada nas linhas alternada (à saída do inversor) e contínua (à entrada do inversor) respectivamente.

ICE-10. A informação visual proporcionada pelo inversor deverá ser clara, a qual pode ser transmitida mediante sinais luminosos, digitais ou analógicos. A mínima informação a ser entregue pelo inversor deverá ser a seguinte: tensão ou estado de carga do acumulador e sinal de alarme por proximidade de desconexão das cargas.

ICE-11. O inversor deverá ser compatível com as cargas que serão ligadas a ele, tanto parcialmente como em conjunto.

Comentário:

Será importante levar em conta a compatibilidade entre o inversor para que não se apresentem problemas de funcionamento em campo. Neste sentido, por exemplo, recomenda-se (KIVAISI, 2000:467) que se tenha precauções ao ligar cargas reativas ao inversor, principalmente pelas altas correntes de pico que elas necessitam ao serem ligadas, de igual

forma em experiências realizadas por Galhardo e Pinho (2002) mostrou-se que os inversores, em função dos tipos das cargas ligadas a ele, podem apresentar dificuldades de partida.

Esta dificuldade na partida das cargas pode dar-se por diferentes motivos: fator de potência, fator de carga, forma de onda, corrente pico de ligamento, entre outros.

Portanto, será preciso assegurar a compatibilidade das cargas com o inversor. Havendo esta possibilidade, estas cargas deveriam ser as que tipicamente se encontram nos setores rurais que nem sempre são as de melhor qualidade.

ICE-12. O inversor deverá fornecer até 6 vezes sua corrente nominal ao momento de ligar uma ou mais cargas para toda a faixa de fatores de carga desde que o acumulador<sup>44</sup> tenha uma tensão igual ou superior a 2,3 V/elemento.

Comentário:

Muitos aparelhos ao serem ligados requerem uma corrente 5 a 6 vezes maior que sua nominal (MUÑOZ; LORENZO, 2003:6), razão pela qual adotou-se esta recomendação na especificação.

ICE-13. O inversor não deverá apresentar ruído ou interferências nos aparelhos de recepção ou emissão de sinais a mais de 3 metros.

Comentário:

Em geral os inversores produzem ruídos (CHENLO et al., 1991:1048), mas este deverá ser de tal magnitude que deixe de ser audível depois de uma certa distância, tal como a especificada de 3 m, valor adotado de Atmaram e Ronald (2001:46). De igual forma, esta especificação deverá valer no caso das interferências que possam acontecer nos aparelhos de recepção ou emissão de sinais.

#### **1.4.4. Funcionamento em condições extremas de operação**

IFCE-1. O inversor deverá suportar sobrecargas de 25% durante 1 minuto e de 50% durante dois segundos para as tensões superiores a 2,02 V/elemento.

Comentário:

Muitas cargas em corrente alternada requerem, ao serem conectadas, uma potência maior que sua nominal por um curto tempo, por esta razão o inversor deverá suportar sobrecargas

---

<sup>44</sup> Novo e que lhe corresponda em capacidade ao inversor.

temporalmente. As diferenças entre as sobrecargas e seus correspondentes tempos são similares entre os autores (ATMARAM; RONALD, 2001:44; CRUZ, 2000:21; MUÑOZ E LORENZO, 2003:15), neste caso adotou-se a recomendação de Atmaram e Ronald que propõe quesitos menos exigentes para a duração das sobrecargas.

#### **1.4.5. Proteções**

IP-1. Deverá estar protegido, em qualquer condição de tensão ou fator de carga, contra qualquer desligamento repentino na alimentação em continua.

IP-2. Deverá estar protegido contra inversão de polaridade à entrada do inversor.



## Capítulo II. Seleção da amostra

### 2.1. Introdução

Os programas de eletrificação fotovoltaica em diversos países vêm sendo desenvolvidos por distintas instituições, tais como ministérios, concessionárias, entidades não governamentais, etc. Cada uma delas aplicando procedimentos de compra que, como demonstram diversas experiências, nem sempre são os mais adequados. Na procura por contribuir na melhora destes procedimentos é que, neste capítulo, se dão algumas idéias para marcar um roteiro geral para os procedimentos de compra até chegar, finalmente, à seleção da amostra, que será o corpo fundamental deste capítulo.

Para dar início ao processo de compra será preciso determinar uma série de parâmetros que fazem parte do programa a desenvolver-se, tais como os relacionados com as condições climáticas (irradiância, temperatura, etc.), as condições sociais (hábitos, costumes, etc), as condições técnicas (consumos, horários, etc.), e as condições econômicas (custos de transporte, instalação, etc.), etc.

Uma vez definidos estes parâmetros, pode-se então, definir um primeiro esboço de dimensionamento do SFD, o qual está diretamente relacionado a um número aproximado de componentes e suas respectivas características. Com o qual elabora-se o edital que tipicamente inclui as especificações técnicas dos componentes do SFD, o preço base, os tempos esperados em que se desenvolva cada uma das etapas<sup>45</sup> e as regras que seguirá o processo de compra.

Seguidamente, as empresas concorrentes, depois de um tempo determinado, deverão apresentar suas propostas técnico-econômicas e de prazos, sendo cada uma avaliada segundo os critérios apresentados no edital. É importante destacar que, em muitos casos, estas avaliações se iniciam com a avaliação econômica seguida pela técnica, que comumente consiste na revisão da documentação apresentada pelo concorrente ganhador da avaliação econômica. Este fato evidentemente não favorece em nada a qualidade dos componentes e do SFD.

Frente a esta realidade e aos problemas técnicos que se apresentam na eletrificação fotovoltaica, propõe-se incorporar no processo de compra algumas etapas adicionais e mudar

---

<sup>45</sup> Etapas, que segundo o caso, podem cobrir uma ou mais das seguintes partes do programa: organização, compra dos componentes, instalação e a sustentabilidade.

a ordem das avaliações, privilegiando os aspectos técnicos aos econômicos. Portanto, o processo de compra deverá iniciar-se com a avaliação dos componentes e do SFD, para isto, a proposta técnica deverá, além de conter a informação técnica, também incluir uma quantidade mínima inicial de componentes do SFD à serem submetidos aos respectivos ensaios. Evidentemente, os concorrentes deverão comprometer-se que os componentes restantes também se encontrarão dentro das especificações técnicas indicadas. Somente depois de superada esta primeira avaliação dos componentes é que se deverá seguir com a avaliação tanto econômica como a dos prazos.

Uma vez declarado o concorrente ganhador, e este entregue o total de componentes, deve-se extrair uma amostra de cada uns dos componentes para serem avaliados da mesma forma como inicialmente. Uma vez concluída as avaliações, se a amostra apresentar uma qualidade aceitável<sup>46</sup>, o lote será aceito, caso contrário, deverá prever-se alguma medida, como algum tipo de penalidade, rejeição total ou parcial ou alguma outra clausula reparatória. Estas medidas deverão estar claramente descritas no edital.

A figura 2.1 resume as atividades genéricas que fazem parte do processo de compra, como foi descrito anteriormente, através do diagrama de blocos simplificado.

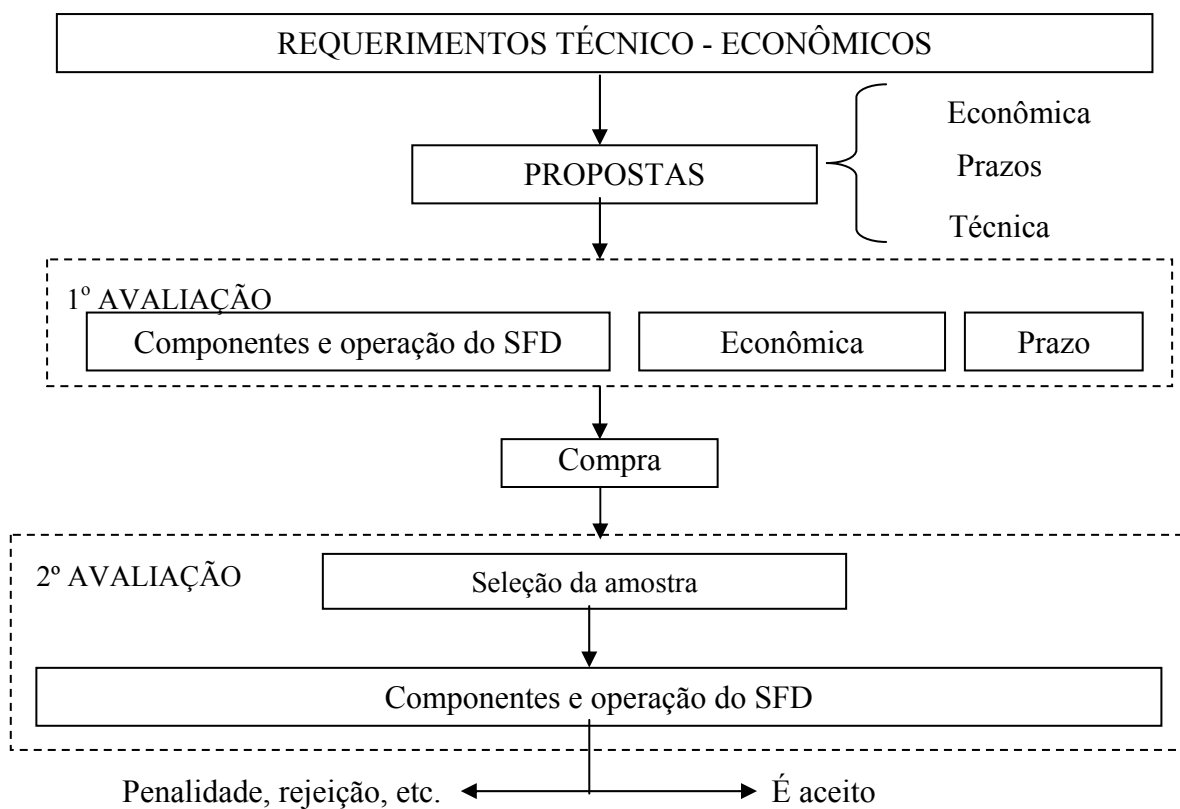


Figura 2.1. Diagrama de blocos do processo de compra.

<sup>46</sup> Termo que será explicado mais na frente que está relacionado com o número de unidades defeituosas que pode ter um lote.

Como é possível perceber, no processo existe um conjunto de detalhes técnicos, econômicos, legais, de gestão, etc. que deverão ser levados em conta desde o princípio, contudo, neste capítulo, é enfocada apenas a proposta para a seleção da amostra procurando levar em conta os parâmetros característicos de cada componente. Estes parâmetros referem-se ao custo do ensaio, do componente, da troca do componente, os tempos envolvidos nos ensaios, etc.

Na procura de estabelecer a proposta mencionada, serão abordados, em primeiro lugar, em forma resumida, os fatores que intervêm na decisão da amostra, assim como alguns conceitos e critérios que serão usados neste capítulo.

Em segundo lugar, será explicada a proposta de metodologia para a seleção da amostra de cada componente.

Em terceiro lugar, será apresentado um exemplo de cálculo seguindo a metodologia proposta para a seleção da amostra, sobre um universo de 1000 unidades de controladores.

E por último, será realizada uma discussão geral da proposta para a seleção da amostra, com a qual se procura dar uma idéia das limitações existentes por cada componente e ressaltar algumas das estratégias sugeridas para a seleção da amostra.

## **2.2. Proposta de metodologia para seleção da amostra**

A metodologia proposta está fundamentada em uma análise estatística e econômica para procurar determinar a melhor relação de compromisso entre a amostra, o tempo disponível, os custos envolvidos nos ensaios e as possibilidades de investimento para melhorar a qualidade da amostra.

Do ponto de vista estatístico, a metodologia proposta se apoia na norma internacional ISO 2859/2, a qual por sua vez esta relacionada ao plano de amostragem MIL-STD-105D do Ministério de Defesa dos Estados Unidos de América do Norte, plano amplamente consolidado e utilizado para aceitação de lotes (HANSEN; GHARE, 1990: 4, 235).

A qualidade de um produto, segundo Hansen e Ghare (1990:1), é alcançada quando o componente satisfaz as necessidades do consumidor, neste caso o usuário final do SFD. No caso da eletrificação fotovoltaica, estas necessidades englobam não somente o funcionamento do componente, senão, também outra série de quesitos, como por exemplo, que sejam compatíveis com o resto dos componentes, tenham longo tempo de vida, etc. Temas que estão por sua vez relacionados com a confiabilidade.

Frente à necessidade de garantir uma qualidade mínima do universo, através de avaliações que deverão ser realizadas no menor tempo e custo possível, surge a necessidade de definir, da forma mais apropriada, a amostra.

Para garantir a qualidade, com elevadíssimos índices de confiabilidade, existem duas possibilidades; a primeira seria elaborar especificações muito exigentes, por exemplo, em quanto à precisão, solidez, resistência a diversas condições climáticas e outros, uma segunda seria ensaiar a totalidade das unidades. Ambas, como se pode perceber, necessitariam de uma enorme quantidade de instrumentos de medição, procedimentos de ensaio complexos e numerosos, um número grande de pessoas qualificadas, o qual implicará, importantes investimentos econômicos e de tempo. Fatos que impossibilitam pôr em prática alguma destas possibilidades, porém, se procurará definir uma amostra que permita ter uma “imagem” do universo.

Para a determinação da amostra será preciso identificar, em termos gerais, os fatores técnicos, econômicos, logísticos e estatísticos que envolvem o processo de controle de qualidade nos programas de eletrificação rural, os quais são apresentados a seguir de forma sucinta.

### **2.2.1. Fatores técnicos**

#### **2.2.1.1. Tempo**

O tempo para a avaliação dos componentes é o fator mais crítico para determinar uma amostra. Tempo que está em função dos tempos disponíveis no processo de compra e para desenvolver os ensaios, assim como também, da logística e da infra-estrutura do laboratório.

Como se verá mais adiante, este aspecto torna-se crítico, especialmente em alguns componentes, porém, a idéia principal será otimizar o tempo com o fim de medir a maior quantidade de unidades.

#### **2.2.1.2. Infra-estrutura**

A infra-estrutura resulta também um aspecto importante para o desenvolvimento dos ensaios. As facilidades em espaço físico, móveis, instalações elétricas, etc. facilitarão, bastante, a implementação da bancada de ensaio (BE).

### **2.2.1.3. Pessoal**

O laboratório deverá contar com o número suficiente de pessoas qualificadas para as avaliações.

### **2.2.1.4. Bancada de ensaio**

Cada componente necessitará de um determinado número de instrumentos de medição e dispositivos diversos, cujo conjunto será denominado de bancada de ensaio.

## **2.2.2. Fatores estatísticos**

### **2.2.2.1. Universo ou lote**

O tamanho do universo, conjunto de unidades de cada componente, é um dos parâmetros importantes na definição da amostra.

### **2.2.2.2. A ferramenta estatística**

Na análise estatística para definir a amostra, existem diferentes planos de amostragem tais como: simples, dupla, múltipla, com ou sem retificação, etc.; das quais a primeira delas resulta, como seu próprio nome diz, a mais simples de se aplicar, enquanto os outros procedimentos podem ser também usados sempre que as especificações sejam mais restritivas ou se incorporem em algum tipo de penalidade adicional, dado que estes outros procedimentos envolvem um maior tempo para a sua avaliação.

O plano de amostragem simples se caracteriza principalmente por avaliar o número de unidades defeituosas de uma amostra, de tal forma que, se for obtido um número maior do que o esperado, o lote será rejeitado, caso contrário, este será aceito.

### **2.2.2.3. Qualidade esperada do lote e limite de qualidade**

Em um lote de qualquer produto é de se esperar que nem todas as unidades tenham as mesmas características, tal como acontece na fabricação de aparelhos de uso comum e em grande

escala que são os manufaturados de forma automática e em série. Entretanto, a tecnologia fotovoltaica se caracteriza por:

- Uma fabricação quase manual de vários de seus componentes;
- Por sua constante mudança tecnológica e vendas que muitas vezes não acompanham estas mudanças. Neste caso, pode-se encontrar no mercado um mesmo componente da mesma marca e modelo com diferentes características.

Frente a esta realidade, e desde que em um processo de controle não sejam avaliadas todas as unidades que fazem parte de um lote, estar-se-á aceitando a possível existência de uma percentagem de unidades defeituosas, ou seja, que suas características de funcionamento sejam diferentes das características especificadas. Daí surge um primeiro conceito chamado de limite de qualidade, termo que expressa, em percentagem, a quantidade de unidades defeituosas admissíveis em um lote. Percentagem que, de alguma maneira, também será refletida igualmente no momento da avaliação da amostra. Porém, a qualidade do lote será em função da amostra e o número de elementos defeituosos encontrados na avaliação da amostra. Portanto, o plano de amostragem será definido pelo tamanho do universo, a amostra e o limite de qualidade, que o consumidor considera aceitável para determinado grupo de especificações ou uma especificação em concreto.

Em relação às especificações, segundo o componente sob análise, pode-se agrupar algumas delas como: importantes, muito importantes, críticas ou qualquer outra classificação que se deseje, tal como no plano de amostragem MIL-STD-105D, que proporciona sete níveis de inspeção, denominados, níveis de inspeção geral I, II e III e especiais S-1, S-2, S-3 e S-4. Para a maioria dos produtos são utilizados os níveis de inspeção geral, enquanto os especiais estão destinados para aqueles parâmetros que são muito caros de se avaliar ou são de caráter destrutivo.

A quantidade relativa de inspeção, o número de amostras, aumenta nesta ordem, S1, S-2, S-3, S-4; S-1 proporciona a inspeção mínima relativa, logo, os níveis de inspeção geral ocorrem nessa ordem , I, II e III, o nível de inspeção geral III proporciona o máximo de inspeção relativa.

Dentro dos níveis gerais de inspeção o nível II é considerado como padrão ou recomendável para iniciar o controle de qualidade senão houver um histórico anterior, como é o caso da eletrificação fotovoltaica. Na tabela 2.1 mostra-se a exigência na seleção da amostra segundo o nível geral.

Tabela 2.1 - Comparação dos níveis de inspeção.

Nível de inspeção geral	Quantidade relativa de inspeção
I	A metade da amostra
II	Amostra
III	O dobro da amostra

Os valores das amostras para diferentes limites de qualidade e para diversos tamanhos de universo são mostrados na tabela<sup>47</sup> 2.3. Estes valores são calculados mediante relações hipergonométricas. A modo de facilitar os cálculos, pode-se extrapolar as quantidades para limites de qualidade intermediários.

Vale a pena mencionar também que, mesmo com o estabelecimento das especificações, os procedimentos de medida, o controle de qualidade, etc. os resultados finais podem ser considerados confiáveis, mas não perfeitos. Esta imperfeição está vinculada a uma série de incertezas envolvidas em cada uma das etapas do processo de compra.

Também é importante salientar que uma vez concluído o processo de controle de qualidade e que sejam instalados os SFD's, estes sejam avaliados periodicamente, para rever a necessidade de flexibilizar ou endurecer alguns quesitos. Por exemplo, o limite de qualidade ou a mudança de alguma especificação de crítica para importante ou vice-versa, para que, desta forma, possa-se ajustar a amostra a ser avaliada em uma próxima oportunidade.

### **2.2.3. Fatores econômicos**

Como as realidades de cada processo de compra, de cada laboratório, etc. são muito diferentes, neste trabalho, não se tratará em profundidade a parte econômica senão genericamente. Desta forma permite-se, segundo seja o caso, aumentar, extrair ou modificar alguns dos critérios seguidos.

#### **2.2.3.1. Custo do serviço**

Este custo refere-se aos custos vinculados diretamente à avaliação da amostra, os quais envolvem os custos de calibração, manutenção, depreciação, etc.

---

<sup>47</sup> Extraída da norma ISO 2859/2

### **2.2.3.2. Custos gerais e outros**

Nestes custos incorporam-se todos os custos que estão relacionados com o funcionamento do laboratório, os lucros, o pagamento de impostos, etc.

### **2.2.3.3. Custo de troca**

Compreenderá os custos relacionados com a troca das unidades defeituosas e das unidades que poderão ser prejudicadas (produto dos defeitos apresentados).

### **2.2.3.4. Investimento**

Dependendo do caso, deverá ser avaliada a possibilidade de realizar algum tipo de investimento adicional, para re-potenciar as bancadas de ensaio, ou compra de novos dispositivos, etc., para incrementar a amostra, e desta forma avaliar com o menor limite de qualidade possível.

## **2.3. Metodologia**

A metodologia que será apresentada a seguir procura fornecer um roteiro de análise na determinação da amostra. Sobre um ponto de vista prático, esta metodologia deverá ser complementada com uma série de decisões adicionais tomando como base critérios, os quais deverão levar em conta as características próprias de cada programa e a realidade onde serão avaliados os componentes.

Em primeiro lugar, será preciso definir as seguintes variáveis:

- O componente a ser avaliado
- Parâmetro do componente a ser avaliado,  $P_1, P_2, \dots, P_N$ .
- Número de componentes que podem ser ensaiados por dia,  $t$
- Dias disponíveis para realizar os ensaios,  $T$
- Universo,  $U$
- Máximo limite de qualidade,  $LQ_{\max}$
- Mínimo limite de qualidade,  $LQ_{\min}$
- Custo do serviço,  $C_s$



- Custos gerais e outros,  $C_G$
- Custo do uso dos instrumentos A, B, C, D, ... Z,  $C_A, C_B, \dots, C_Z$
- Custo de compra parcial ou completamente nova bancada de ensaio,  $C_{BE}$
- Custo de troca de todas as unidades defeituosas,  $C_{troc}$

Em segundo lugar, para dar início ao cálculo da amostra se deverá:

- Definir o número de bancadas de ensaio disponíveis segundo o componente, os parâmetros a serem medidos e os instrumentos que dispõe o laboratório, tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Instrumentos requeridos para ensaiar os parâmetros de um determinado componente.

Componente: .....	Instrumento						Número de bancadas de ensaio ( $\alpha$ )
Parâmetro	A	B	C	D	...	Z	
P1							
P2							
...							
PN							

- Multiplicar o número de componentes que podem ser ensaiados por dia, componentes/dia, (t) pelo número de dias disponíveis para fazer os ensaios (T) e pelo número de bancadas de ensaio que dispõe o laboratório ( $\alpha$ ), o valor resultante será a primeira amostra (n) a analisar, ou seja:

$$n = t \cdot T \cdot \alpha$$

- Com esta primeira amostra, a partir da tabela 2.3 registra-se o limite de qualidade (LQ) e calcula-se o número de unidades defeituosas totais no lote (c) que podem existir no lote multiplicando o limite de qualidade pelo número de unidades que formam o lote.
- Calcular o custo total ( $C_T$ ) somando os custos de serviço ( $C_s$ ) e de troca ( $C_{troca}$ ).

A partir deste ponto, existem duas possibilidades de análise. A primeira é ver o que acontece aumentando ainda mais o limite de qualidade. A segunda, aumentar o número de bancadas de ensaio.

Tabela 2.3 - Plano de amostragem simples.

Tamanho do lote	Limite de qualidade (%)																			
	0,5		0,8		1,25		2		3,15		5		8		12,5		20		32	
	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d
16 a 25												Todas	17	0	13	0	9	0	6	0
26 a 50							Todas		Todas	28	0	22	0	15	0	10	0	6	0	
51 a 90					Todas	50	0	44	0	34	0	24	0	16	0	10	0	8	0	
91 a 150			Todas	90	0	80	0	55	0	38	0	26	0	18	0	13	0	13	1	
151 a 280	Todas		170	0	130	0	95	0	65	0	42	0	28	0	20	0	20	1	13	1
281 a 500	280	0	220	0	155	0	105	0	80	0	50	0	32	0	32	1	20	1	20	3
501 a 1.200	380	0	255	0	170	0	125	0	125	1	80	1	50	1	32	1	32	3	32	5
1.201 a 3.200	430	0	280	0	200	0	200	1	125	1	126	3	80	3	50	3	50	5	50	10
3.201 a 10.000	450	0	315	0	315	1	200	1	200	3	200	5	125	5	80	5	80	10	80	18
10.001 a 35.000	500	0	500	1	315	1	315	3	315	5	315	10	200	10	125	10	125	18	80	18
35.001 a 150.000	800	1	500	1	500	3	500	5	500	10	500	18	315	18	200	18	125	18	80	18
150.001 a 500.000	800	1	800	3	800	5	800	10	800	18	500	18	315	18	200	18	125	18	80	18
mais de 500.000	1.250	3	1.250	5	1.250	10	1.250	18	800	18	500	18	315	18	200	18	125	18	80	18

Nota:

d: número máximo de componentes defeituosos que podem ser encontrados na amostra ao ser avaliada.

Todas: Deverão ser ensaiadas todas as unidades que fazem parte do lote.

Para a primeira possibilidade, dever-se-á:

- Registrar as amostras e os números das unidades defeituosas correspondentes aos limites inferiores de qualidade, até que o limite máximo seja alcançado;
- Calcular o custo total para cada valor do limite de qualidade.

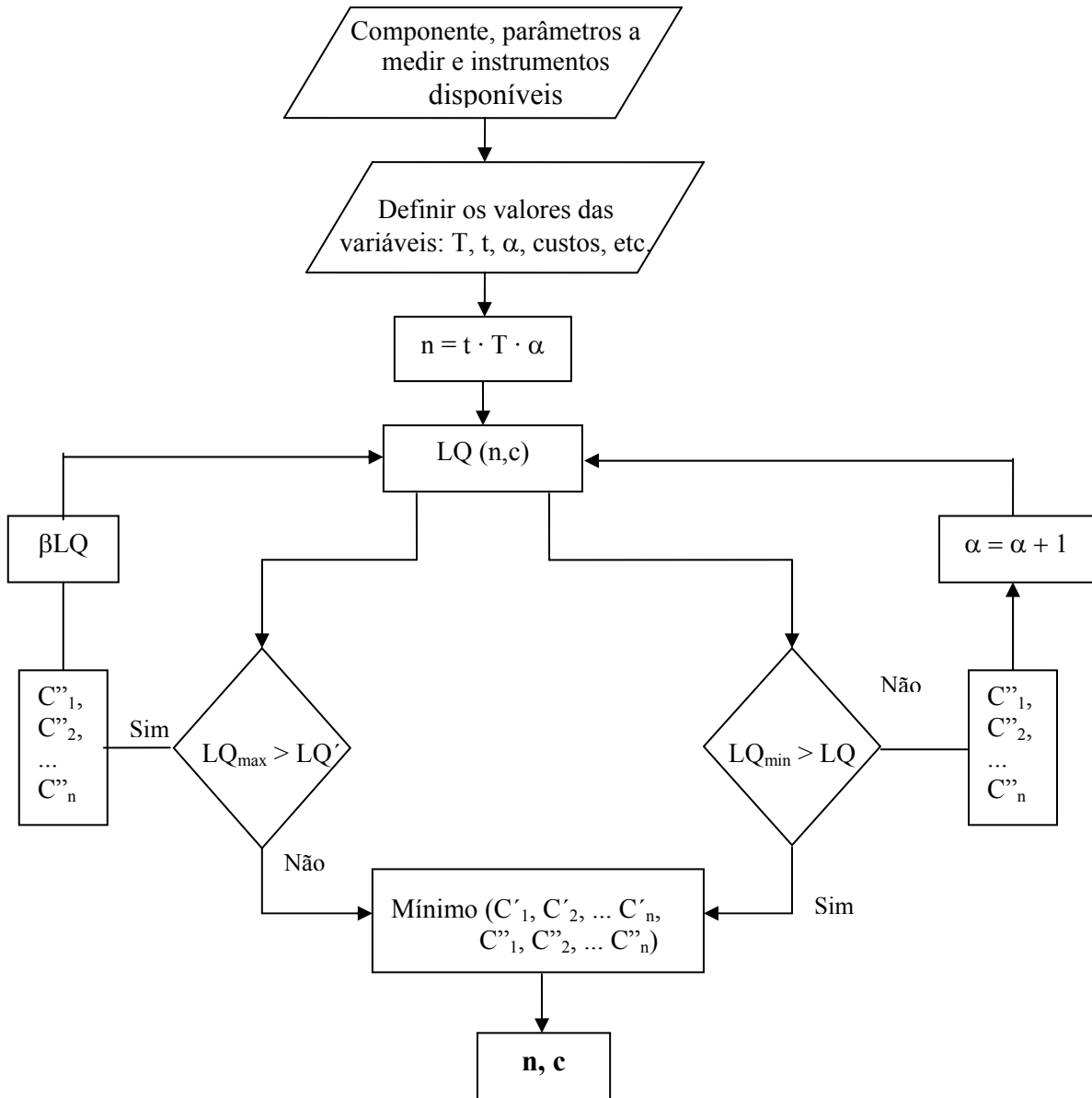
Para a segunda possibilidade, dever-se-á:

- Registrar as amostras e os números das unidades defeituosas que correspondem a uma ou mais bancadas de ensaio, até que o limite inferior de qualidade seja alcançado.
- Calcular o custo total para cada um destes casos.

Comparar os custos totais encontrados em ambas alternativas, a amostra se selecionará em base ao menor custo<sup>48</sup>.

<sup>48</sup> De ser o caso também pode usar-se algum outro critério.

No fluxograma da figura 2.2 se apresenta em forma resumida a metodologia proposta.



Onde:

n: Amostra

t: Número de componentes a ensaiar por dia

T; Número de dias disponíveis para ensaio

c: Número de unidades defeituosas totais

β: fator

α: número de bancadas de ensaio

C''<sub>n</sub>: Custos

LQ: Limite de qualidade

Figura 2.2. Fluxograma da metodologia proposta na determinação da amostra.

## 2.4. Aplicação da metodologia proposta

A seguir, será apresentando um exercício prático da metodologia aplicada a um caso hipotético. Este exercício tem como objetivo ser um guia informativo geral da metodologia.

Como exemplo, tem-se a otimização do uso dos recursos e instrumentos de medida, tal como poderia ser o aproveitamento de uma fonte, que temporariamente, estaria sem uso em um outro ensaio.

Como a metodologia proposta consiste na comparação dos custos de duas alternativas, estas serão chamadas de “Alternativa A” e “Alternativa B”, as quais representam o ramal esquerdo e direito, respectivamente, no diagrama de blocos da figura 2.2.

Para uma melhor compreensão e simplificação do exercício, foi considerado o cálculo da amostra, apenas para a determinação das características elétricas e proteções do controlador.

#### **2.4.1. Critérios**

Os critérios seguintes mostram-se fundamentados nas especificações e procedimentos apresentados nos capítulos II e III da presente dissertação.

- a. O universo será composto por 1000 unidades de controladores;
- b. O tempo máximo disponível para realizar as avaliações será de 60 dias;
- c. O laboratório terá as seguintes quantidades de aparelhos e instrumentos de medição disponíveis para o ensaio do controlador: uma fonte regulada com uma capacidade superior a 150 W, 3 amperímetros e 3 voltímetros, instrumentação que permite compor ao menos uma bancada de ensaio. Não foi considerado nenhum sistema de aquisição de dados, sendo que cada ensaio estará sob a responsabilidade de uma pessoa qualificada para este fim;
- d. No caso da aplicação da “Alternativa B”, com o fim de medir uma maior quantidade de unidades, se considerou aproveitar a máxima capacidade de cada uma das bancadas de ensaio;
- e. O expediente para o pessoal de laboratório deverá ser de 10 horas diárias, durante os 60 dias;
- f. O tempo de duração de cada experiência dependerá das características do componente, da habilidade dos técnicos e da capacidade<sup>49</sup> de cada laboratório. Contudo, para o ensaio das características elétricas e de proteções, a referência de tempo utilizada será de uma unidade por dia;
- g. Para a aprovação da amostra, será aplicada a avaliação simples;
- h. O limite máximo de qualidade será de 12,5%;

---

<sup>49</sup> Número de instrumentos, aparelhos, ambiente, etc.

- i. Os custos são agrupados da seguinte forma:
- Custo de troca: Custo que inclui o custo das unidades defeituosas<sup>50</sup>, mais os custos de transporte, serviços, diárias, etc.;
  - Custo de nova bancada de ensaio: Este custo inclui todos os instrumentos e dispositivos adicionais que são utilizados para o ensaio dos componentes;
  - Custo de serviço: Neste custo são incorporados os custos de depreciação e calibração dos instrumentos de medida, os impostos, as taxas e outros custos, como lucro, etc.
- j. Neste exercício, não foi considerada a diferença no preço dos instrumentos de medição e das unidades defeituosas por volume de compra, ou seja, não se fez a diferença entre o preço de compra de uma ou 100 unidades, nem foram considerados outros custos, como de oportunidade, satisfação do usuário, recuperação de capital, etc.;
- k. Todos os parâmetros (tempo, custos, etc.) devem ser considerados referenciais.

## 2.4.2. Exercício

### 2.4.2.1. Dados de entrada

Custo de troca (R\$/unidade): 300,00

Custo da nova bancada de ensaio (R\$): 8.888,00

Custo de serviço (R\$/unidade): 98,00

Limite de qualidade máximo: 12,5%

Limite de qualidade mínimo: 0,5%

Tempo disponível para a realização dos ensaios (dias): 60

Duração do ensaio por controlador de carga por dia (unidade/dia): 1

Número de bancadas de ensaio disponíveis: 1

### 2.4.2.2. Cálculos e resultados

#### Alternativa A

O número de controladores que poderão ser medidos em 60 dias serão iguais a 60 unidades com a utilização de uma bancada de ensaio. Para esta amostra, na tabela 2.4, o limite de qualidade é de 7%.

---

<sup>50</sup> As quais estão compostas pelas unidades defeituosas sob análise e por outras unidades que poderão ficar danificadas pelo mau funcionamento das primeiras.

Tabela 2.4 - Plano de aceitação simples para um universo de 1000 unidades de controladores.

	Limite de qualidade (%)													
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	2	3,2	3,4	5	7	8	12,5
c	5	5	7	8	9	12	13	20	32	34	50	70	80	125
n	380	360	300	255	240	180	170	125	125	120	80	60	50	32

Para a utilização de uma bancada de ensaio e um limite de qualidade de 7%, tem-se um custo total de R\$ 26.900,00. Calculando novamente o custo para um limite de qualidade superior, tal como 8%, obtém-se um resultado de R\$ 28.917,00.

Por outro lado, se fosse considerado, além da quantidade de controladores defeituosos, uma quantidade similar ou igual de acumuladores danificados, devido ao mau funcionamento dos controladores, os custos seriam modificados, para os limites de qualidade respectivos de 7 e 8%, em R\$ 51.400,00 e R\$ 56.917,00.

#### Alternativa B

Analisando a possibilidade de compra de uma bancada de ensaio, teria-se a possibilidade de ensaiar até 120 unidades com um limite de qualidade equivalente a 3,4% e um custo total de R\$ 30.888,00. Se forem considerados os acumuladores danificados, o custo total se eleva para R\$ 42.788,00.

Para o caso da compra de duas bancadas de ensaio, a amostra será de 180 unidades com um limite de qualidade de 1,2% e um custo total de R\$ 45.676,00. Se forem considerados os acumuladores danificados o custo sobe para R\$ 49.876,00.

#### **2.4.2.3. Comentários**

Analisando, somente a troca dos controladores, o resultado mais econômico seria o uso de uma bancada de ensaio com um limite de qualidade de 7%. Por outro lado, se for observado, além da troca dos controladores, a dos acumuladores, então a alternativa mais econômica seria a compra de duas bancadas de ensaio a mais com uma amostra de 180 unidades com um limite de qualidade de 1,2%.

Na figura 2.3 são apresentados alguns cálculos adicionais e os efetuados anteriormente na forma de curvas, cada uma das quais foram feitas considerando:

- Curva vermelha: que o laboratório possui as bancadas de ensaio necessárias e o custo de troca dos controladores danificados;

- Curva laranja, que o laboratório possui uma bancada de ensaio, a compra de uma bancada de ensaio e o custo de troca dos controladores danificados;
- Curva azul: que o laboratório possui uma bancada de ensaio e o custo da troca de controladores e acumuladores danificados;
- Curva verde, que o laboratório possui uma bancada de ensaio, a compra de uma bancada de ensaio e o custo de troca dos controladores e acumuladores danificados;
- Curva cinza: que o laboratório possui as bancadas de ensaio necessárias e o custo de troca dos controladores e acumuladores danificados;
- Curva preta: que o laboratório possui uma bancada de ensaio, a compra de duas bancadas de ensaio e o custo de troca dos controladores danificados;
- Curva marrom: que o laboratório possui uma bancada de ensaio, a compra de duas bancadas de ensaio e o custo de troca de controladores e acumuladores danificados;
- Curva lilás: O número de bancadas de ensaio necessárias para cada limite de qualidade.

Na figura 2.3, nota-se que, para atingir o menor limite de qualidade de 0,5% (reta A), é necessário que o laboratório possua 7 bancadas de ensaio. Enquanto que, para atingir o menor custo possível (reta B) o laboratório deveria ter 3 bancadas de ensaio.

Da mesma forma, a reta C mostra a comparação entre os custos que foram expostos nos cálculos efetuados.

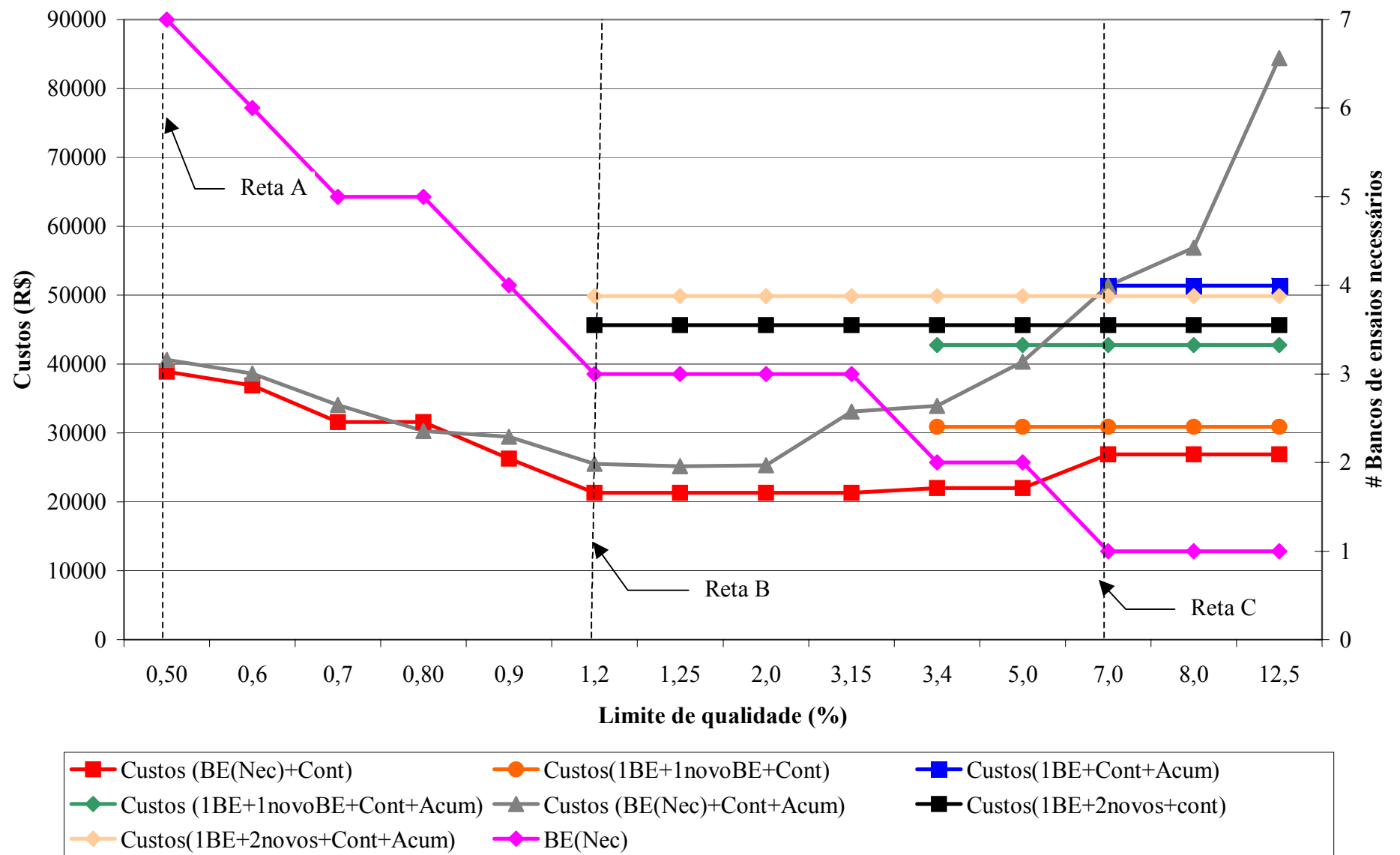


Figura 2.3. Análise econômica para a determinação da amostra dos controladores.



Usando critérios similares aos apresentados neste exercício, determinaram-se as amostras para o acumulador, luminárias e inversor. Os resultados são apresentados na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Resumo da seleção das amostras para um universo de 1000 unidades, considerando uma bancada de ensaio e a avaliação de um parâmetro por componente.

Componente	Parâmetro	n	LQ	Critério
Acumulador	Capacidade	54	7,6%	Compra de duas BE's adicionais
Controlador	Características elétricas	180	1,2%	Compra de duas BE's adicionais e troca de controladores e acumuladores.
Luminária	Ciclagem	50	8%	Usando a bancada de ensaio que se possui
Inversor	Características elétricas	170	1,25%	Usando a bancada de ensaio que se possui

#### 2.4.2.4. Discussão dos resultados

A intenção de se fazer o exercício, considerando um universo de 1000 unidades, número bastante pequeno quando se pensa em um programa de eletrificação rural, foi de apresentar alguns critérios que podem ser empregados na seleção da amostra, bem como, mostrar a provável qualidade do lote, levando-se em conta as limitações existentes como: tempo, disponibilidade da instrumentação, etc.

Embora o tempo de 60 dias como prazo máximo para a realização dos ensaios possa parecer excessivo, isto não ocorre desta maneira, na maioria dos componentes, tal como se observa na tabela 2.5. Enquanto que para alguns componentes, o tempo poderia ser considerado como insuficiente, como no caso dos acumuladores e das luminárias, para outros, o tempo poderia ser considerado como o suficiente, como no caso dos inversores e dos controladores.

Dos componentes que fazem parte do SFD, o componente mais crítico para se determinar a amostra foi o acumulador, sendo que a amostra envolvida em sua avaliação foi significativamente menor do que a amostra que seria necessária para garantir um mínimo de qualidade nos prazos usualmente utilizados nos processos de compra. Uma forma para suprir esta deficiência seria comprar um maior número de bancadas de ensaio, contudo pode-se ter um lote com uma baixa qualidade, tal como pode ser observado na tabela 2.5.

Como pode se imaginar, esta situação pode se tornar ainda mais crítica caso forem considerados todos os parâmetros à serem medidos e o programa de eletrificação possua uma maior quantidade de SFD's.

Por outro lado, deve-se destacar a importância de se considerar uma série de critérios adicionais, tais como:

- A avaliação dos custos para diferentes limites de qualidade;
- A possibilidade de compra de um ou mais bancadas de ensaio;
- A possibilidade de um ou mais componentes ter seu funcionamento prejudicado, devido ao mal funcionamento de um componente;
- A importância de se considerar outros custos, como por exemplo, de oportunidade de se adquirir uma ou mais bancadas de ensaio acima dos valores obtidos em uma análise econômica.

### **Capítulo III. Procedimentos de Verificação**

Este capítulo detalha os procedimentos de verificação das especificações técnicas apresentadas no capítulo I, as quais se caracterizam, em geral, por sua simplicidade, uso de aparelhos de medição e dispositivos auxiliares de uso comum nos laboratórios e por ensaiar os equipamentos “tal como funcionam”. Assim, busca-se adotar procedimentos que reproduzam, na medida do possível, o funcionamento real do equipamento no campo e sua interação com os outros componentes.

Tendo em vista que na literatura relata-se, em varias ocasiões, que a temperatura é um dos fatores importantes no desempenho de alguns parâmetros elétricos dos componentes, incorporou-se onde foi possível, a necessidade de medir tais parâmetros na condição de temperatura máxima ou mínima da região onde será instalado o SFD. Nas situações em que o laboratório de ensaio tenha uma temperatura maior ou menor que 15 °C em relação a estas temperaturas será necessário acondicionar o componente ou o ambiente laboratorial de ensaios.

Em relação aos aparelhos de medição indicados para cada ensaio, salienta-se que também será possível o uso de aparelhos de medição equivalentes. Por exemplo, onde se indica o uso de um amperímetro, pode-se usar instrumentos tais como multímetros, resistências “shunt” de precisão ou instrumentos similares. Sempre que se cumpra com os requisitos indicados nos procedimentos de capacidade e de precisão.

Para o desenvolvimento dos procedimentos propostos neste capítulo, a fonte em corrente continua foi identificada como sendo um aparelho crítico, dado que nem sempre se pode contar com sua presença nas capacidades e prestações requeridas. Por esta razão, propõe-se o uso de aparelhos alternativos, tais como, o carregador de baterias ou sistemas fotovoltaicos para os ensaios onde as restrições não precisam ser totalmente controladas, como nos casos dos ensaios de ciclo de vida e funcionamento contínuo de luminárias e na obtenção das características elétricas do inversor. Desta forma pode-se reduzir o número de fontes substancialmente.

### 3.1. Acumulador de carga

O funcionamento do acumulador é muito complexo (HUACUZ; FLORES; AGREDANO, 1995:291), especialmente nas instalações fotovoltaicas onde as condições mudam muito de instalação para instalação e, inclusive, durante um mesmo dia. Portanto, realizar ensaios que reproduzam de uma forma simples o funcionamento real do acumulador acoplado a um SFD torna-se praticamente impossível, com isto, nos procedimentos propostos neste capítulo procura-se obter, como mínimo, as seguintes informações: a capacidade nominal do acumulador, a capacidade inicial e a autodescarga.

Os fatores que determinam o tempo de vida de um acumulador de chumbo-ácido em um sistema fotovoltaico são: a taxa de descarga, a temperatura de operação, a estratificação do eletrólito e as perdas de capacidade por sulfatação, etc.

Idealmente o acumulador deveria ser medido em condições estáveis de temperatura, razão pela qual em alguns laboratórios faz-se uso de piscinas para manter a temperatura do acumulador em condições estáveis durante os ensaios, o qual incrementa a complexidade do ensaio. Para contornar este fator se recorreu a expressões empíricas de correção da capacidade e aceitação de diferenças na capacidade do acumulador.

Para os ensaios são necessários pelo menos 4 acumuladores por fornecedor. O primeiro deles para medir a capacidade do acumulador, o segundo para medir a autodescarga, o terceiro para medir a capacidade inicial e o quarto de reserva no caso que se apresente algum inconveniente ao longo dos processos de ensaio.

#### 3.1.1. Avaliação geral

- Verificar a existência da etiqueta do acumulador, conferir se todas as informações solicitadas encontram-se na etiqueta. Comprovação da **especificação ACG-1**.
- Verificar se o acumulador está acompanhado de toda a documentação solicitada na **especificação ACG-2**.

### 3.1.2. Avaliação física

- Experimentar as facilidades do acumulador para transporte. Levantar o acumulador através das facilidades incorporadas e deslocá-lo 2 m. Comprovação da **especificação ACF-1**.
- Identificar visualmente a polaridade do acumulador de carga segundo a simbologia impressa em baixo ou alto relevo sobre a caixa do acumulador, verificar com um multímetro a polaridade. Comprovação da **especificação ACF-2**.
- Verificar se o acumulador vem acompanhado dos parafusos, arruelas e porcas apropriadas para o diâmetro dos terminais. Unir um fio de 6 mm<sup>2</sup> ao terminal, conectar o terminal no acumulador e fixar o parafuso com uma arruela e a porca. A união fio-parafuso-terminal deverá ficar firmemente unida. Comprovação da **especificação ACF-3**.
- Retirar as tampas manualmente, sem necessidade de nenhuma ferramenta, colocar novamente as tampas manualmente. Comprovação da **especificação ACF-4**.

### 3.1.3. Avaliação elétrica

Todas as medidas de tensão deverão ser feitas nos terminais do acumulador.

#### 3.1.3.1. Bancada de ensaio

##### a. Instrumentos de medição

Item	Descrição	Qtd.	Capacidade mínima	Precisão	Resolução
1	Densímetro	1	30 g/cm <sup>3</sup>	± 0,01 g/cc	Uma casa decimal
2	Voltímetro	1	1,5*V <sub>ensaio</sub>	± 0,5%	
3	Amperímetro <sup>51</sup>	1	1,5*I <sub>ensaio</sub>	± 1%	
4	Termômetro	1	100 °C	± 1°C	

Nota: A capacidade mínima do voltímetro e do amperímetro deve ser igual ou maior a 1,5 vezes a tensão e a corrente máxima necessária para o ensaio do componente.

<sup>51</sup> Pode ser também uma resistência de precisão ou shunt.

**b. Aparelhos e componentes**

Item	Descrição	Qtd.	Observações
1	Acumulador de carga	1	A ser ensaiado
2	Cargas		Um ou mais aparelhos, com um consumo equivalente ao regime de descarga especificado
3	Fonte	1	Da capacidade em corrente e tensão adequada

**c. Configuração**

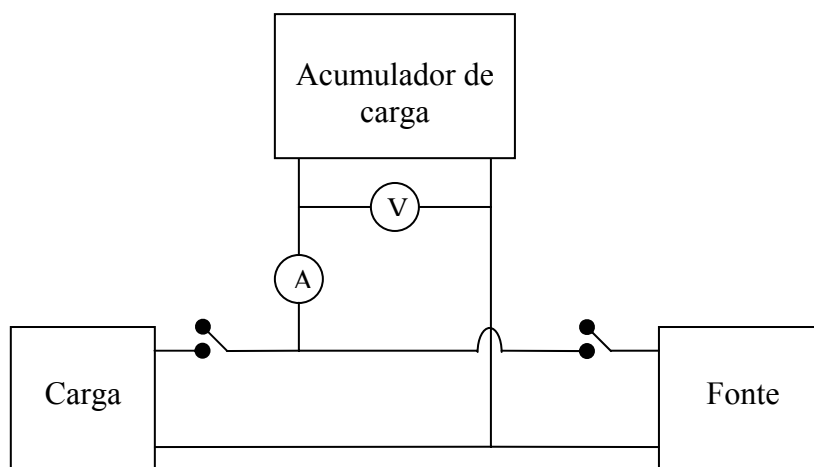


Figura 3.1. Configuração dos aparelhos e instrumentação para o ensaio de acumuladores.

**3.1.3.2. Capacidade e densidade do eletrólito**

Para determinar a capacidade do acumulador se submeterá, previamente, o acumulador a dois ou três processos de carga e descarga para permitir a formação das placas, a qual está fundamentalmente influenciada pelos processos de carga.

Na bibliografia recomenda-se fazer ciclos de carga e descarga, os quais, em geral, deverão consistir em processos carga que exigem, em certos momentos, corrente constante e em outros tensão constante, processos de descarga a corrente constante e entre cada processo etapas de repouso. O repouso dá-se para estabilizar as características físicas e químicas do acumulador. No entanto, na bibliografia encontra-se diferenças nos tempos e nas tensões envolvidos em cada processo.

Assim, por exemplo, em relação ao processo de carga a tensão constante, enquanto Atmaram e Roland (2001:34) recomendam fazer o processo durante 12 horas a 2,4 V/elemento, outros recomendam que seja de 24 horas a uma tensão de 2,45 V/elemento (BOPP et al., 1998:279) ou a 2,4 V/elemento (IES, 2001:18), da mesma forma no processo de descarga enquanto uns

recomendam que se faça até atingir uma tensão tal como 1,75 V/elemento (ATMARAM e ROLAND., 2001:34; VINAL, 1966:339), outros 1,85 V/elemento (LORENZO et al., 1994:129) ou 1,8 V/elemento (LASNIER; ANG., 1990:117, FAHLENBOCK; HAUPT, 1998:31, DÍAZ; MUÑOZ, 2001a:620) e no caso dos tempos de repouso enquanto Chenlo et al. (1991:1047) e Armaram e Roland (2001:34) recomendam 4 horas, Díaz e Muñoz (2001a:620) 2 horas e Sauer e Garche (2001:133) 6 horas. Estas últimas duas recomendações foram feitas para processos de carga e descarga não uniformes, ou seja, em cada processo usaram-se diferentes taxas de corrente.

Ante a necessidade de aprimorar os ensaios se propõe realizar estes processos de carga e descarga iniciais, a profundidades de descarga próximas a 50%, portanto, as tensões máximas e mínimas em que se desenvolverão estes processos serão de 2,4 V/elemento e 2,05 V/elemento, com períodos de repouso de 2 horas.

Logo depois destes primeiros ciclos deverá carregar-se o acumulador a uma tensão constante durante 24 horas, com 2 horas de repouso antes de iniciar a descarga do acumulador a uma corrente equivalente ao regime de descarga especificado.

#### **a. Formação das placas e densidade do eletrólito**

- Conectar os dispositivos conforme ilustrado na figura 3.1.
- Ligar as cargas até que a tensão no acumulador atinja 2,05 V/elemento, desligar as cargas.
- Configurar a fonte como fonte de corrente equivalente ao regime de carga especificado até que a tensão no acumulador atinja uma tensão de 2,4 V/elemento, desligar a fonte.
- Repetir o processo mais duas vezes.
- Carregar o acumulador de carga a 2,35 V/elemento durante 24 horas e deixar em repouso o acumulador de carga durante 2 horas.
- Ao final, medir a densidade de cada elemento do acumulador de carga. O valor medido deverá corresponder ao valor que aparece na **Especificação ACF-5**, de acordo com a temperatura.

#### **b. Capacidade ( $C_A$ )**

- Ligar as cargas, medir a tensão do acumulador, a corrente de consumo ( $I_D$ ) e a temperatura onde fica o acumulador mediante um sistema de aquisição de dados ou manualmente. No

caso de fazer as medições manualmente sugere-se medir em intervalos<sup>52</sup> de  $C_A/10I_D$  horas nas primeiras  $4C_A/5I_D$  horas e logo medir a cada  $C_A/50I_D$  horas até que a tensão atinja um valor de 1,8 V/elemento. Registrar os valores na tabela 3.1.

Tabela 3.1- Registro das medições dos valores de descarga do acumulador de carga.

Tempo (horas)	Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura (°C)

A capacidade em Ah calcula-se mediante a multiplicação do tempo de descarga pela corrente extraída durante o período de ensaio, deve-se atentar para a correção da capacidade devido ao efeito da temperatura<sup>53</sup>. Esta capacidade não deverá ser menor que 5% da capacidade indicada pelo fabricante. Comprovação da **especificação ACE-1**.

### 3.1.3.3. Autodescarga

- Conectar os dispositivos conforme ilustrado na figura 3.1.
- Configurar a fonte como fonte de tensão a uma tensão constante de 2,35 V/elemento, ligar a fonte, deixar carregando o acumulador durante 24 horas, desligar a fonte e deixar em repouso o acumulador durante 2 horas.
- Ligar as cargas até que o acumulador atinja uma tensão de 1,8 V/elemento. Medir e registrar as medidas na tabela 3.1.
- Configurar a fonte como fonte de corrente, selecionar uma corrente equivalente ao regime de carga especificado, carregar o acumulador até atingir a tensão de 2,35 V/elemento, mudar a configuração da fonte como fonte de tensão a 2,35 V/elemento, carregar o acumulador durante 24 horas.

<sup>52</sup> Intervalos resultantes de simulações de medidas manuais sobre dados coletados com um sistema de aquisição automatizado de 3 acumuladores distintos.

<sup>53</sup> A temperatura pode-se medir indiferentemente sobre a superfície da caixa do acumulador ou a temperatura ambiente (LORENZO et al., 1994:138-139).



- Desconectar todos os dispositivos conectados ao acumulador, colocar o acumulador em um lugar protegido do meio ambiente e sobre madeiras (ou algum outro material isolante) durante um mês.
- Depois de um mês conectar os componentes e aparelhos de medição tal como ilustrado na figura 3.1, conectar as cargas até atingir uma tensão de 1,8 V/elemento. Medir e registrar as medidas de tempo e corrente na tabela 3.1.

O acumulador cumpre a **especificação ACE-2**, se a perda de capacidade do acumulador estiver dentro da faixa especificada.

#### **3.1.3.4. Capacidade inicial**

- Configurar os instrumentos e aparelhos tal como aparece na figura 3.1.
- Ligar as cargas até que o acumulador de carga atinja uma tensão de 1,8 V/elemento. Medir e registrar as medidas conforme indicado na tabela 3.1.

O acumulador cumpre a **especificação ACE-3**, se a capacidade inicial do acumulador for igual ou maior que 80% da capacidade nominal do acumulador.

#### **3.1.3.5. Ensaio de durabilidade**

Este ensaio requer muito tempo<sup>54</sup> e de uma infraestrutura complexa<sup>55</sup> para sua realização, contudo no apêndice 1 apresenta-se um procedimento rápido para qualificação, **especificação ACE-4**, de acumuladores quanto a sua durabilidade.

---

<sup>54</sup> Aproximadamente 40 dias.

<sup>55</sup> Necessidade de climatizar o acumulador.

## 3.2. Controlador de carga

Idealmente para assegurar uma melhor compatibilidade entre o controlador e o acumulador, recomenda-se (BOPP et al., 1998:286) fazer o ensaio do controlador junto com o acumulador que será instalado. Por esta razão recomenda-se fazer estes ensaios logo depois de concluídos os ensaios dos acumuladores.

Para os ensaios propostos serão necessários pelo menos dois controladores por fornecedor, o primeiro deles para o ensaio de suas características elétricas e proteções e o segundo de reserva caso ocorra algum problema no momento do desenvolvimento do ensaio.

### 3.2.1. Avaliação geral

- Verificar se a informação solicitada na **especificação CCG-1** encontra-se na etiqueta.
- Verificar se a documentação solicitada na **especificação CCG-2** acompanha o controlador.
- Verificar se o fusível é comercialmente encontrado nas redondezas da localidade onde se implementará o sistema. Comprovação da **especificação CCG-3**.

### 3.2.2. Avaliação física

- Verificar visualmente se há acesso desde o exterior ao interior do controlador, através de furos, separação entre elementos, etc. Comprovação da **especificação CCF-1**.
- Verificar visualmente que o material da caixa do controlador, assim como seus acessórios sejam resistentes à oxidação ou que a cobertura da caixa impossibilite sua oxidação. Comprovação da **especificação CCF-2**.
- Abrir o controlador manualmente ou mediante chave de fendas, estrela ou mista. Deverá ser possível identificar claramente os componentes da placa eletrônica ou os dispositivos eletromecânicos, assim como a fiação do controlador. Comprovação da **especificação CCF-3**.
- Verificar se na caixa do controlador está claramente identificada a polaridade dos terminais e os dispositivos que lhes correspondem, o qual deverá coincidir exatamente com o diagrama elétrico apresentado na respectiva documentação. Comprovação da **especificação CCF-4**.

- Verificar se os terminais são de materiais resistentes à oxidação. Conectar os fios correspondentes a cada terminal. Estes deverão ficar firmemente unidos. Comprovação da **especificação CCF-5**
- Montar o controlador sobre uma tabua com os acessórios do controlador, estes deverão ficar firmemente unidos. Comprovação da **especificação CCF-6**.
- Verificar se o fusível está claramente sinalizado sobre a superfície do controlador, indicando sua capacidade. O fusível deverá ser acessível para o usuário, sem necessidade de abrir o controlador ou uso de alguma ferramenta. Comprovação da **especificação CCF-7**.

### 3.2.3. Avaliação elétrica

Para todas as ligações, garantir uma queda de tensão na fiação menor que 1% entre todos os terminais dos dispositivos.

As medidas de tensão deverão ser feitas sempre nos terminais do controlador.

#### 3.2.3.1. Bancada de ensaio

##### a. Instrumentos de medição

Item	Descrição	Qtd.	Capacidade mínima	Precisão	Resolução
1	Voltímetro	3	$1,5 * V_{\text{ensaio}}$	$\pm 0,1\%$	Uma casa decimal
2	Amperímetro	3	$1,5 * I_{\text{ensaio}}$	$\pm 1\%$	Duas casas decimais
3	Termômetro	1	100 °C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	Uma casa decimal

##### b. Aparelhos e componentes

Item	Descrição	Qtd.	Observações
1	Controlador de carga	1	A ser ensaiado
2	Acumulador de carga	1	Com um estado de carga de 95%.
3	Fonte	1	Faixa de tensão e corrente igual ou maior que a nominal do sistema.
4	Potenciômetro	1	Apropriado em tensão e corrente.
5	Cargas	1	Um ou mais aparelhos, com um consumo equivalente ao regime de descarga especificado
6	Dispositivo de climatização		Para manter uma dada temperatura

### c. Configuração

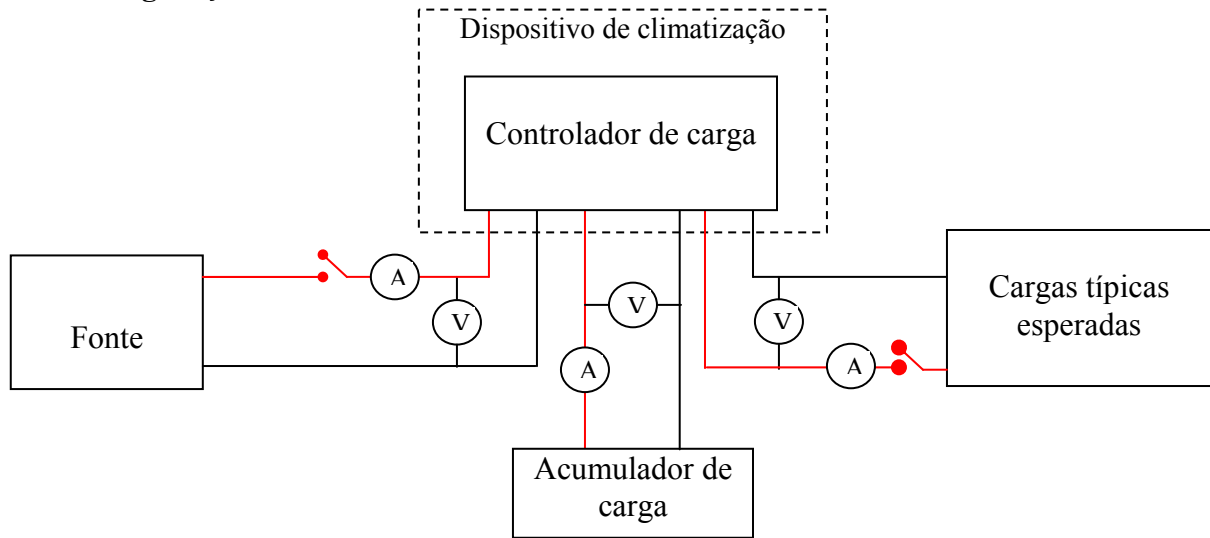


Figura 3.2. Configuração dos aparelhos de medição e componentes para o ensaio de controladores.

#### 3.2.3.2. Tensões de desconexão e reposição de carga do gerador fotovoltaico

- Colocar os componentes e aparelhos segundo a configuração apresentada na figura 3.2.
- Configurar a fonte como fonte de corrente para uma corrente equivalente à de curto-circuito do gerador fotovoltaico a STC.
- Carregar o acumulador e registrar as medidas em intervalos de 0,08 V/elemento até que atinja os 2,3 V/elemento e em seguida medir a tensão em intervalos de 0,02 V/elemento até que a corrente não circule mais ao acumulador ou inicie a comutação por sobrecarga. Registrar as medidas, assim como a informação visual que dá o controlador na tabela 3.2.
- Descarregar o acumulador a uma corrente equivalente à corrente de curto-circuito do gerador fotovoltaico a STC até que a tensão atinja os 2,05 V/elemento. Registrar o valor da tensão de reposição de carga e a informação visual que mostra o controlador, anotando estas informações na tabela 3.2.
- Fazer o mesmo ensaio para as seguintes condições:
  - Circuito de sobrecarga, corrente igual a  $\frac{3}{4}$  da corrente de curto-circuito de gerador fotovoltaico.
  - Circuito de descarga, corrente igual a  $\frac{3}{4}$  da corrente de consumo esperada durante o funcionamento normal do sistema.
- Fazer um ciclo de carga e descarga para uma outra condição de temperatura, para isso deve-se ligar o climatizador e selecionar uma temperatura próxima à máxima ou mínima

temperatura da localidade onde será instalado o SFD. Colocar o controlador no climatizador minutos antes de iniciar o ensaio.

O controlador cumpre a especificação de tensão de desconexão e de reposição de carga se o ponto de desligamento se encontra dentro das faixas indicadas nas **especificações CCE-2 e CCE-3**. Se as tensões ficam estáveis para diferentes correntes de carga e descarga o controlador cumpre a **especificação CCE-1**.

Se o fator de correção por temperatura se encontra entre - 3 e - 5 mV/°C-elemento, então o controlador de carga cumpre com a **especificação CCE-11**.

### **3.2.3.3. Tensão de desconexão e de reposição das cargas**

Para a determinação destas duas tensões têm-se duas possibilidades, a primeira é fazer ciclos de carga<sup>56</sup> e descarga similares aos anteriormente mostrados e a segunda é mediante o uso de uma fonte<sup>57</sup>.

No primeiro caso, com a mesma configuração da figura 3.2 descarregar o acumulador a uma corrente equivalente à do consumo esperado até que as cargas sejam desligadas, em seguida, fazer um processo de carga com uma corrente equivalente à de curto-circuito do gerador FV. Repetir o ciclo para correntes 25% menores. Registrar os valores das tensões de desconexão e de reposição, assim como a informação visual proporcionada pelo controlador.

No segundo caso, o acumulador é retirado da configuração mostrada na figura 3.2 e em seu lugar a fonte deverá ser conectada aos terminais correspondentes ao acumulador no controlador. Previamente será preciso configurar a fonte como fonte de tensão e seleccionar uma tensão compatível com a tensão do controlador, por exemplo, 12,2V.

Uma vez ligada à fonte, ir diminuindo a tensão na fonte em intervalos de 0,02 V/elemento até que o controlador desligue as cargas, registre o valor da tensão de desconexão das cargas. O controlador cumpre a **especificação CCE-4 e CCE-5** se as tensões estiverem dentro das faixas indicadas nas especificações.

Da mesma forma para encontrar o valor da tensão de reposição, ir aumentando a tensão em intervalos de 0,02 V/elemento até que as cargas sejam conectadas novamente. O controlador cumpre a **especificação CCE-6** se o valor da tensão de reposição das cargas estiver dentro da faixa indicada.

---

<sup>56</sup> Neste caso recomenda-se fazer processos de carga durante uma hora aproximadamente para cada uma das correntes

<sup>57</sup> Se o controlador permite conectar uma fonte como acumulador.

- Repetir o procedimento para uma outra condição de temperatura. O controlador de carga cumpre a **especificação CCE-11** se não fizer nenhuma correção por mudança de temperatura.
- Se o controlador de carga continua funcionando, ou seja, fornece energia ao controlador e às cargas, este cumprirá com a especificação **CCE-7**.
- Se o controlador durante todos os ensaios funciona automaticamente e não possui nenhum dispositivo de desativação de funções principais, à exceção das informações visuais, o controlador cumprirá com a **especificação CCE-10**.

#### 3.2.3.4. Queda de tensão

Para a determinação da queda de tensão, pode-se usar dois procedimentos.

O primeiro consiste em medir as tensões entre os terminais nos processos de carga e descarga efetuados para determinar as tensões de desconexão e reposição a cada 0,02 V/elemento.

Para o segundo procedimento se deverá:

- Colocar um potenciômetro entre o controlador e o acumulador.
- Ligar a fonte, as cargas e ir selecionando diversas tensões com o potenciômetro.
- Medir as tensões entre os diferentes terminais.

Para ambos procedimentos, o controlador cumpre a **especificação CCE-8** se não se registrar uma queda de tensão superior a 4%.

#### 3.2.3.5. Autoconsumo

- Para a determinação do autoconsumo, pode-se usar dois procedimentos. O primeiro é mediante o uso da fonte como acumulador e o segundo realizar as medidas durante a descarga do acumulador.
- No primeiro caso, a fonte deverá ser conectada aos terminais correspondentes ao acumulador no controlador. Previamente deverá configurar-se a fonte como fonte de tensão e selecionar uma tensão compatível com a tensão de operação do controlador. Com esta configuração, mudar as tensões e medir o consumo para tensões equivalentes a 100%, 104%, 108%, 117% e 125% da nominal.
- No segundo caso, se deverá descarregar o acumulador e medir o autoconsumo para as tensões equivalentes a 100%, 104% e 108% da nominal.

- Em qualquer caso o autoconsumo deverá ser inferior a 10 mA para que o controlador cumpra a **especificação CCE-9**.

#### **3.2.3.6. Interferência**

- Para verificar possíveis interferências do controlador às sinais de comunicação de rádio ou TV. Primeiro ligar isoladamente cada aparelho, rádio e TV, e em conjunto. Em seguida verificar se os sinais são recebidos com clareza, caso contrário, registrar em que faixa isto acontece.
- Aproximar estes dispositivos ao controlador a uma distância de 0,5 m, mover o seletor de ambos aparelhos, verificar se a nitidez na recepção do sinal é a mesma de quando funcionando isoladamente cada um deles.
- Repetir este procedimento a cada 0,5 m até os 3 m de distância. Se em nenhum caso surgir problemas de interferência o controlador cumpre a **especificação CCE-12**.

#### **3.2.4. Avaliação do funcionamento em condições extremas de operação**

- Com a configuração da figura 3.2, ligar a fonte para uma tensão equivalente à tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico, desconectar o acumulador, medir a tensão no terminal das cargas durante 5 minutos, ligar as cargas durante 5 minutos, medir a tensão no terminal das cargas. Se em ambos os casos, a tensão não ultrapassa em 25% a tensão nominal do sistema, o controlador cumpre com a **especificação CFCE-1**.
- Na configuração da figura 3.2, incorporar o potenciômetro entre o controlador e o acumulador, mover o seletor do potenciômetro de tal forma que a tensão no terminal do acumulador no controlador atinja o valor de 1,5 V/elemento. Ligar a fonte, se circular corrente do controlador ao acumulador, o controlador cumpre com a **especificação CFCE-2**.

#### **3.2.5. Avaliação das proteções**

- Conectar uma fonte no terminal do acumulador e no terminal correspondente ao gerador fotovoltaico um resistor apropriado. Se não circular corrente desde o acumulador ao

resistor colocado como gerador fotovoltaico, o controlador cumprirá com a **especificação CP-1**.

- Conectar o acumulador nos terminais do controlador com a polaridade invertida e manter nessa situação por 5 minutos. Com o acumulador conectado corretamente no controlador, conectar nos terminais do gerador uma fonte ajustada na tensão de circuito aberto do gerador FV com polaridade invertida, manter nessa situação por 5 minutos. Refazer a conexão de forma correta e verificar o funcionamento do controlador através da conexão de uma fonte nos terminais do gerador, o acumulador deverá absorver corrente e o controlador deverá fornecer tensão e corrente as cargas para que cumpra com a **especificação CP-2**.



Tabela 3.2. Registro das medidas no controlador de carga.

Tempo (horas)	Corrente de carga, $I_m$ (A)	Tensão no terminal do gerador, $V_m$ (V)	Corrente de consumo, $I_a$ (A)	Tensão no terminal das cargas, $V_c$ (V)	Tensão no terminal do acumulador, $V_a$ (V)	Corrente do acumulador, (A)	Queda de tensão gerador – acumulador (%)	Queda de tensão acumulador - cargas (%)	Informação do controlador de carga	Observações

### 3.3. Luminária em corrente contínua

Para a avaliação da luminária serão necessárias duas unidades, sendo que uma será utilizada no ensaio de funcionamento contínuo e a outra no ensaio de ciclagem.

#### 3.3.1. Avaliação geral

- Verificar se constam todas as informações solicitadas na etiqueta da luminária. Comprovação da **especificação LCG-1**.
- Verificar a existência da informação que deve acompanhar à luminária e conferir se todos os parâmetros solicitados estão incluídos. Comprovação da **especificação LCG-2**.
- Verificar a existência da lâmpada no comércio mais próximo da localidade onde se farão as instalações. Comprovação da **especificação LCG-3**.

#### 3.3.2. Avaliação física

- Fazer a conexão da luminária a uma fonte ou acumulador respeitando a polaridade indicada no diagrama elétrico que aparece na etiqueta da luminária, ligar a luminária durante 5 min. Comprovação da **especificação LCF-1**.
- Desmontar a luminária manualmente (cobertura e lâmpada) ou com uso de uma chave de fenda (estrutura metálica). Ao final desta operação deverá ser possível identificar claramente as partes da luminária (lâmpada, estrutura metálica e reator). Juntar as peças e identificar possíveis partes frágeis. Comprovação da **especificação LCF-2**.
- Fazer uma inspeção visual de toda a luminária, tais como, as regiões de união de materiais (por exemplo, soldas), acessórios, etc. Comprovação da **especificação LCF-3**.
- Limpar a superfície da cobertura, da lâmpada e do refletor com um pano molhado<sup>58</sup>, a limpeza deverá ser feita sem nenhuma dificuldade, não deverá apresentar nenhum desprendimento. Comprovação da **especificação LCF-4**.
- Verificar visualmente se não há acesso desde o exterior ao interior da luminária, através de furos, separação entre elementos, etc. Comprovação da **especificação LCF-5**.
- Verificar a existência da cobertura. Observar através da cobertura a lâmpada, pois esta deve ser visualizada com boa definição. Comprovação da **especificação LCF-6**.

---

<sup>58</sup> A luminária deve estar desligada e sem conexão.

- Fazer uma simulação da instalação da luminária sobre uma tábua na posição que seria instalada, requerendo-se unicamente uma chave de fenda. Observar a qualidade dos acessórios para fazer a instalação. Comprovação da **especificação LCF-7**.

### 3.3.3. Avaliação elétrica

Para conseguir que a lâmpada atinja uma condição estável é necessário, antes de iniciar os ensaios, deixar previamente funcionando as luminárias durante 100 horas (HAMMER, 1990:2; JI; DAVIS; CHEN, 1999:58; GARCÍA, 2002:3, ATMARAM; ROLAND, 2001:49). Medir todas as tensões nos terminais de alimentação da luminária.

#### 3.3.3.1. Bancada de ensaio

##### a. Instrumentos de medição

Item	Descrição	Qtd.	Capacidade mínima	Precisão	Resolução
1	Amperímetro	1	$1,5 \cdot I_{\text{ensaio}}$	$\pm 1\%$	Uma casa decimal
2	Voltímetro	1	$1,5 \cdot V_{\text{ensaio}}$	$\pm 0,5\%$	
3	Sensor de temperatura	1	100 °C	$\pm 1^\circ\text{C}$	-----

##### b. Aparelhos e componentes

Item	Descrição	Qtd.
1	Luminárias	2
2	Rádio	1
3	TV	1
4	Cronômetro	1

##### c. Configuração

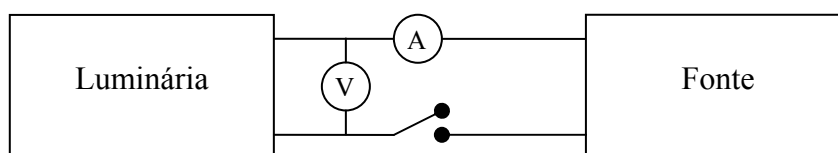


Figura 3.3. Configuração dos instrumentos de medição, aparelhos e componentes para os ensaios das luminárias.

### 3.3.3.2. Características elétricas

- Configurar a fonte como fonte de tensão, selecionar a tensão nominal do sistema.
- Colocar os aparelhos de medição de acordo com a configuração mostrada na figura 3.3.
- Conectar a luminária à fonte, ligar a luminária. Se a lâmpada acende logo depois de alguns segundos, dois como mínimo, cumpre com a **especificação LCE-1**.
- Com a luminária desligada, ligar o rádio AM e/ou TV e selecionar um volume e mover o controle de sintonia dos aparelhos para verificar o estado do aparelho e a recepção dos sinais. Registrar em que faixa não se tem uma adequada recepção por aparelho.
- Ligar a luminária a uma fonte à tensão nominal da carga, assim como a rádio AM e/ou TV a 0,5 m de distância da luminária.
- Mover o controle de sintonia dos aparelhos e registrar se houver alguma interferência. Fazer a mesma operação para tensões maiores que 9%, 15% e 25% da tensão nominal. Deslocar a rádio ou a TV 0,5 m de cada vez até chegar a uma distância<sup>59</sup> de 3 m. Se não houver nenhuma interferência ou ruído durante o ensaio, a luminária cumprirá a **especificação LCE-2**.
- Registrar a temperatura da superfície externa da luminária, nas proximidades do reator. Se esta temperatura é menor que 50 °C, cumpre-se a **especificação LCE-3**.
- Conectar a luminária à fonte estando esta na tensão nominal do sistema.
- Ligar a luminária durante uma hora.
- Retirar a lâmpada e medir a tensão e a corrente de consumo da luminária, calcular a potência de consumo da luminária e a percentagem desta potência em relação à potência nominal da luminária. Registrar os valores na tabela 3.3.

Tabela 3.3. Consumo da luminária sem lâmpada.

Tensão nominal (V)	Corrente de entrada (A)	Potência de consumo- $P_{\text{consumo}}$ (W)	Potencia nominal- $P_{\text{nom}}$ (W)	$(P_{\text{consumo}} - P_{\text{nom}})/P_{\text{nom}}$ (%)
.....				

<sup>59</sup> Recomendação (FAHLENBOCK; HAUPT, 1988:47) adotada por ser uma distância tipicamente encontrada entre a fonte de luz e algum aparelho de recepção de sinais.

Se a potência de consumo for menor que 20% do consumo nominal da luminária em toda a faixa de tensões, cumpre-se com a **especificação LCE-4**.

### 3.3.4. Avaliação do ciclo de vida

#### 3.3.4.1. Bancada de ensaio

##### a. Instrumentos de medição

Item	Descrição	Qtd.	Capacidade mínima	Precisão	Resolução
1	Voltímetro	1	$1,5 \cdot V_{\text{ensaio}}$	$\pm 0,5\%$	Uma casa decimal
2	Amperímetro	1	$1,5 \cdot I_{\text{ensaio}}$	$\pm 1\%$	Uma casa decimal

##### b. Aparelhos e componentes

Item	Descrição	Qtd.	Capacidade mínima
1	Temporizador	1	*
2	Acumulador de carga	1	**
3	Carregador de baterias	1	***
4	Cronômetro	1	1 hora
5	Climatizador	1	

\* Em função do número de luminárias a ensaiar pode-se usar mais de um temporizador ou um com a capacidade equivalente a 1,5 vezes a soma da corrente nominal das luminárias.

\*\* De capacidade necessária para garantir um “funcionamento contínuo” da ciclagem.

\*\*\* De capacidade adequada para fornecer energia suficiente ao acumulador.

Nota: o acumulador e o carregador de baterias podem ser trocados por uma fonte com a capacidade e tensão adequadas ou um sistema fotovoltaico com uma potência mínima<sup>60</sup> de 50 Wp (controlador de carga de 5A, um acumulador de 100 Ah) por cada luminária.

<sup>60</sup> ou alguma potência que garanta um funcionamento da luminária de forma intermitente sem apresentar apagões por falta de energia no acumulador de carga.

### 3.3.4.2. Ciclagem

#### a. Configuração

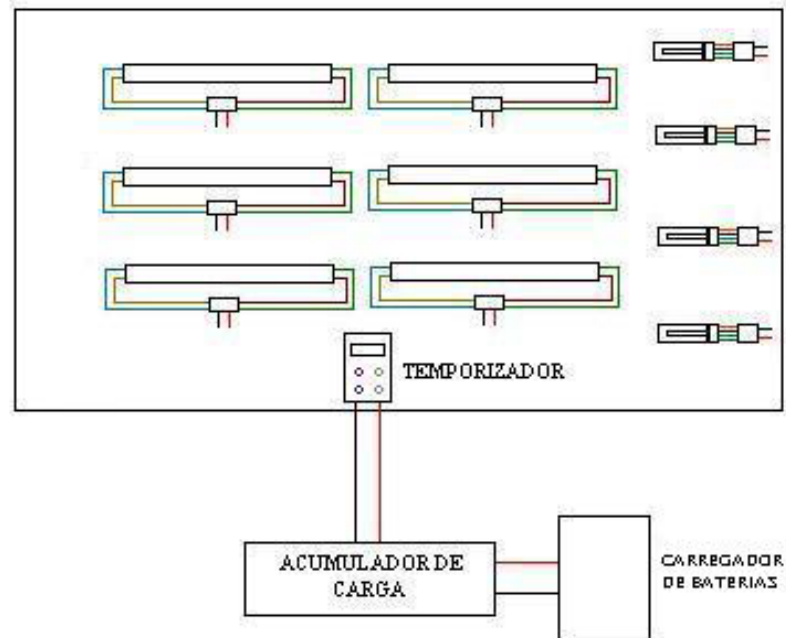


Figura 3.4. Configuração dos instrumentos de medição e aparelhos para o ensaio de ciclagem das luminárias.

#### b. Procedimento de ensaio

- Se a diferença das temperaturas médias onde será instalado o SFD e do laboratório onde serão ensaiadas as luminárias é maior que 15 °C, introduzir a luminária em um climatizador e selecionar uma temperatura próxima à mínima da localidade com ajuda do sensor de temperatura. Caso contrário, ensaiar na temperatura ambiente.
- Com uso de uma fonte, definir o tempo de acendimento e desligamento de cada uma das marcas de luminárias para a tensão nominal do sistema com base na temperatura da lâmpada, tabela 3.4.
- Medir a temperatura da lâmpada “fria”, ligar a luminária até que a lâmpada atinja uma temperatura constante, logo depois desligar a luminária e esperar até que a temperatura da lâmpada atinja um valor próximo à temperatura inicial mais dois graus Celsius.

Tabela 3.4 - Registro das medições de ligamento e desligamento.

Temperatura da lâmpada (°C)	Tempo de ligamento (minutos)	Temperatura da lâmpada (°C)	Tempo de desligamento (minutos)
“fria” (... °C)			
Constante (...°C)		“fria” + 2 °C (...°C)	

- Uma vez definidos os tempos de acendimento e desligamento de cada uma das marcas de luminárias, escolher o maior tempo de acendimento e desligamento.
- Selecionar os tempos correspondentes no temporizador, conferir com um cronômetro.
- Manter ligado o carregador de baterias (ou o dispositivo alternativo) durante todo o processo de ensaio.
- Medir o consumo da luminária cada 1.000 ciclos. Se depois de 5.000 ciclos a luminária seguir funcionando e suas características elétricas não diminuírem em mais de 5%, esta cumprirá com a **especificação LCV-1**.

### 3.3.4.3. Funcionamento contínuo

#### a. Configuração

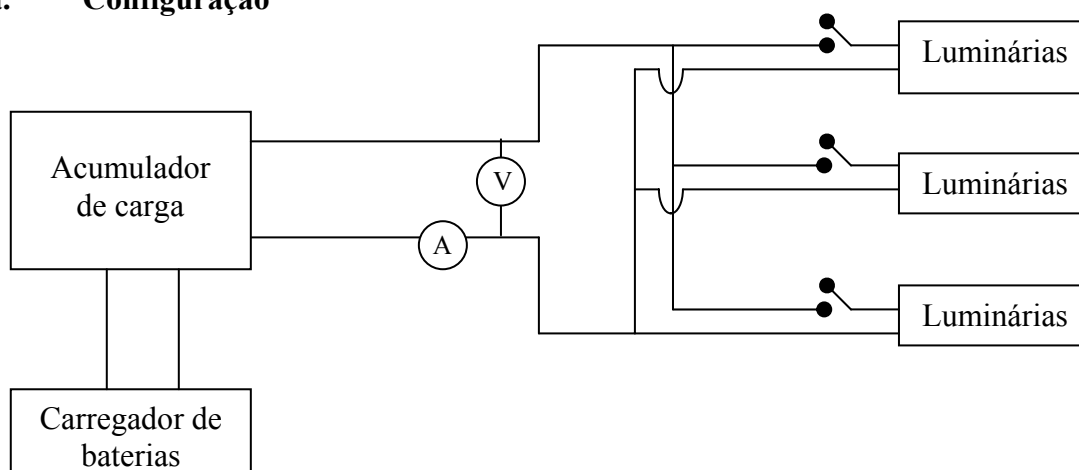


Figura 3.5. Configuração dos instrumentos de medição e os aparelhos para o ensaio de funcionamento contínuo das luminárias.

### b. Procedimento de ensaio

- Se a diferença das temperaturas médias onde será instalado o SFD e do laboratório onde serão ensaiadas as luminárias for maior que 15 °C, introduzir a luminária<sup>61</sup> em um climatizador e selecionar uma temperatura próxima à mínima da localidade com ajuda do sensor de temperatura. Caso contrário, ensaiar na temperatura ambiente do laboratório.
- Conectar as luminárias tal como aparece na figura 3.5. Selecionar no climatizador a máxima temperatura onde será instalado o SFD. Ligar a luminária e deixar ligada durante 1.200 horas.
- Medir a cada 300 horas o consumo elétrico da luminária.
- A luminária cumprirá a **especificação LCV-2**, se logo depois das 1.200 horas a luminária seguir funcionando e suas características elétricas não diminuem em mais de 5%.

### 3.3.5. Avaliação das proteções

#### 3.3.5.1. Bancada de ensaio

##### a. Aparelho e componente

Item	Aparelho de medição	Qtd.	Capacidade mínima
1	Luminária	1	A ser ensaiada
2	Acumulador de carga	1	

##### b. Configuração

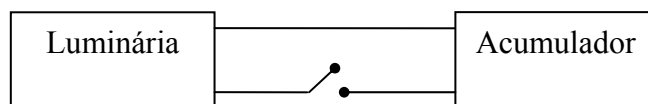


Figura 3.6. Configuração do aparelho e componente para avaliar as proteções das luminárias.

#### 3.3.5.2. Inversão de polaridade

- Com a configuração da figura 3.6, inverter a polaridade dos fios que alimentam a luminária.
- Ligar a luminária durante 5 minutos

<sup>61</sup> Não é necessário introduzir a luminária, pode ser só a lâmpada e o reator.



- Colocar novamente os fios que alimentam a luminária de forma correta. Se ficar acesa cumprirá com a **especificação LP-1**.

#### **3.3.5.3. Luminária sem lâmpada**

- Com a configuração da figura 3.6, conectar a luminária ao acumulador.
- Ligar a luminária durante 10 minutos.
- Retirar a lâmpada.
- Depois de 10 minutos colocar novamente a lâmpada, se a luminária seguir funcionando cumprirá com a **especificação LP-2**.

#### **3.3.5.4. Luminária com lâmpada queimada**

- Com a configuração da figura 3.6, conectar a luminária com lâmpada queimada ao acumulador.
- Ligar a luminária durante, pelo menos, 10 min.
- Trocar a lâmpada por uma que esteja em bom estado, ligar a luminária. Se ficar acesa cumprirá com a **especificação LP-3**.

### 3.4. Inversor CC/CA

Para a avaliação dos inversores será necessário pelo menos um inversor.

#### 3.4.1. Avaliação geral

- Verificar se toda a informação solicitada na **especificação ICG-1** encontra-se na etiqueta do inversor.
- Verificar a existência dos documentos que devem acompanhar o inversor segundo a **especificação ICG-2** e conferir se todos os parâmetros solicitados estão incluídos.

#### 3.4.2. Avaliação física

- Para verificar o cumprimento das **especificações ICF-1** até a **ICF-5** realizar inspeções visuais na caixa do inversor.
- Conectar os fios correspondentes nos terminais de entrada do inversor, no lado de corrente contínua. Se os fios são conectados facilmente, o inversor cumpre com a **especificação ICF-6**.
- Conectar os fios correspondentes nos terminais de saída do inversor, lado em corrente alternada. Se os fios são conectados facilmente, o inversor cumpre com a **especificação ICF-7**.
- Localizar o fusível no inversor, extrair o fusível e colocar novamente. Se o fusível se encontra na parte exterior do inversor e não se empregou nenhuma ferramenta para sua extração, o inversor cumpre com a **especificação ICF-8**.
- Verificar se o fusível usado no inversor é encontrado facilmente nas redondezas da região onde será instalado o SFD. Comprovação da **especificação ICF-9**.
- Verificar se o inversor possui todos acessórios necessários para sua instalação. Comprovação da **especificação ICF-10**.
- Abrir o inversor com o auxílio de chaves de fendas, tipo plana ou estrela e verificar que sejam identificáveis as partes internas do inversor tal como a placa eletrônica, transformador, fios, etc. Comprovação da **especificação ICF-11**.
- Conectar o inversor a um acumulador compatível em tensão e verificar se este possui um interruptor para ser ligado e desligado. Comprovação da **especificação ICF-12**.

### 3.4.3. Avaliação elétrica

A queda de tensão entre o acumulador e o inversor não deverá ser maior que 1% da tensão nominal do acumulador.

O procedimento que se apresenta a seguir se fundamenta no uso de um acumulador como fonte de corrente contínua, alternativamente pode-se substituir o uso do acumulador por uma fonte regulada que seja compatível com o inversor em corrente e tensão.

Medir todas as tensões nos terminais de saída e entrada do inversor.

#### 3.4.3.1. Bancada de ensaio

##### a. Instrumentos de medição

Item	Instrumento	Qtd.	Capacidade mínima	Precisão	Resolução
1	Amperímetro	1	$1,5 \cdot I_{\text{ensaio}}$	$\pm 1\%$	Uma casa decimal
2	Analizador de harmônicos	1		$\pm 2\%$	-----
3	Pinça amperimétrica	1	$1,5 \cdot I_{\text{ensaio}}$	$\pm 1,5\%$	Uma casa decimal
4	Voltímetro	1	$1,5 \cdot V_{\text{ensaio em CC}}$	$\pm 0,5\%$	
5	Voltímetro	1	$1,5 \cdot V_{\text{ensaio em CA}}$	$\pm 1\%$	

##### b. Aparelhos e componentes

Item	Descrição	Qtd.	Observações
1	Inversor	1	A ser ensaiado
2	Acumulador de carga	1	De capacidade em Ah equivalente em valor absoluto à potência do inversor
3	Fonte	1	Compatível com o acumulador ou inversor em corrente e tensão
4	Cargas	várias	Equivalentes ao 10%, 20%, .... 150%
5	Rádio	1	
6	TV	1	

### c. Configuração

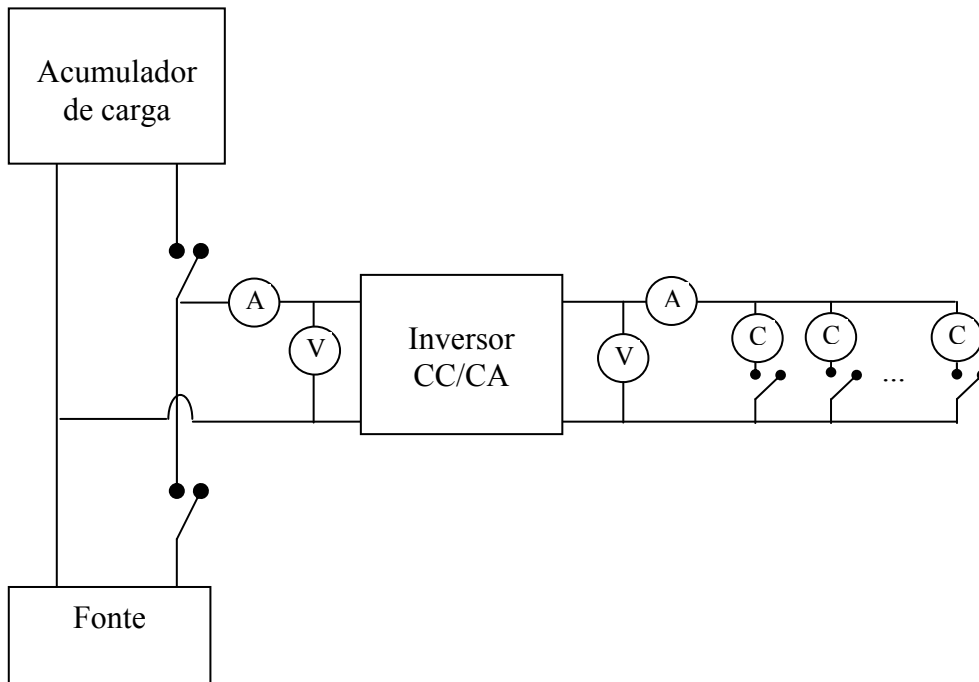


Figura 3.7. Configuração dos aparelhos de medição e componentes para avaliação elétrica do inversor.

#### 3.4.3.2. Eficiência, distorção harmônica total, variação da frequência e tensão de saída CA, tensões de desconexão e reposição das cargas e autoconsumo.

- Colocar os aparelhos de medição de acordo com a configuração mostrada na figura 3.7.
- O acumulador deverá estar completamente carregado, com uma capacidade mínima igual à potência nominal do inversor, de preferência novo ou em boas condições. Ou seja, por exemplo, se a potência do inversor é de 250 W, a capacidade do acumulador deverá ser de 250 Ah para a mesma tensão de entrada do inversor.
- Verificar a tensão e polaridade do inversor, do acumulador e da fonte. Conectar estes dispositivos, assim como as cargas ao inversor.
- Identificar e agrupar cargas resistivas equivalentes a 25%, 50%, 75%, 90% e 100% da potência nominal do inversor.
- Ligar o inversor e em seguida ligar todas as cargas ao inversor.
- Registrar as medidas de corrente e tensão na entrada e saída do inversor, a frequência, a distorção harmônica em tensão, assim como, a informação proporcionada pelo inversor na

tabela 3.5. Realizar a maior quantidade de medidas até chegar a uma tensão de 2,1 V/elemento.

Tabela 3.5 - Registro das medidas no inversor.

Tensão de entrada (V)	Fator de carga	Corrente de entrada (A)	Tensão de saída (V)	Corrente RMS de saída (A)	Frequência (Hz)	Corrente de autoconsumo (A)	THD <sub>V</sub> (%)
	100						
	....						
	15						
	5						
	100						
	....						
	15						
	5						

- Desligar sucessivamente as cargas e registrar os valores dos parâmetros antes mencionados até desligar todas as cargas.
- Medir o autoconsumo do inversor.
- Ligar todas as cargas até que a tensão no acumulador diminua em 0,04 V/elemento.
- Repetir o procedimento até atingir a tensão de 2 V/elemento com todas as cargas ligadas. Registrar a tensão de desconexão das cargas.
- Ligar a fonte de forma a fornecer a uma corrente de carga equivalente à corrente de curto-circuito do gerador fotovoltaico a STC até que o inversor ligue novamente todas as cargas. Registrar a tensão de reposição das cargas.
- Repetir os dois últimos passos para uma potência e corrente parciais equivalentes a 75 % da nominal.
- Se a distorção harmônica total em tensão é menor que 5% em relação à tensão RMS da forma de onda, então o inversor cumpre com a **especificação ICE-1**.
- Se a potência de autoconsumo para qualquer das tensões ensaiadas é menor que 3% da potência nominal do inversor, este cumprirá com a **especificação ICE-2**.

- Se a eficiência é maior que 80% para um fator de potência entre 15% e 90% para todas as tensões típicas do SFD, o inversor cumpre a **especificação ICE-3**.
- Se a variação da tensão na saída do inversor está entre  $\pm 10\%$  do valor nominal, para qualquer fator de carga e tensão de entrada em CC típica do SFD, o inversor cumpre com a **especificação ICE-4**.
- Se a variação da frequência na saída do inversor está entre  $\pm 5\%$  do valor nominal para qualquer fator de carga e tensão de entrada em CC típica do SFD, o inversor cumpre com a **especificação ICE-5**.
- O inversor cumpre as **especificações ICE-6, ICE-7 e ICE-8** se a tensão de desconexão das cargas, de alarme de desconexão das cargas e reposição das cargas estiverem dentro da correspondente faixa especificada.
- De não haver presença de componentes em corrente contínua e alternada na saída e na entrada do inversor, este cumprirá com a **especificação ICE-9**.
- Se a informação visual proporcionada pelo inversor corresponde aos parâmetros elétricos medidos, o inversor cumpre a **especificação ICE-10**.

#### 3.4.3.3. Compatibilidade com as cargas

- Com a configuração da figura 3.7, identificar as cargas que se estima serem conectadas ao inversor equivalentes a 25%, 50%, 90% e 100% da potência nominal do inversor.
- Com o acumulador carregado ligar sucessivamente as cargas, desligar as cargas e o inversor.
- Conectar ao inversor 100% das cargas e ligar o inversor.
- Se o inversor não apresentou nenhum problema ao ligar as cargas e estas funcionaram em forma contínua sem variações significativas em suas características, o inversor cumpre com a **especificação ICE-11**.

#### 3.4.3.4. Surtos

- Com a configuração da figura 3.7, identificar um motor que precise para seu acionamento um surto de corrente de aproximadamente 6 vezes a corrente nominal do inversor.
- Conectar o motor ao inversor, ligar o inversor.

- Se o inversor suprir o surto de corrente do motor, este cumprirá com a **especificação ICE-12**.

#### **3.4.3.5. Interferências**

- Verificar se os aparelhos de recepção e emissão de sinais, usados tipicamente no setor rural, funcionam isoladamente em toda a faixa de sintonização de sinais. Caso contrário, registrar em que faixas não se têm uma adequada recepção pelo aparelho.
- Conectar o inversor ao acumulador com uma tensão próxima a 2,1 V/elemento e com uma carga equivalente ao 5 ou 10% da potência nominal.
- Ligar isoladamente cada dispositivo de comunicação a uma distância de 3 m e verificar que não se produza nenhuma interferência. Repetir o procedimento a cada 0,5 m até chegar aos 5 m. Se não houver nenhuma interferência ou não se percebe nenhum ruído, o inversor cumpre com a **especificação ICE-13**.

#### **3.4.4. Avaliação do funcionamento do inversor em condições extremas de operação**

- O acumulador deverá estar completamente carregado, com uma tensão mínima de 2,3 V/elemento.
- Agrupar as cargas tipicamente a serem usadas ou cargas equivalentes a 125% e 150% da potência do inversor, conectar os componentes tal como aparece na figura 3.7. Ligar o conjunto de cargas equivalentes a 125% da carga total, desligar após 2 minutos. Ligar a carga equivalente a 150% da carga total, desligar após 30 segundos.
- Se o inversor conseguiu ligar as cargas, para ambas condições, para tensões superiores a 2,02 V/elemento., cumpre a **especificação IFCE-1**.

#### **3.4.5. Avaliação das proteções**

- Com a configuração ilustrada na figura 3.7 conectar o inversor a uma ou mais cargas equivalentes a 100% da potência do inversor, ligar o inversor, desconectar um fio do acumulador. Desligar as cargas, conectar novamente o fio. O inversor cumpre a **especificação IP-1** se o inversor novamente conseguir ligar 100% das cargas.
- Com o inversor em vazio inverter a polaridade na entrada do inversor durante 3 minutos. Conectar novamente na posição correta os fios na entrada e ligar o inversor. Se há um

fusível de proteção e este ficar danificado, troca-lo. Medir a tensão na saída do inversor. Se o multímetro mede uma tensão na saída do inversor próxima à nominal, este cumpre com a **especificação IP-2**.



## Capítulo IV. Avaliação da reprodutibilidade dos ensaios

Um dos objetivos colocado ao início da presente dissertação é que os procedimentos propostos sejam reproduzíveis em qualquer laboratório, com este fim se repetiram os ensaios em dois laboratórios, no Instituto de Energia Solar (IES) da Universidade Politécnica de Madri e no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF) da Universidade de São Paulo.

Como previsto, em cada um dos laboratórios foram encontrados instrumentos de medição de diferentes características e qualidade, diferentes condições de ensaio, condições climáticas, etc.

Os componentes ensaiados em ambos laboratórios foram dois controladores de 11 A e dois inversores de 120 W. A tensão de entrada de ambos componentes é de 12 V.

Para assegurar a reprodutibilidade dos ensaios, como é evidente, este teve o caráter de não destrutivo, portanto, os ensaios apresentados neste capítulo foram realizados para conhecer as características elétricas e operacionais de funcionamento do componente, seguindo os procedimentos apresentados no capítulo III.

Neste capítulo se apresenta, para cada componente, em primeiro lugar a informação declarada pelo fabricante do componente e a instrumentação usada. Em segundo lugar o resultado das medidas feitas e a discussão dos resultados obtidos, em terceiro lugar uma análise dos requisitos mínimos para realizar os ensaios e finalmente a comparação destes requisitos com as características dos instrumentos de medição usados em cada laboratório.

As informações dos instrumentos e aparelhos usados em cada experiência se mencionam ao início da apresentação dos resultados e na discussão da instrumentação usada e a requerida, esta consiste basicamente na informação mínima que deveria levar-se em conta ao momento de escolher um instrumento.

Em alguns casos não aparecem maiores informações do instrumento ou aparelhos devido que não se encontrou tais informações ou por estas não serem relevantes.

No tratamento dos dados obtidos se procurou seguir a teoria de erros abordada em Vuolo (1996), levando em conta aspectos tais como:

- Incluir todos os dígitos, sempre que guardem relação com a magnitude da grandeza medida, que o instrumento de medição permite ler diretamente mais um dígito que deve ser *estimado* pelo observador.
- Para o caso do arredondamento dos números medidos, para os algarismos não significativos menores que 5 deverão ser simplesmente eliminados (arredondamento para

baixo), em caso contrário se deverá aumentar o algarismo anterior (o significativo) em 1 com exceção do caso em que se tenha um 5 logo depois do último algarismo significativo e nenhum algarismo posterior, neste caso o arredondamento deverá ser tal que o algarismo significativo depois de arredondado resulte em um algarismo par.

- As diferenças entre duas medidas realizadas em dois ambientes distintos podem levar a uma série de erros tais como: o erro observacional<sup>62</sup>, o ambiental, o instrumental etc., os quais estão relacionados ao próprio observador, a condições como a temperatura, pressão, etc. e a calibração do respectivamente instrumento.

---

<sup>62</sup> Erro que inclui, por exemplo, a estimativa, se está flutuando, do último número de uma leitura.

## 4.1. Controlador de carga

Foram submetidos a ensaio dois controladores, ambos do mesmo fabricante. Os quais serão chamados como “Controlador 1” e “Controlador 2”.

A especificação técnica, declarada pelo fabricante se mostra na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Especificação dos controladores 1 e 2.

Tensão nominal	12 V
Intensidade máxima na linha de carga	11 A
Intensidade máxima na linha das cargas	11 A
Consumo típico circuito de controle	4 mA
Tensão final de carga profunda	14,8 V
Faixa de flutuação	13,9/13,7 V
Reposição de regulação e saída de flutuação	12,8 V
Tensão de desconexão das cargas	11 V
Tensão de reposição das cargas	12 V

Cabe destacar que o fabricante não menciona informação alguma sobre o fator de correção das tensões por temperatura, a lógica de funcionamento, as quedas de tensão e o autoconsumo.

Na busca por estabelecer os procedimentos de verificação dos controladores se procedeu a provar diferentes estratégias de medição, as quais mudam principalmente em função do ponto de conexão entre a fonte e o controlador, no terminal do gerador FV ou do acumulador.

### 4.1.1. Instrumentos de medição e aparelhos

#### 4.1.1.1. Instrumentos de medição

Instrumento	IES			LSF		
	Fabricante	Modelo	Capacidade	Fabricante	Modelo	Capacidade
Multímetro	Fluke	87 III	1.000 V – 10 A	Fluke	87	1.000 V – 10 A
Termômetro	indefinido	Thermometer in/out		Fluke	87 T-IR	-18 – 260 °C

#### 4.1.1.2. Aparelhos

Aparelho	IES			LSF		
	Fabricante	Modelo	Descrição	Fabricante	Modelo	Descrição
Fonte	HP	6574 A	0-60 V / 0-35 A	Kepeco	BOP36-12M	0-±36 V / 0-±12 A
Fonte	Promax	FAC 364C	0-15 V / 0-4 A	---		
Shunt			4 A - 150 mV			10 A- 60 mV
Acumulador	Moura	12MC105	105 Ah - 20 h	Moura	MP100HE	100 Ah - 20 h
Aquecedor			Forno	---		
Refrigerador			Geladeira			Geladeira

#### 4.1.2. Resultados dos ensaios

Os dois procedimentos que se mostram a seguir se encontram descritos na seção 3.2.3.1. da presente dissertação.

##### 4.1.2.1. Fonte como gerador fotovoltaico

- **Tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV dos controladores 1 e 2 e estabilidade das tensões**

Para a medida das tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV e verificar a estabilidade destas tensões, para diferentes correntes, foram realizados dois ciclos de carga e descarga, tal como se mostra na figura 4.1, com correntes de 4 e 6 A. A descarga se realizou ligando alguma carga até que o acumulador atingisse uma tensão de 12,6 V aproximadamente, tensão que corresponde a um estado de carga próximo a 95% para um acumulador novo de 100 Ah.

Como pode observar-se na figura 4.1, a estratégia do controlador consiste em que, uma vez que o controlador detecta uma tensão, no terminal do acumulador no controlador, menor que

12,7 V, aproximadamente, este permite que no processo de carga a tensão atinja um valor de 14,8 V para uma temperatura próxima de 20 °C, a partir do qual se inicia a etapa de flutuação.

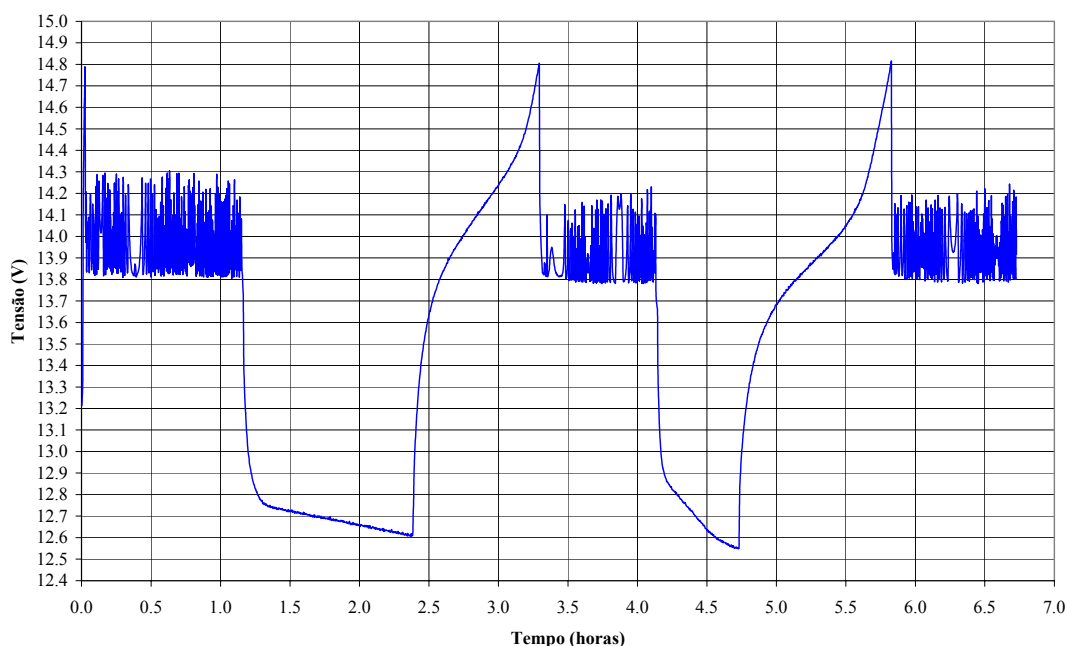


Figura 4.1. Tensões de desconexão e reposição da carga do gerador FV do controlador 1.

Uma vez iniciada a etapa de flutuação, os valores medidos das tensões de corte e reposição vão variando, portanto, se decidiu levar em conta as primeiras tensões mais altas que se repetissem para definir a tensão de desconexão da carga e os mais baixos para definir a tensão de reposição da carga, valores que são apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2 - Tensões de desconexão, reposição e fim de carga do gerador FV do controlador 1.

Ciclo	IES (20 °C)			LSF (29 °C)		
	Tensão (V)					
	Fim de carga	Reposição	Desconexão	Fim de carga	Reposição	Desconexão
Primeiro	14,8	13,8	14,1	14,7	13,6	13,9
Segundo	14,8	13,8	14,2	14,7	13,6	13,9

Tabela 4.3 - Tensões de desconexão, reposição e fim de carga do gerador FV do controlador 2.

Ciclo	IES (20 °C)			LSF (27 °C)		
	Tensão (V)					
	Fim de carga	Reposição	Desconexão	Fim de carga	Reposição	Desconexão
Primeiro	14,8	13,8	14,2	14,7	13,7	13,9
Segundo	14,8	13,8	14,1	14,7	13,7	13,9

Comentário:

Como pode-se observar, as tensões são muito parecidas, as diferenças basicamente estão dadas pela correção por temperatura que faz o controlador, a qual se verá a seguir, e pelos erros mencionados ao início deste capítulo.

• **Tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV dos controladores 1 e 2 para diferentes temperaturas**

Para este ensaio apenas se fez um processo de carga e descarga para uma corrente aproximada de 4 A, os resultados das medidas a diferentes temperaturas para ambos controladores são apresentadas nas tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4 - Tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV do controlador 1 para diferentes temperaturas.

IES				LSF			
Temperatura (°C)	Tensão (V)			Temperatura (°C)	Tensão (V)		
	Fim da carga	Reposição	Desconexão		Fim da carga	Reposição	Desconexão
4	15,0	13,9	14,2	12	14,8	13,8	14,0
30	14,7	13,7	13,9				

Tabela 4.5 - Tensões de desconexão e reposição da carga no controlador 2 para diferentes temperaturas.

IES				LSF			
Temperatura (°C)	Tensão (V)			Temperatura (°C)	Tensão (V)		
	Fim de carga	Reposição	Desconexão		Fim de carga	Reposição	Desconexão
5,4	14,9	13,9	14,2	6	14,9	13,9	14,2
30,2	14,7	13,7	13,9				

Comentário:

Como pode-se observar, os controladores fazem uma correção das tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV por temperatura. Os valores calculados, no caso das medidas feitas no IES, mudam para o controlador 1 entre 1,3 e 1,9 mV/°C-elemento e para o controlador 2 entre 1,3 e 2,0 mV/°C-elemento, e no caso das medidas feitas no LSF, os valores mudam para o controlador 1 entre 1,0 e 2,0 mV/°C-elemento e para o controlador 2 entre 1,6 e 2,4 mV/°C-elemento. Como pode-se notar existe uma variação, cujo máximo atinge os 0,4 mV/°C-elemento, entre os valores encontrados em ambos laboratórios, mas em ordens de magnitude representam praticamente o mesmo resultado.

• **Tensões de desconexão e reposição das cargas dos controladores 1 e 2 e estabilidade das tensões.**

Seguindo o mesmo procedimento como o mostrado anteriormente, foram realizados dois ciclos de carga, de uma hora de duração, e de descarga do acumulador a correntes de 4 e 6 A, tal como pode ser observado na figura 4.2.

Os resultados das medidas realizadas em ambos laboratórios são apresentadas, a seguir, nas tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6 - Tensões de desconexão e reposição das cargas para o controlador 1.

	IES (20 °C)		LSF (30 °C)	
	Tensão (V)			
Ciclo	Desconexão	Reposição	Desconexão	Reposição
Primeiro	11,0	11,7	11,0	11,8
Segundo	11,0	11,7	11,0	11,8

Tabela 4.7 - Tensões de desconexão e reposição das cargas para o controlador 2.

	IES (20 °C)		LSF (30 °C)	
	Tensão (V)			
Ciclo	Desconexão	Reposição	Desconexão	Reposição
Primeiro	11,3	12,0	11,2	12,0
Segundo	11,3	12,0	11,2	12,0

Comentário:

Como pode-se notar, os valores obtidos em ambos laboratórios são bastante similares e as diferenças apresentadas basicamente se dão na segunda casa decimal, produto dos próprios erros no processo de medição.

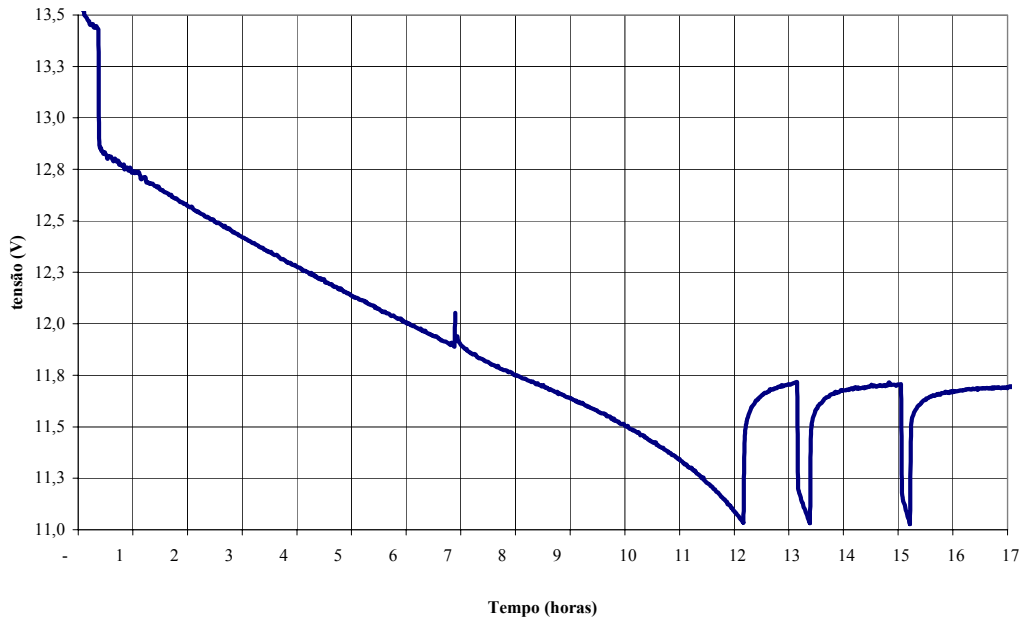


Figura 4.2. Processos de carga e descarga com o controlador 1.

- **Tensões de desconexão e reposição das cargas dos controladores 1 e 2 para diferentes temperaturas**

De igual forma que no caso anterior se realizaram as medidas das tensões de desconexão e reposição para um ciclo de carga e descarrega de 4 A, nas tabelas 4.8 e 4.9 são apresentados os resultados.



Tabela 4.8 - Tensões de desconexão e reposição das cargas no controlador 1 para diferentes temperaturas.

IES			LSF		
Temperatura (°C)	Tensão (V)		Temperatura (°C)	Tensão (V)	
	desconexão	reposição		desconexão	reposição
5	11,0	11,7	6	11,0	11,7
30	11,0	11,7			

Tabela 4.9 - Tensões de desconexão e reposição da carga no controlador 2 para diferentes temperaturas.

IES			LSF		
Temperatura (°C)	Tensão (V)		Temperatura (°C)	Tensão (V)	
	desconexão	reposição		desconexão	reposição
6	11,3	12,0	6	11,2	11,9
30	11,3	12,0			

Comentário:

De igual forma que no caso anterior, nota-se que ante a mudança da temperatura para ambos controladores a tensão ficou praticamente fixa, com o qual verifica-se que o controlador não faz nenhuma correção por mudança de temperatura.

• **Queda de tensão**

As quedas de tensão, tabelas 4.10 e 4.11, foram medidas durante os processos de carga e descarga similares aos antes realizados, mas com diferentes correntes.

Tabela 4.10 - Queda de tensão do controlador 1.

Laboratório	Tensão (V) no terminal do		Queda de tensão (V)		Condição
	Gerador FV / acumulador	Acumulador / cargas	Gerador FV / acumulador	Acumulador / cargas	
IES	12,04/11,93	13,47/13,37	0,9%	0,7%	Carga e descarga de 3A
LSF	12,18/12,01	11,97/11,91	1,3%	1,0%	Carga de 5A e uma descarga de 3A

Tabela 4.11 - Queda de tensão do controlador 2.

Laboratório	Tensão (V) no terminal do		Queda de tensão (V) entre ...		Condição
	Gerador FV / acumulador	Acumulador / cargas	Gerador FV / acumulador	Acumulador / cargas	
IES	12,43/12,30	11,55/11,34	1,0%	1,8%	Carga de 4 A e descarga de 6A
LSF	12,08/11,94	12/11,94	1,2%	1,0%	Carga de 5A e uma descarga de 3A

Comentário:

Como pode-se notar, nos valores obtidos, para os casos ensaiados, as medidas não foram feitas para as mesmas correntes, porém, como a queda da tensão é proporcional à resistência das conexões e a corrente que circula por ela, pode-se calcular com os resultados das tabelas 4.10 e 4.11 a queda máxima que se atingirá com uma corrente, por exemplo, de 11 A, cálculos que aparecem na tabela 4.12.

Tabela 4.12. Cálculo da queda de tensão para uma corrente de 11 A.

Laboratório	Controlador 1		Controlador 2	
	Gerador FV / acumulador	Acumulador / cargas	Gerador FV / acumulador	Acumulador / cargas
IES	3,3%	2,6%	2,8%	3,3%
LSF	2,9%	3,7%	2,6%	3,7%

Como se observa a diferença em todos os casos é menor que 1%.

**4.1.2.2. Fonte como acumulador**

Para este ensaio a fonte atuou como fonte de tensão, portanto, a fonte forneceu unicamente a corrente consumida pelas cargas e pelo controlador.

Seguindo o mesmo procedimento descrito no capítulo III se mediu, sem maiores problemas, as tensões de desconexão e reposição das cargas. No entanto, as tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV não foram possíveis de serem medidas devido a que uma vez atingida a tensão de fim de carga, o controlador não fazia a desconexão da fonte, ou seja,

iniciava a etapa de flutuação. Inclusive a tensão podia seguir sendo incrementada sem nenhuma atuação do controlador dando a impressão que este estava “travado”.

Apenas quando se desligou e se ligou novamente a fonte a uma tensão maior que 14 V é que o controlador entrou na etapa de flutuação, mas os valores medidos não guardavam coerência. Razão pela qual se eliminou este procedimento para a medida destas tensões.

- **Tensões de desconexão e reposição das cargas dos controladores 1 e 2 para diferentes temperaturas**

A seguir, nas tabelas 4.13 e 4.14 são apresentados os resultados dos ensaios realizados sobre os controladores 1 e 2 com o uso da fonte para definir as tensões de desconexão e reposição das cargas para diferentes temperaturas.

Tabela 4.13 - Fonte como acumulador para medir as tensões de corte e reposição das cargas do controlador 1.

IES			LSF		
Temperatura (°C)	Tensão (V)		Temperatura (°C)	Tensão (V)	
	desconexão	reposição		desconexão	reposição
6	11,0	11,7	6	11,0	11,7
30	11,0	11,8			

Tabela 4.14 - Fonte como acumulador para medir as tensões de corte e reposição das cargas do controlador 2.

IES			LSF		
Temperatura (°C)	Tensão (V)		Temperatura (°C)	Tensão (V)	
	desconexão	reposição		desconexão	reposição
5	11,2	12,0	6	11,2	11,9
30	11,2	12,0			

Comentário:

Neste caso, nota-se que os resultados obtidos são praticamente idênticos aos obtidos usando o procedimento anterior de descarga e carga do acumulador. As diferenças na realidade se dão na segunda casa decimal.

- **Autoconsumo**

Os resultados das medidas do autoconsumo são apresentados na tabela 4.15 para ambos laboratórios.

Tabela 4.15 - Medidas do autoconsumo dos controladores 1 e 2 em ambos laboratórios.

Tensão (V)	Controlador 1		Controlador 2	
	IES	LSF	IES	LSF
	Corrente (mA)	Corrente (mA)	Corrente (mA)	Corrente (mA)
12,0	4	3	3	4
12,5	5	4	3	4
13,0	6	4	3	5
14,0	7	6	4	7
15,0	14	11	15	12

Comentário:

Da mesma forma como nos casos anteriores, também neste caso nota-se que as diferenças entre as medidas encontradas entre os diferentes laboratórios não é significativa para tensões pequenas, mas sim para tensões maiores. Em todo caso, para cada uma das tensões, a avaliação do autoconsumo daria o mesmo resultado.

## 4.2. Inversor CC/CA

Os ensaios foram realizados seguindo o procedimento descrito na seção 3.4.2 da presente dissertação com a finalidade de medir a distorção harmônica, o autoconsumo, a tensão de desconexão e reposição das cargas e calcular a eficiência, a estabilidade da tensão de saída e da frequência do inversor.

A aplicação do procedimento foi realizada para as duas opções propostas para mostrar as diferenças que existem entre eles.

Na tabela 4.16 se mostram as características técnicas dos inversores indicadas pelo fabricante.

Tabela 4.16 - Características técnicas dos inversores.

<b>Descrição</b>	<b>Característica</b>
Tensão de saída em CA (nominal)	110 V
Faixa de tensões de entrada em CC	10 – 15 V
Potência à saída CA durante 30 minutos	150 W
Potência à saída contínua	120 W
Máxima potência CA de surto à saída	300 W
Frequência CA à saída	60 ± 4%
Forma de onda CA à saída	Quadrada modificada
Autoconsumo (a 12 V à entrada)	0,15 A
Eficiência (máxima)	90%
Faixa de temperatura ambiente de operação	0 – 40 °C
Tensão de alarme por baixa carga no acumulador (nominal)	10,7
Tensão de desligamento por baixa carga no acumulador (nominal)	10,0
Tensão de desligamento por alta tensão do acumulador (nominal)	15,0

#### 4.2.1. Instrumentos de medição e aparelhos

##### 4.2.1.1. Instrumentos de medição

	IES			LSF		
	Fabricante	Modelo	Descrição	Fabricante	Modelo	Descrição
Multímetro	Wavetek	2005	1000 V – 10 A	Fluke	87	1000 V – 10 A
Osciloscópio	Fluke	105B Serie II	600 V	Fluke	105B Serie II	600 V
Analizador de Harmônicos	Medida feita através dos terminais do osciloscópio e calculado mediante um programa da Fluke			Fluke	41B	Até 31 <sup>a</sup> harmônica
Amperímetro	Optoisolador sem marca nem modelo		Ganho 100	LEM	PR30	0 – ± 30 A

##### 4.2.1.2. Aparelhos

	IES			LSF		
	Fabricante	Modelo	Descrição	Fabricante	Modelo	Descrição
Acumulador	Hoppecke	Solar	70 Ah - 10 horas	Moura	MP100HE	105 Ah - 20 horas
Fonte	Avisor			Kepco	BOP36-12M	0 – ± 36V / 0 – ± 12 A
Shunt			30A - 150 mV	Shunt		10 A - 60 mV

#### 4.2.2. Resultados

##### 4.2.2.1. Instituto de Energia Solar

- **Eficiência e variação da tensão à saída do inversor**

Nas figuras 4.3 e 4.4 são apresentadas as curvas de eficiência e estabilidade de tensão do inversor 1 para diferentes potências e tensões obtidas através do uso de uma fonte e um acumulador, respectivamente.

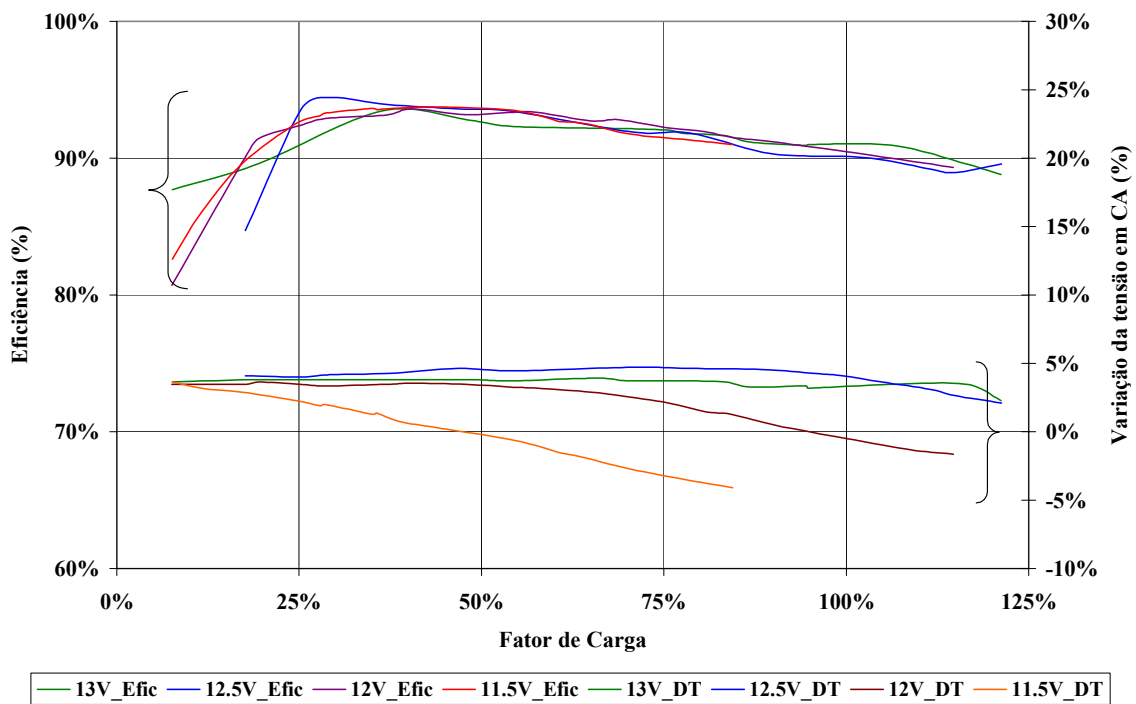


Figura 4.3. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 usando uma fonte.

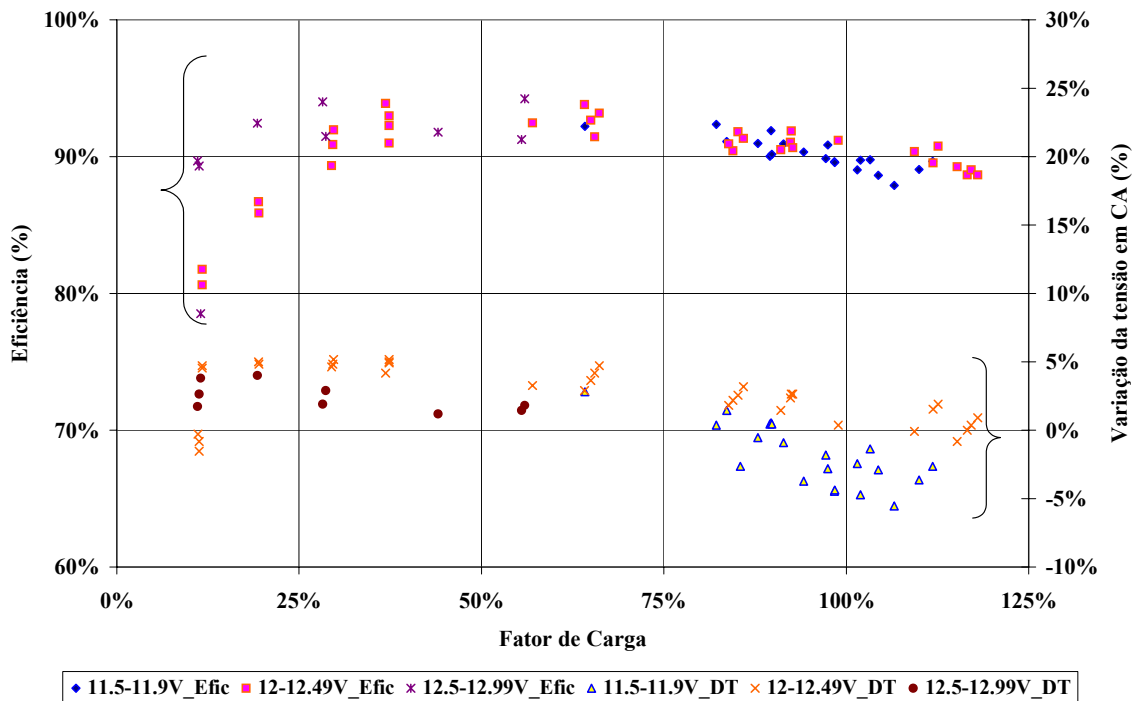


Figura 4.4. Pontos de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 usando um acumulador.

Da mesma forma, nas figuras 4.5 e 4.6 são apresentadas as mesmas medidas para o inversor 2.

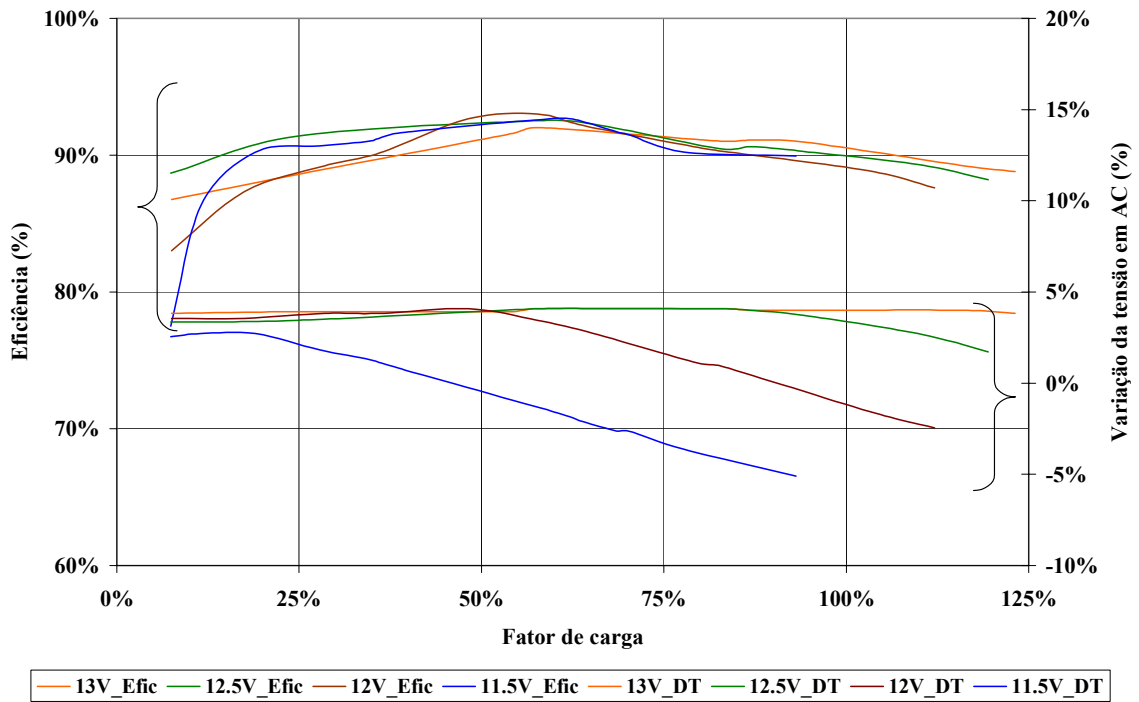


Figura 4.5. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 medidas usando uma fonte.

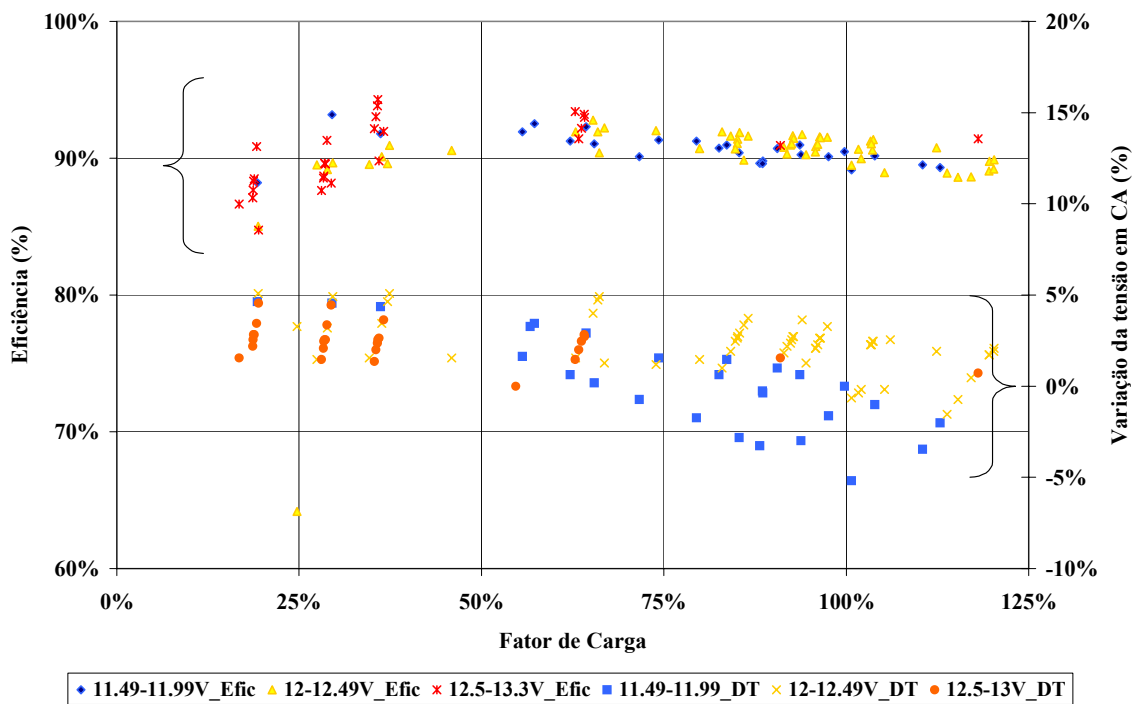


Figura 4.6. Pontos de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 medidos usando um acumulador.



Comentário:

Dos gráficos apresentados nas figuras 4.3 a 4.6, pode-se notar que com ambas opções sugeridas para a medida da eficiência e a variação da tensão dos inversores se obtém a mesma informação.

- **Tensões de desconexão e reposição das cargas**

Neste caso, as tensões de desconexão e reposição que se apresentam, nas tabelas 4.17 e 4.18, foram medidas usando somente uma fonte.

Tabela 4.17 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do Inversor 1.

Tensão (V)		
De alarme	De desconexão	De reposição
10,7	10,1	12,0

Tabela 4.18 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do inversor 2.

Tensão (V)		
De alarme	De desconexão	De reposição
10,5	10,4	11,8

- **Componentes em corrente contínua e alternada**

Os valores medidos da componente de corrente contínua na linha alternada em ambos inversores não foram significativos para serem abordados. No entanto, a componente da corrente alternada (Cca) na linha contínua atingiu valores importantes, os quais se mostram nas tabelas 4.19 e 4.20 dos inversores 1 e 2 respectivamente.

Tabela 4.19 - Componente alternada na linha contínua do inversor 1.

Tensão (V)	I <sub>consumo</sub> (A)	Cca (A)	Cca/I <sub>consumo</sub> (%)
13	12,4	1,3	10%
13	9,8	1,1	11%
13	7,0	0,8	11%
13	3,8	0,6	17%
13	2,0	0,4	19%
13	0,8	0,1	18%
12	6,8	0,7	10%
12	4,0	0,4	10%
12	2,2	0,2	10%
12	1,0	0,1	9%

Tabela 4.20 - Componente alternada na linha contínua do inversor 2.

Tensão (V)	I <sub>consumo</sub> (A)	Cca (A)	Cca/I <sub>consumo</sub> (%)
13	9,6	1,0	10%
13	7,0	0,7	10%
13	3,8	0,6	17%
13	2,0	0,4	19%
13	0,8	0,1	14%
12	6,8	0,6	9%
12	4,0	0,3	7%
12	2,2	0,1	6%
12	0,8	0,03	4%

Comentário:

Como pode-se notar, ambos os inversores apresentam algumas variações nas respectivas percentagens das componentes de corrente contínua. A diferença máxima entre os valores encontrados é de 5%.

- **Outros parâmetros**

Os parâmetros que a seguir se mencionam não apresentam mudanças significativas em seus valores durante os ensaios, tanto com uso da fonte quanto com o uso de um acumulador, por esta razão na tabelas 4.21 se menciona o valor ou a faixa de valores correspondente a cada parâmetro.

Tabela 4.21. Parâmetros elétricos diversos dos inversores 1e 2

	Inversor 1	Inversor 2
Autoconsumo (W) / Fator de carga (%)	1,0 – 2,5 / 1% - 2%	1,0 – 2,1 W / 1% - 2%
Frequência (Hz) / mudança máxima (%)	60,1 – 60,5 / 0,8%	59,7 – 59,8 / 0,4%
Distorção harmônica total	27,8 – 33,5%	27,9 – 33,7%

#### 4.2.2.2. Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

- **Eficiência e variação da tensão à saída do inversor**

Nas figuras 4.7 e 4.8 são apresentadas as curvas de eficiência e de queda de tensão do inversor 1 para diferentes potências e tensões obtidas através do uso de uma fonte e um acumulador de carga, respectivamente.

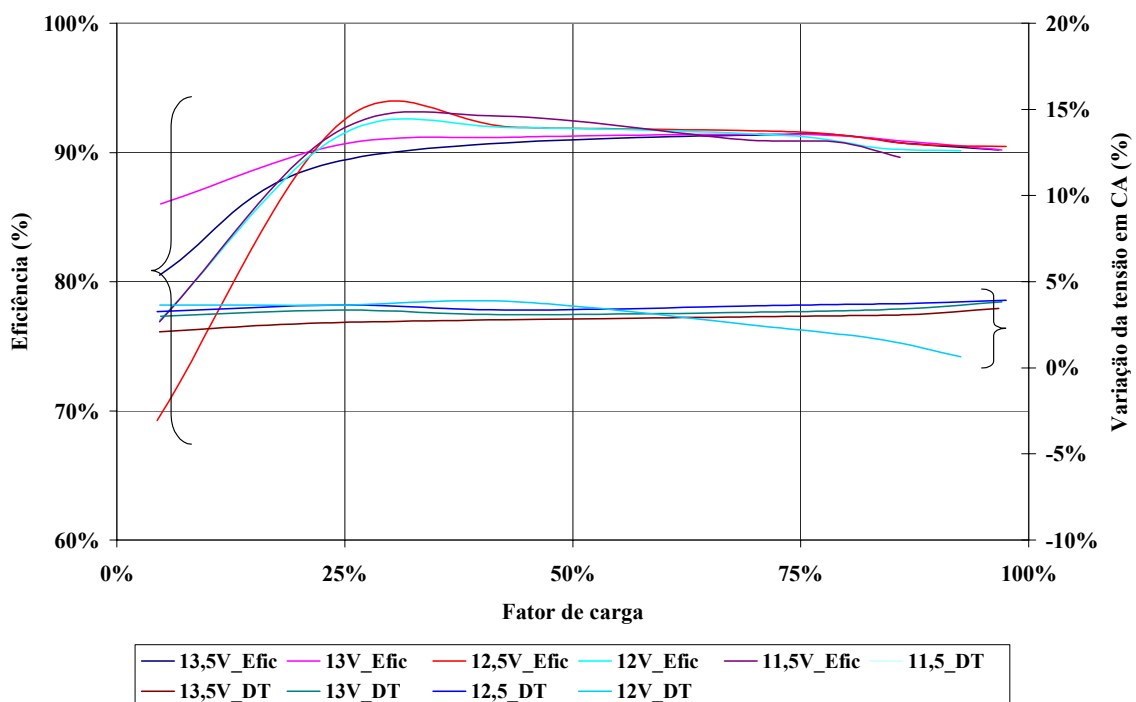


Figura 4.7. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 com uso de fonte.

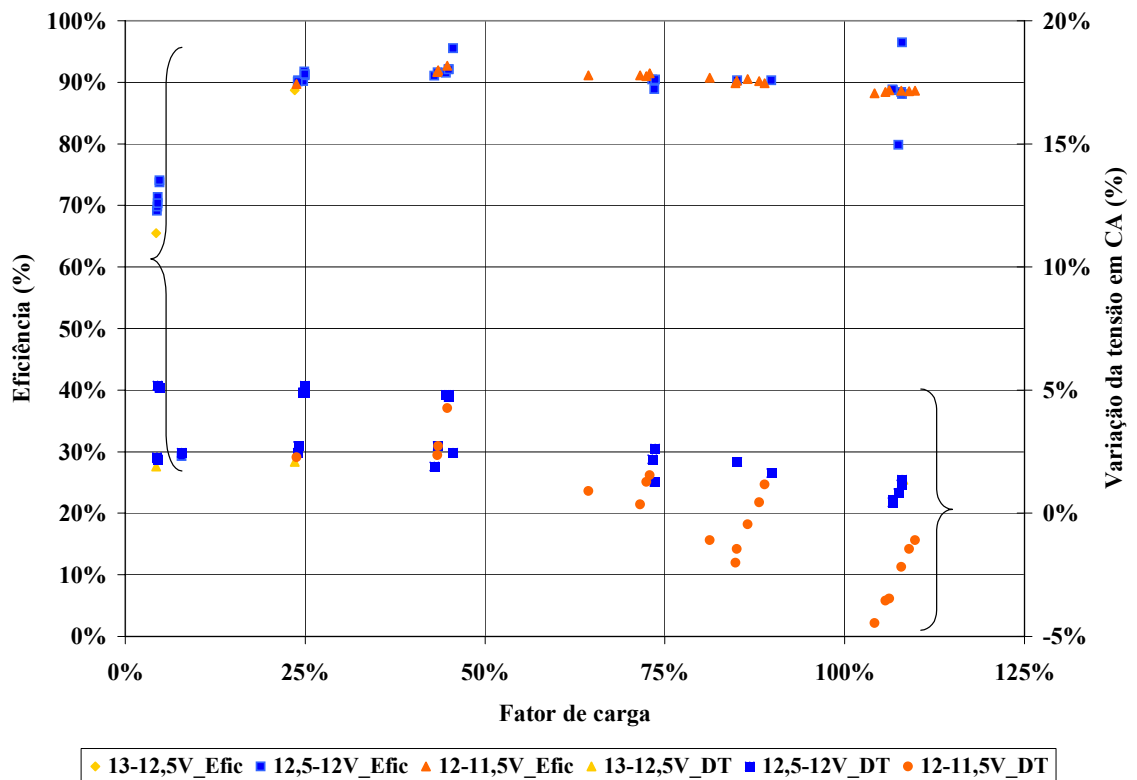


Figura 4.8. Pontos de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 1 com uso de acumulador.

Da mesma forma, nas figuras 4.9 e 4.10 são apresentadas as mesmas medidas para o inversor 2.

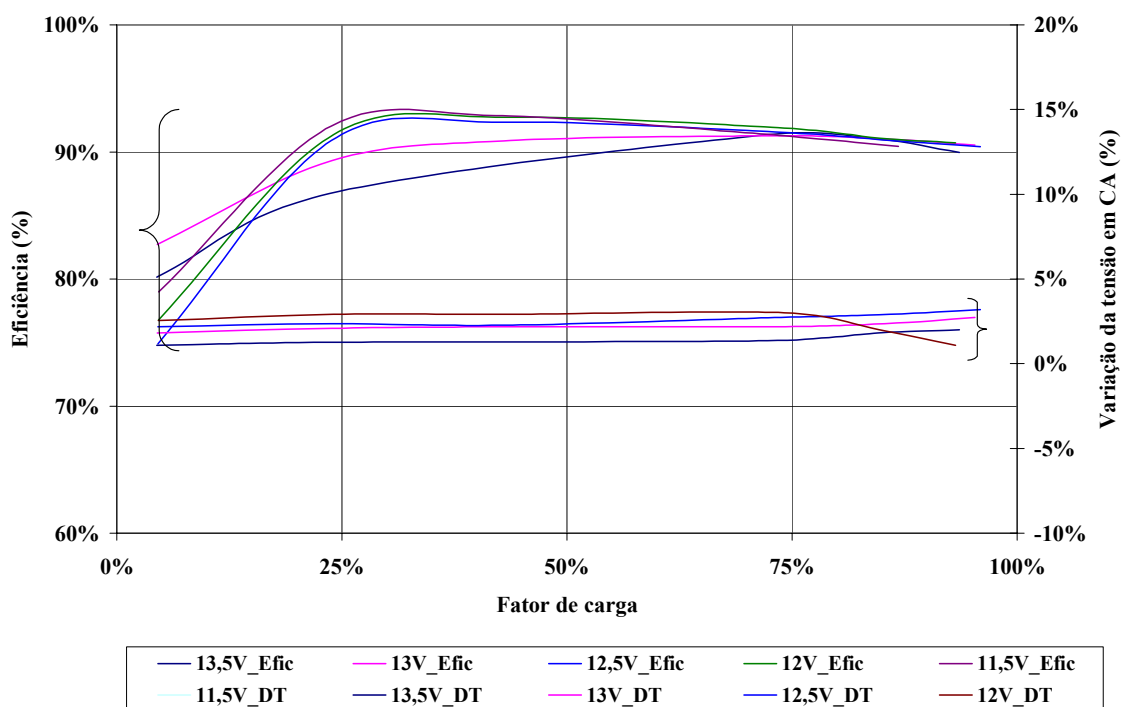


Figura 4.9. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 com uso da fonte.

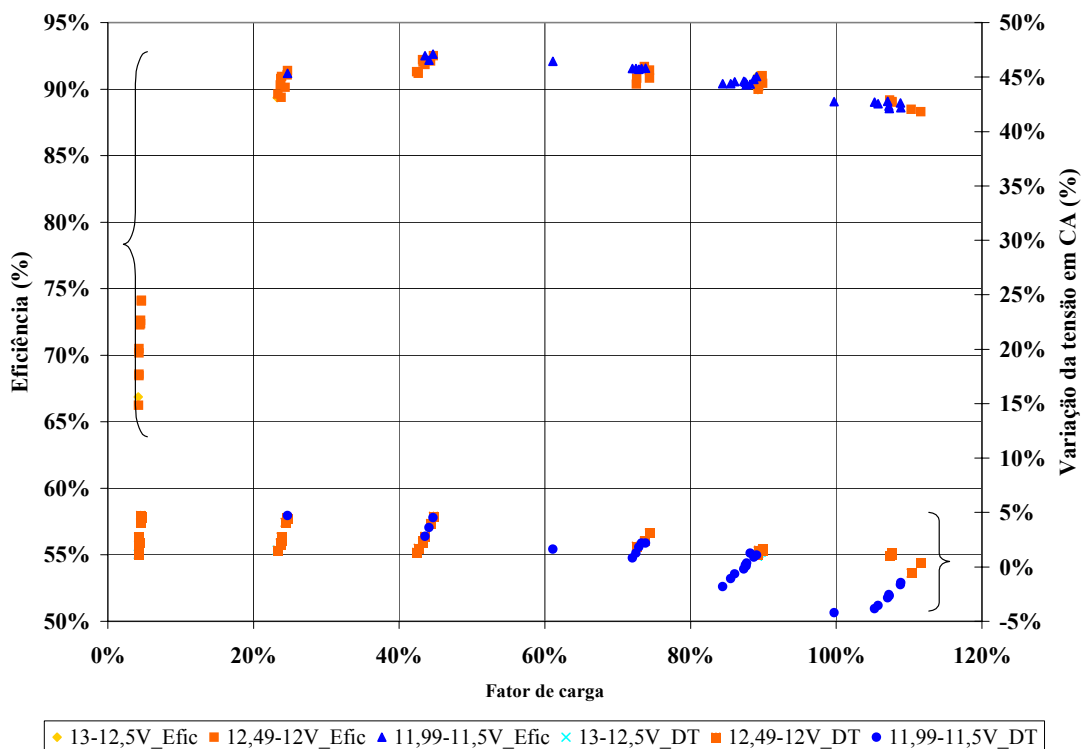


Figura 4.10. Curvas de eficiência e variação da tensão para diferentes fatores de carga e tensões de entrada do inversor 2 com uso de acumulador.

Comentário:

Igualmente como as experiências realizadas no IES, no LSF se repetem os resultados com as duas modalidades de medição. No entanto, quando se comparam os resultados obtidos em ambos laboratórios tem-se que, em ordens de magnitude os valores da eficiência são bastante similares entre si, mas comparando as variações da tensão nota-se que as diferenças nas medidas chegam a ser de até 5%, diferença que se mantém inclusive ao medir com um acumulador de carga. Esta diferença pode ser ou devido à diferença de impedância das cargas usadas em ambos laboratórios, pois, no IES usaram-se cargas de 220 V e no LSF cargas de 110 V, ou pelas diferenças próprias dos instrumentos de medição ou das fontes.

• **Tensões de desconexão e reposição das cargas**

Da mesma forma que no caso do IES, no LSF se encontrou as tensões de desconexão e reposição com uma fonte, os resultados são apresentados nas tabelas 4.22 e 4.23.

Tabela 4.22 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do Inversor 1.

Tensão (V)		
De alarme	De desconexão	De reposição
10,8	10,1	12,0

Tabela 4.23 - Tensões de alarme, de desconexão e reposição do inversor 2.

Tensão (V)		
De alarme	De desconexão	De reposição
10,6	10,5	11,8

Comentário:

Como nos outros casos as tensões encontradas são bastante semelhantes às encontradas no IES, as diferenças são atribuídas aos próprios erros da medida, também podem estar associados a rapidez com que se fez a medida dado que o inversor ao chegar à tensão de alarme emitia um ruído bastante incomodo.

• **Componentes em corrente contínua e alternada**

Assim como no caso do IES, no LSF a componente da corrente contínua na linha alternada não apresentam valores significativos, somente no caso da componente da corrente alternada, cujo valores são apresentados nas tabelas 4.24 e 4.25 para os inversores 1 e 2 respectivamente.

Tabela 4.24 - Componente alternada na linha contínua do inversor 1.

Tensão (V)	$I_{\text{consumo}}$ (A)	Cca (A)	$Cca/I_{\text{consumo}}$ (%)
13	11,0	1,4	12%
13	10,3	1,3	13%
13	8,2	1,1	13%
13	5,8	0,7	12%
13	3,2	0,7	22%
13	1,7	0,3	19%
13	0,7	0,1	8%
12	5,5	0,7	13%
12	3,3	0,4	11%
12	1,8	0,3	14%
12	0,8	0,1	13%

Tabela 4.25 - Componente alternada na linha contínua do inversor 2.

Tensão (V)	I <sub>consumo</sub> (A)	Cca (A)	Cca/I <sub>consumo</sub> (%)
13	8,2	1,0	12%
13	5,8	0,7	12%
13	3,2	0,6	20%
13	1,7	0,4	23%
13	0,7	0,1	17%
12,0	5,7	0,6	11%
12,0	3,3	0,3	8%
12,0	1,8	0,1	7%
12,0	0,7	0,03	5%

Comentário:

Comparando os resultados obtidos no IES e no LSF, observa-se que as diferenças encontram-se entre 2 e 3%, no máximo.

• **Outros parâmetros**

Igualmente que no IES, no LSF os demais parâmetros não apresentaram mudanças significativas em seus valores durante os ensaios, tanto com uso da fonte quanto com o uso de um acumulador, por esta razão na tabela 4.26 se menciona o valor ou a faixa de valores de cada parâmetro.

Tabela 4.26 - Parâmetros elétricos diversos do inversor 1 e 2.

	Inversor 1	Inversor 2
Autoconsumo (W) / Fator de carga (%)	1,1 – 2,4 / 1% - 2%	1,0 – 2,5 W / 1% - 2%
Frequência (Hz) / mudança máxima (%)	59,9 – 60,2 / 0,3%	59,5 – 60,0 / 0,1%
Distorção harmônica total	27,1 – 27,4%	27,9 – 32,7%

Comentários:

Os resultados demonstram, mais uma vez, que as medidas realizadas em ambos laboratórios são muito parecidas entre si. Na maioria dos casos a diferença se produz na primeira casa decimal e em outros no último algarismo significativo, o que torna irrelevante a avaliação final destes parâmetros.

### 4.3. Requisitos mínimos para desenvolver os ensaios

Em termos gerais, os principais fatores envolvidos nos ensaios são a exatidão, a precisão, a resolução e o número de casas decimais, cujas definições abordadas por Medeiros Filho (1979) são sucintamente colocadas a seguir:

- A exatidão. Característica própria do instrumento de medição, a forma como foi projetado e construído, que exprime o afastamento entre a medida nele e o valor de referência aceito como verdadeiro. Os erros sistemáticos é que definem se um instrumento é mais exato ou menos exato que outro.
- A precisão. Característica de um instrumento de medição, determinada através de um processo estatístico de medições, que exprime o afastamento mútuo entre as diversas medidas obtidas de uma grandeza dada, em relação à média aritmética dessas medidas.
- A resolução. Menor incremento que se pode assegurar na leitura de um instrumento, o que corresponde à menor divisão marcada na escala do instrumento.
- O número de casas decimais. Número de dígitos decimais que podem ser lidos com o instrumento de medição.

Por outro lado, tem-se que cada componente, por sua vez, possui uma serie de parâmetros e figuras de mérito que caracterizam seu funcionamento (por exemplo, corrente, tensão, queda de tensão, eficiência e outros). Alguns destes requerem, para sua medida, uma maior precisão que outros, isto devido principalmente pela ordem de grandeza destes. Razão pela qual, a seguir, se apresenta uma análise da precisão mínima requerida para avaliação dos parâmetros e as figuras de mérito mais críticas, com o qual os demais parâmetros<sup>63</sup> poderão ser medidos com a suficiente comodidade.

Finalmente se mostra uma comparação entre a precisão mínima requerida para a medida dos parâmetros e a exatidão dos instrumentos usados, para desta forma mostrar a folga que se teve teoricamente nas avaliações realizadas.

#### 4.3.1. Requisitos mínimos

Os parâmetros elétricos e as figuras de mérito mais críticas são as seguintes:

---

<sup>63</sup> Considerar que na realidade não existirá um instrumento para medir um único parâmetro, senão, um mesmo instrumento para medir uma serie deles.



- **Correntes no controlador**

O autoconsumo máximo dos controladores especificado é de 10 mA (0,01A), porém, para medi-lo é necessário obter este valor com duas casas decimais, no mínimo.

Em relação à resolução, note-se que como as medidas se realizarão na segunda casa decimal, será preciso que o instrumento tenha uma resolução mínima de  $\pm 0,001$  A.

Em relação à precisão, o máximo valor da corrente de um SFD de 500 W estará em volta dos 20 A, portanto, será necessário que a precisão esteja em torno de  $\pm 1\%$ .

- **A queda de tensão nos controladores**

Na especificação correspondente se menciona que a queda de tensão não deverá ser maior que 4%, o que significa, por exemplo, que a uma tensão em corrente contínua de 14,00 V e para uma corrente dada, a queda de tensão máxima aceitável seria de 0,56 V, isto por sua vez significa que não deverá ser menor que 13,44 V.

Se o instrumento permite a leitura das medidas com uma casa decimal, se leria 13,4 V, com o qual a queda de tensão calculada seria de 4,3%, valor superior ao especificado, mas se a leitura se faz com duas casas decimais a queda de tensão resultaria em 4,0% com o qual o resultado será mais preciso. Portanto, para a medida da queda de tensão se faz necessário medir com um instrumento com duas casas decimais.

Quanto à resolução, se esta é de 0,01V, se teriam valores tais como 13,45 ou 13,43 V, os quais equivalem a 3,9% e 4,1% respectivamente. Sendo o último dos valores ligeiramente superior ao limite especificado, o componente não passaria na avaliação, então, se deveria ir a resoluções maiores, mas com isto as possibilidades do universo de instrumentos de medida se veriam diminuídos substancialmente, por esta razão, recomenda-se indicar para esta medida uma resolução tal como  $\pm 0,01$  V e arredondando a percentagem para número inteiro.

Em relação à precisão, se esta for de  $\pm 0,5\%$ , as tensões variariam entre 13,51 e 13,37 V, o qual equivale a uma queda de tensão de 3,5% e 4,5%, mudando este valor a 0,1%, as tensões e quedas de tensão equivalem a 13,45, 13,43 e 3,9% e 4,1% respectivamente. Portanto, com o mesmo critério do caso anterior, a precisão deverá ser pelo menos de  $\pm 0,1\%$ .

Da mesma forma avaliando para uma tensão, tal como 28 V, têm-se valores semelhantes para a precisão.

- **O autoconsumo do inversor**

De um lado, o autoconsumo do inversor, como foi estabelecido na especificação respectiva no capítulo I, deverá ser menor que 3% da potência nominal do inversor, o qual significa que para um inversor com potência de 500 W seu autoconsumo máximo deverá ser de 16,7 W considerando uma eficiência de 95%, portanto, a necessidade de que o instrumento de medição permita a leitura da medida com uma casa decimal e uma resolução de 0,01 para a corrente e tensão.

Por outro lado, considerando uma precisão de tensão de  $\pm 0,1\%$  e de corrente de  $\pm 1\%$ , o valor máximo do autoconsumo, para as condições anteriormente mencionadas, será de 16,8 W. Portanto, para a medida desta figura de mérito torna-se suficiente manter estes patamares de precisão para a medida dos parâmetros mencionados.

- **A eficiência do inversor**

Da mesma forma que no caso anterior, tem-se que a eficiência se define como a divisão da potência em CA pela potência em CC.

A eficiência especificada para o inversor se encontra acima de 80%, analisando para um inversor de 500 W, uma tensão nominal de 110 V em CA e, portanto, uma corrente máxima de 4,5 A se teria, seguindo o mesmo procedimento de análise mostrado anteriormente, o seguinte:

Que a medição da tensão deverá ter, pelo menos, a possibilidade de medir a tensão com uma casa decimal, com uma resolução de 0,01V e uma precisão de  $\pm 1\%$ . Enquanto a medida da corrente igualmente deverá ser feita com uma casa decimal, uma resolução de 0,01A e uma precisão de  $\pm 1,5\%$ .

- **Fator de correção da tensão por temperatura no controlador**

Dado que o fator de correção especificado está entre -3 e -5 mV/°C-elemento e assumindo que o acumulador é formado por 6 elementos e que se produz uma variação da temperatura de até 10 °C, se teria que o fator fica entre -180 e -300 mV (-0,18 e -0,3V).

Valores que se parecem muito aos encontrados para a queda de tensão, portanto, são necessários os mesmos requisitos para o medidor de tensão.

#### **4.3.2. Comparação da instrumentação usada e a requerida**

Na tabela 4.27, são apresentados os parâmetros que deverão ser medidos na avaliação dos componentes e a comparação entre as características dos dispositivos de medição usados durante os ensaios em ambos laboratórios e os requeridos. Evidentemente, tal como foi definido anteriormente, a exatidão não é igual à precisão, mas entende-se que para conseguir medir um determinado parâmetro com a melhor qualidade possível será necessário que a exatidão seja maior que a precisão.

Como pode-se notar, todos os parâmetros foram medidos com instrumentos de medida que excediam facilmente os requerimentos mínimos a exceção da temperatura, a qual foi medida no IES com uma resolução insuficiente para a medida da temperatura de um objeto, mas suficiente para saber se o controlador faz alguma correção por temperatura.

Tabela 4.27 - Comparação das características da instrumentação usada nos laboratórios e a mínima requerida.

	Parâmetro	IES			LSF			Requerido		
		Casas	Resolução	Exatidão	Casas	Resolução	Exatidão	Casas	Resolução	Precisão
Fluke	Tensão CC - Controlador	2	0,1 mV	0,05%	2	0,1mV	0,05%	1	0,01V	0,5%
	Queda de tensão	3	0,1 mV	0,05%	3	0,1mV	0,05%	1	0,01V	0,1%
	Corrente em CC <sup>(*)</sup>	2	0,1 mV	0,05%	2	0,1mV	0,05%	1	0,01V	1%
	Autoconsumo-corrente <sup>(*)</sup>	3	0,1mV	0,05%	3	0,1mV	0,05%	2	0,001V	1%
Wate-vek	Tensão CC – Luminária, inversor	2	0,1mV	0,25%				1	0,01V	0,5%
	Autoconsumo-corrente <sup>(*)</sup> - inversor	3	0,1mV	0,25%				2	0,001V	1%
	Temperatura <sup>(**)</sup>	0	2 °C	---	1	0,1mV	3%	1	0,1°C	4%
	Tensão em CA	2	0,1mV	0,7%	2	0,1mV	1%	1	0,01V	1,5%
	Corrente em CA	2		500 mV	1	1mA	1%	1	0,01A	1,5%
	Frequência	2	0,1Hz	0,5%	1	0,1Hz	0,5%	1	0,1Hz	1%
	THD-F (***)	2	0,1mV	0,7%	0	0,03%	2%	0	1%	5%

<sup>(\*)</sup> Em ambos laboratório se mediu indiretamente este parâmetro mediante um “shunt”, o qual tipicamente tem uma exatidão em volta de  $\pm 0,2\%$ .

<sup>(\*\*)</sup> No caso do LSF se usou um multímetro para a leitura, em mV, do valor da temperatura, com o qual a exatidão se reduz a 3,05%.

<sup>(\*\*\*)</sup> No caso do IES, o THD foi medido mediante um osciloscópio e calculado mediante um programa da Fluke

## **CAPÍTULO V. Considerações finais**

### **5.1. Conclusões**

1. As propostas de especificações técnicas e de procedimentos de avaliação dos componentes foram desenvolvidas pensando em sua implementação em programas de eletrificação rural, no entanto, estas propostas podem ser adotadas parcialmente ou totalmente para casos mais específicos.
2. A metodologia proposta para a seleção de uma amostra procura servir como uma ferramenta simples, levando em conta, segundo seja o caso específico, os critérios mais adequados ao processo de qualificação de componentes para o uso em SFD.
3. Vinculado à seleção da amostra também é importante sinalizar a necessidade de fazer um seguimento técnico das instalações depois de ser selecionada a amostra para avaliar o plano de amostragem usado.
4. As limitações mais importantes para a implementação dos procedimentos de avaliação estão vinculadas à disponibilidade de instrumentos e aparelhos para desenvolver os ensaios em um tempo determinado, tempo que nos programas de eletrificação rural pode ser curto, se pensar em programas de grande magnitude. As soluções podem ser várias entre as quais tem-se:
  - O incremento da capacidade dos laboratórios existentes para a medição de sistemas fotovoltaicos.
  - Fomento para a criação de um maior número de laboratórios para a avaliação dos sistemas fotovoltaicos.
  - Criação de um programa, tal como de etiquetagem, para a avaliação previa dos componentes e do sistema fotovoltaico para qualificação do componente e/ou sistema fotovoltaico como “passa” ou “não passa”, o qual facilitaria muita a avaliação dos componentes, especialmente para aqueles casos onde se necessita tempos maiores que dois meses ou ensaiar grandes quantidades de unidades.
5. Um dos parâmetros mais difíceis de ser medido foi a corrente alternada, tanto assim que no caso dos reatores das luminárias se decidiu por não medir mais a eficiência deles porque as medidas da corrente em alta frequência (maior que 20 kHz) com os instrumentos de medição de ambos laboratórios não eram coerentes. No caso dos inversores, também resultou difícil a medição da corrente alternada com o instrumento

disponível, em um caso as medidas foram realizadas através de um shunt e um optoisolador. Em outro caso com uma pinça amperimétrica. Por esta razão, embora alguns fabricantes dos instrumentos de medição declarem em suas especificações técnicas que é possível medir alguns desses parâmetros, recomenda-se verificar previamente os instrumentos mais apropriados existentes nos laboratórios através de ensaios prévios destes parâmetros.

6. É de se ressaltar a importância, na medida do possível, de realizar as medidas dos componentes nas condições mais próximas em que funcionará.
7. Em geral, os resultados das medidas realizadas são bastante similares e as diferenças na maioria dos casos se deu na segunda casa. Nos casos em que isto não ocorreu, estas podem dever-se a diversas causas, entre as quais está a mencionada flutuação do último dígito, por exemplo, no caso da determinação das tensões de desconexão e reposição de carga do gerador FV ou a necessidade de tomar os dados com muita rapidez com o qual se perdeu precisão na leitura das medidas e as próprias variações nas condições de medida (ambientais, calibração do instrumento, etc.) e dos instrumentos de medida usados em ambos laboratórios.
8. As medidas realizadas serviram para comparar os procedimentos alternativos, dando resultados bastante similares, tal como se pode observar com as medidas das tensões de desconexão e reposição das cargas ou na medida das características elétricas do inversor com uso de uma fonte ou um acumulador.

Finalmente, o trabalho apresenta procedimentos simplificados que podem ser reproduzidos e adaptados em laboratórios sem a necessidade de grandes investimentos. Nesse sentido, podem ser implementados por agentes de governo, concessionárias e laboratórios independentes como forma de verificação da qualidade dos componentes ofertados em seus programas de eletrificação rural com SFD. Também merece salientar que os procedimentos propostos apresentaram repetibilidade quando executados em distintos laboratórios.

## **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Como se pode perceber ao longo da presente dissertação existem uma série de temas abertos para serem pesquisados futuramente, tais como:

- Determinar o número de ciclos e sua respectiva profundidade de descarga que deverão ser feitos para formar as placas do acumulador antes de fazer o ensaio de capacidade.

- Fazer um estudo dos tempos mais adequados para a ciclagem das luminárias mediante a comparação do tempo de vida de grupos de luminárias, de distintos fabricantes, submetidos a diferentes tempos de acendimento e desligamento.
- Definir as especificações técnicas e procedimentos de avaliação do fluxo luminoso das luminárias.
- Elaborar as especificações técnicas e procedimentos do módulo fotovoltaico e a avaliação operacional do SFD, como por exemplo, a verificação da disponibilidade energética, Wh/dia, sob determinadas condições de irradiação diária, kWh/m<sup>2</sup>.

## **BIBLIOGRAFIA**

ALONSO García, María del Carmen. **El Generador Fotovoltaico in Serie de Ponencias: Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica.** Tema N° 8. CIEMAT. Madrid, 2000.

ATMARAM, Gobind H; ROLAND, James D. **Quality Improvement of Photovoltaic Testing Laboratories in Developing Countries.** Florida Solar Energy Center. World Bank. Washington D.C, 2001.

BARROS Galhardo, Marcos André; PINHO Tavares, João. **Análise do Desempenho de Inversores de Pequeno Porte com Diferentes Formas de Onda.** 4º Encontro de Energia no Meio Rural – Agrener. Unicamp, 2002.

BOPP, George; GABREL, Hansjörg; PREISER, Klaus; SAUER, Dirk Uwe e SCHIMIDT, Heribert. **Energy Estorage in Photovoltaic Stand-alone Energy Supply Systems.** Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 6, 271 – 291, 1998.

CABRAAL, A.; COSGROVE-DAVIES, M.; SCHAEFFER, L. **Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs.** World Bank Technical Paper N° 324, Washington DC, 1996.

CHAUREY, Akanksha. **The Growing Photovoltaic Market in India.** Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 9, 235 – 244, 2001.

CHENLO, F.; MARTIN, N.; COPETTI, J.; MUKADAM, K.; ZARAGOZA, J. M. **Testing PV Devices for the Community I+D and Demonstration Projects.** 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Lisbon, 1991.

CRUZ Cruz, Ignacio. **Inversores Conectados a Red. Serie de Ponencias: Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica.** Tema N° 10. CIEMAT. 2000.

DÍAZ, José; RAMOS, Rubén; BATISTA, Idelgrade; CAMEJO, José; HERNÁNDEZ, Raúl. **Lecciones del Programa de Electrificación Rural Fotovoltaica en Cuba.** Memorias de la II



Jornadas Iberoamericanas en Energías Renovables Santa Cruz de La Sierra. Bolivia. Maio, 2000.

DIAZ, P.; MUÑOZ, J. **SHS Battery Modelling: Definition, Tests and Validation**. Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 619-622, Munich, 2001a.

DÍAZ, Pablo; LORENZO, Eduardo. **Solar Home System Battery and Charge Regulator Testing**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 9, 363 – 377], 2001b.

DUNLOP, James P. e FARHI, Brian N. **Recommendations for Maximizing life in Photovoltaic Systems: A Review of Lessons Learned. Proceeding of Forum 2001**. Solar Energy: The Power of Choose. Washington DC, 2001.

DURISCH, W.; LEUTENEGGER, S.; TILLE, D. **Comparison of Small Inverters for Grid-Independent Photovoltaic Systems**. Renewable Energy 15, 585-589, 1998.

EUROPEAN COMMISSION. **Universal Technical Standard for Solar Home Systems**. Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.

FALHENBOCK, Bernd; HAUPT, Stefan. **Quality Standards for Solar Home Systems and Rural Health Power Supply**. GTZ, 1998.

GARCÍA R., Félix. **DC Supplied Electronic Ballasts with Fluorescent Lamps for Photovoltaic Applications**. Journal of the Illuminating Engineering Society of North America. Volume 31. Número 1, 2002.

\_\_\_\_\_. **Lifetime Evaluation of DC-Supplied Electronic Ballasts with Fluorescent Lamps for Photovoltaic Applications**. Renewable Energy. 29, 2004.

GUISAN, O.; Mermoud A.; Schaub, P. **PV Module Characteristics in Real Conditions**. 11<sup>th</sup> Photovoltaic Solar Energy Conference. Montreaux, 1992.

HANSEN, Bertrand L.; GHARE, Prabhakar M. **Control de Calidad. Teoría y Aplicaciones**. Ed. Díaz de Santos, S.A. Madrid, 1990.

HAMMER, E. E. **Starting Voltage Comparison with Various Bent Tube Fluorescent Lamps**. Journal of the Illuminating Engineering Society of North America. Vol. 20. Número 1, 1991.

HUACUZ, J.; FLORES, R.; AGREDANO, J. **Field Performance of Lead-acid Batteries in Photovoltaic Rural Electrification Kits**. Solar Energy, 55(4), 287-300, 1995.

IES. **Informe Inverter Test Isofotón/Isoverter**. Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, 2000.

\_\_\_\_\_. **PV Solar Home System Qualification Testing Procedure**. Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, 2001.

JI, Yunfen; DAVIS, Robert; CHEN, Weihong. **An Investigation of the Effect of Operating Cycles on the Life of Compact Fluorescent Lamps**. Journal of the Illuminating Engineering Society of North America. Vol. 28. Número 2, 1999.

JOSSEN, A.; BOSCH, A.; HÖNES, H. P.; KARL, H.; LEHNER, G.; SAUPE, G.; ZAHIR, A. **Battery Control Unit with State of Charge Indicator**. 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Lisbon, 1991.

KIVAISI, R.T. **Installation and use of a 3kWp PV Plant at Umbuji Village in Zanzibar**. Renewable Energy. 19, 2000.

LASNIER, F. e ANG, T.G. **Photovoltaic Engineering Hnadbook**. Adam Hilger, Bristol and New York, 1990.

LORENZO, Eduardo; ARAUJO, Geraldo L.; CUEVAS, Andrés; EGIDO, Miguel Angel; MIÑANO, Juan Carlos; ZILLES, Roberto. **Electricidad Solar. Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos**. Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid. Ed. PROGENSA. Madrid, 1994.

LORENZO, Eduardo. **Photovoltaic Rural Electrification**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 5, 3-27, 1997.

LORENZO, E.; ZILLES, R.; CAAMAÑO-MARTÍN, E. **Cuaderno de Campo de Electrificación Rural Fotovoltaica**. PROGENSA. Sevilla, España. 2001.

MEDEIROS FILHO, Solon de. **Fundamentos de medidas Eléctricas**. Editora Universitária. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1979.

MROHS, Mark. **Training and Photovoltaic Rural Electrification**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 6, 307-313, 1998.

MUÑOZ, J.; LORENZO, E. **Technical Standard for Stand-alone PV Systems Using Inverters**. Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid, 2003. Em revisão.

NARVARTE, Luis. **Hacia un Paradigma de Electrificación Rural Descentralizada con Sistemas Fotovoltaicos**. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid, 2001.

NARVARTE, Luis; MUÑOZ, Javier; LORENZO, Eduardo. **Testing of Fluorescent DC Lamps for Solar Home Systems**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 9, 475-489. 2001.

NIEUWENHOUT, F. D. J.; VAN DIJK, A., VAN DIJK, V.A. P.; HIRSH, D.; LASSCHUIT, P. E.; VAN ROEKEL, G.; ARRIAZA, H.; HANKINS, M.; SHARMA, B. D.; WADE, H. **Monitoring and Evaluation of Solar Home Systems. Experience with applications of solar PV for households in developing countries**. ECN. Setembro, 2000.

NIEUWENHOUT, F. D. J.; VAN DE DIJK, P.J.N.M.; WIGGELINKHUIZEN, E. J.; VAN DER PLAS, R. J. **Rural Lighting Services: A Comparison of Lamps for Domestic Lighting in Developing Countries**. 2<sup>nd</sup> World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, 3086-3089, 1998.

NORMA UL 1741. **Standard for Safety. Inverters, Converters, and Controllers for Use in Independent Power Systems**. Underwriters Laboratories Inc, 2001.

NORMA NBR 6581. **Bateria chumbo-ácido de partida – Verificação das características elétricas e mecânicas**. ABNT, 1990.

GAMA Pereira, Paulo Henrique. **Qualidade da Energia Elétrica. Conservação de Energia: Conservação Energética de Instalações e Equipamentos**. Itajubá, MG: FUPAI, 2001.

PREISER, Klaus; KUHMAN, Jérôme; Parodi, O. **Quality Issues for Solar Home Systems**. 13<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Nice, 1995.

PREISER, K., KUHMAN, J.; BIERMANN, E.; HERBERG, T. **Calidad de los Controladores de Carga en los Sistemas Solares Domésticos**. *Energía y Desarrollo* 12: 2-6, 1998.

PFANNER, N.; ROTH, W.; GERHOLD, V.; VAAPEN, W. **Electronic Ballasts – Important components in Photovoltaically Powered Lighting Systems**. 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Lisbon, Portugal, 2001.

PRESSAS, S. A., MAKIOS, V. **A Reliable Photovoltaic Battery Charge Regulator with Ideal  $V_B$ ;  $I_B$  vs  $t$  Profile**. 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Lisbon, 1991.

RUDELL, A. J.; DUTTON, A. G.; WENZL, H.; ROPETER, C.; SAUER, D.U; MERTEN, J.; OFTANOIANNIS, C.; TWIDELL, J. W.; VEZIN, P. **Analysis of Battery Current Microcycles in Autonomous Renewable Energy Systems**. *Journal of Power Sources*. 112, 2002.

SANTOS, Rosana Rodrigues. **Procedimentos para a Eletrificação Rural Fotovoltaica Domiciliar no Brasil: Uma Contrinuição a partir de Obervações de Campo**. Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2002.

SERPA Noronha, Paulo Marcos. **Eletrificação Fotovoltaica em Comunidades Caiçaras e seus Impactos Socioculturais**. Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2001.

SPIERS, David J.; RASINKOSKI, Asko D. **Predicting the Service Lifetime of Lead/acid Batteries in Photovoltaic Systems**. *Jornal of Power Sources*. 53, 1995.

STRONG, Steven; SCHELLER, William. **The Solar Electric House**. United Estates of America, 1993.

SAUER, Uwe, Dirk; GARCHE, Jürgen. **Optimum Battery Design for Applications in Photovoltaic Systems – Theoretical Considerations**. *Journal of Power Sources*. 95, 2001.

VAN DER PLAS, R.; HANKINS, M. **Solar Electricity in Africa: a reality**. *Energy Policy*. Vol. 26 N° 4, 1998.

VELA, N.; CHENLO, F.; FABERO, F.; IMAMURA, M. S.; WEISS, I. **Batteries for Renewable Energy Applications Project: Present Status and Recent Developments.** 13<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Nice, France, 1995.

VELA Barrionuevo, Nieves. **Acumuladores Electroquímicos in Serie de Ponencias: Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica.** Tema N° 9. CIEMAT. Madrid, 2000.

VINAL Wood, George. **Storage Batteries.** John Wiley & Sons, Inc. Fourth Edition. New York. USA, 1966.

VERVAART, M.R.; NIEUWENHOUT, F. d. J. **Solar Home Systems. Manual for the Design and Modification of Solar Home System Components.** ECN-Netherlands Energy Research Foundation. World Bank. Washington D.C, 2001.

VUOLO, José Henrique. **Fundamentos da teoria de erros.** Edgard Blüncher LTDA. 2.a edição. São Paulo, 1996.

ZILLES, Roberto. **A Diagnosis on the Need to Establish a Technical Requirements Protocol for Home Photovoltaic Systems in Latin America.** Energy for Sustainable Development, volume III, N° 2, Julho, 1996.

ZILLES, Roberto; LORENZO, Eduardo; SERPA, Paulo. **From Candles to PV Electricity: a Four-Year Experience at Iguape – Cananéia, Brazil.** Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 8:421-434, 2000.

# APÊNDICE 1

## PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE ACUMULADORES

A seguinte proposta de ensaio foi elaborada, principalmente, com base na revisão das seguintes documentações: Atmaram e Ronald (2001); NBR 6581 e Vela (2000).

### 1. Ensaio de durabilidade

Defina-se a durabilidade do acumulador como o número de ciclos mínimos durante os quais o acumulador deverá fornecer mais do 80% de sua capacidade inicial.

#### 1.1. Instrumentação

Item	Descrição	Qtd.	Capacidade	Precisão	Resolução
1	Voltímetro	1	30 V	$\pm 0,5\%$	Uma casa decimal
2	Amperímetro	1	10 A	$\pm 0,1\%$	
3	Termômetro	1	100°C	$\pm 2^\circ\text{C}$	

#### 1.2. Aparelhos e componentes

Item	Descrição	Qtd.	Observações
1	Acumulador de carga	1	De ensaio
2	Carga		Equivalente ao regime de descarga especificado.
3	Fonte	1	Da capacidade adequada em corrente e tensão
4	Banho termostaticado	1	Dispositivo que deve manter a bateria a uma temperatura determinada $\pm 2^\circ\text{C}$
5	Sistema de aquisição de dados	1	

### 1.3. Configuração dos dispositivos para o ensaio

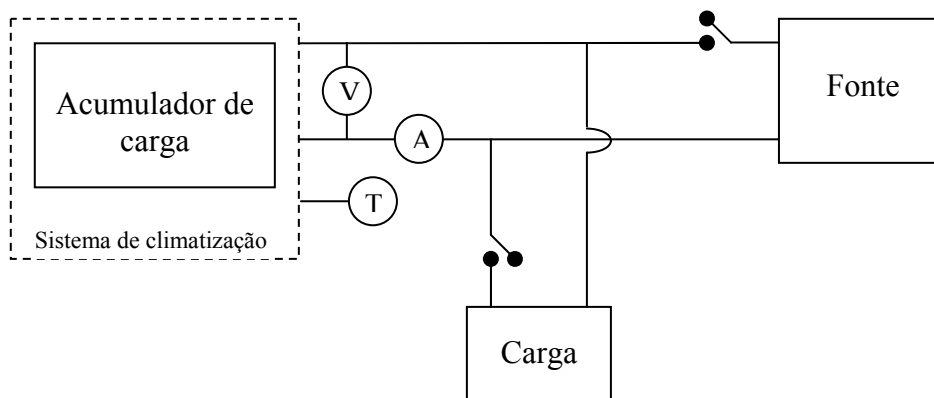


Figura A.1. Configuração dos aparelhos e instrumentação para o ensaio de durabilidade.

### 1.4. Procedimento de ensaio

- Aquecer o banho termostaticado até 25 °C.
- Seguindo a configuração da figura A.1, introduzir o acumulador no banho até que o topo da caixa esteja 25 mm acima do nível de água contida no tanque. Se mais de uma bateria for colocada no mesmo tanque, manter uma distância mínima de 25 mm entre elas. As distâncias entre as baterias e as paredes laterais do tanque devem ser também de 25 mm, no mínimo.
- Acondicionar o acumulador durante 12 horas
- Medir a capacidade do acumulador seguindo o procedimento descrito no ponto 3.1.3.2, tirar o acumulador do banho.
- Aquecer o banho até 58 °C, colocar novamente durante 12 horas o acumulador dentro do banho.
- Descarregar o acumulador a uma corrente equivalente ao regime de descarga especificado até chegar a uma tensão equivalente aos 80% do estado de carga<sup>64</sup>. Deixar o acumulador repousando durante 2 horas.
- Carregar o acumulador a uma corrente equivalente ao regime de descarga especificado até chegar a uma tensão de 2,27 V/elemento. Carregar a tensão constante de 2,27 V/elemento até repor os Ah extraídos na descarga. Deixar o acumulador repousando durante 2 horas.
- Registrar toda a informação dos processos de carga e descarga através de um sistema de aquisição de dados.
- Repetir o último processo de descarga e de carga a 58°C em 39 oportunidades a mais.

<sup>64</sup> Valor da tensão correspondente aos 20% do tempo de descarga.

- Tirar o acumulador do banho, diminuir a temperatura do banho até 25 °C.
- Repetir o procedimento de ensaio para determinar a capacidade do acumulador.
- A capacidade obtida deverá ser maior que 80% da capacidade inicialmente medida.