

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E DE COMPUTAÇÃO

**SISTEMA INTEGRADO PARA GESTÃO DE  
ENVELHECIMENTO ACELERADO EM BATERIAS**

Autor:

---

Renato Luiz Alves Tavares

Orientador:

---

Prof. Marcelo Martins Werneck, Ph. D.

Orientador:

---

Cesar Cosenza de Carvalho, D. Sc.

Examinador:

---

Prof. Joarez Bastos Monteiro, D. Sc.

Examinador:

---

Geraldo Bieler, Eng.

Fevereiro de 2011

# Agradecimentos

Agradeço a todos que me ajudaram, direta ou indiretamente, em todas as fases de minha vida universitária até então:

À minha mãe, Joseli, por seu inestimável suporte, material e espiritual. Sem os seus muitos sacrifícios, hoje o sonho, materializado neste documento, jamais se realizaria;

Ao meu pai, Antonio, cujo exemplo e memória me renovam as forças e o ânimo para continuar lutando, sempre;

Ao meu irmão Rodrigo, pela força e fé sempre depositadas em minha capacidade;

À minha noiva, Larissa, por seu carinho e compreensão nos muitos difíceis momentos que passamos nesses anos enquanto universitários;

Aos meus orientadores, Cesar Cosenza e Marcelo Werneck, pelo incentivo ao longo da realização do projeto e, em especial, pela oportunidade de fazer parte desse time de grandes profissionais, que é o LIF;

Ao Engenheiro Geraldo Bieler, da Petrobras.

Aos amigos do LIF, pela paciência e boa vontade em ajudar e em ensinar, mesmo quando os procurei, inúmeras vezes, com dúvidas tolas: Hugo, Daniel, Roberto, Julio, Fernando, Cunha, Sebastião e Sidney.

# Resumo

O projeto em questão foi realizado no Laboratório de Instrumentação e Fotônica do Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (LIF – COPPE/UFRJ), e teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema integrado e automatizado de gestão de ensaios de envelhecimento acelerado em baterias chumbo-ácidas estacionárias ventiladas.

Uma primeira etapa consistiu em definir sequências de ensaios de envelhecimento, com base em diversas normas nacionais e internacionais, capazes de promover a degradação do banco de baterias disponível de forma acelerada, reduzindo a vida útil nominal de 12 anos para cerca de 180 dias.

Em seguida o trabalho descreve as soluções desenvolvidas, em *hardware* e *software*, para suprir a necessidade de acompanhar a *performance* de um equipamento desenvolvido no LIF (WebAcc), cuja função é monitorar o estado de acumuladores via medidas de condutância, sendo assim uma alternativa não invasiva e de baixo custo para tal monitoramento.

A aferição de desempenho do WebAcc (em comparação a um equipamento similar importado - Megger) deve ocorrer ao longo de toda a vida útil do banco disponível, sob as condições controladas definidas para os ensaios; desta forma, espera-se que o sistema desenvolvido controle as condições de máximo envelhecimento do banco (alta temperatura e baixa umidade relativa do ambiente), com a gestão de dados provenientes de diversos sensores e equipamentos envolvidos no ensaio, e realize as etapas dos ensaios de forma ordenada e cíclica dentro do planejamento efetuado.

Palavras-chave: Baterias chumbo-ácidas estacionárias ventiladas, Ensaio de Envelhecimento Acelerado, Ensaio de Capacidade, Bancos de Dados, Instrumentação Virtual.

# Abstract

This project was developed at the Photonics and Instrumentation Laboratory (LIF) of the Post-Graduation and Research in Engineering Program of the Federal University of Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), in Brazil, and aimed to develop an integrated and automated management system for accelerated aging tests in stationary vented lead-acid batteries.

A first step was to define sequences of aging tests, based on a set of national and international standards, capable of promoting the degradation of the available batteries as quickly as possible, reducing the nominal 12-year lifetime to about 180 days.

Then the paper describes the hardware and software solutions developed to meet the need of monitoring the performance of an equipment developed at LIF (WebAcc), whose function is to monitor the status of batteries via conductance measurements, and thus provide an low-cost, non-invasive alternative for such monitoring.

The benchmarking of WebAcc (in comparison to the similar imported equipment Megger) should be made throughout the lifetime of the available batteries, under controlled conditions set for the tests. The system is thus expected to control conditions of maximum battery aging (high temperature and low relative humidity), and also manage data from various equipment and sensors involved; and perform the test steps cyclic and orderly, as planned.

Keywords: Vented Stationary Lead-Acid Batteries, Accelerated Aging Tests, Capacity Tests, Database Systems, Virtual Instrumentation.

# Siglas

ANSI – *American National Standards Institute*

COPPE – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da UFRJ

CLT - *Cyclic Life Tests* - Testes de Vida Cíclica

CVI – *C for Virtual Instrumentation*

FTP - *File Transfer Protocol*

IEC – *International Electrotechnical Commission*

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IHM - Interface Homem-Máquina

LIF - Laboratório de Instrumentação e Fotônica

NBR – Norma Brasileira (ABNT)

PCB – *Printed Circuit Board* (Placa de Circuito Impresso)

SGBD - Sistema Gerenciador de Bancos de Dados

SQL - *Structured Query Language*

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

VRC - Valor de Referência de Condutância

# Índice

	pág.
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Siglas.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Capítulo 1.....	1
1.1 - Introdução.....	1
1.2 - Tema.....	1
1.3 - Delimitação.....	2
1.4 - Justificativa.....	2
1.5 - Objetivos.....	3
1.6 - Metodologia.....	4
1.7 - Organização do Trabalho.....	7
Capítulo 2.....	8
1.8 - Especificação do Projeto.....	8
1.9 - Fundamentos Teóricos.....	8
1.10 - Equivalente Elétrico de uma bateria.....	9
1.11 - Equipamentos de medida.....	10
1.12 - Análise do Problema.....	12
1.13 - Análise dos Requisitos.....	12
1.14 - Sistema Proposto.....	13
Capítulo 3.....	17
1.15 - Tecnologias Utilizadas.....	17
Capítulo 4.....	23
1.16 - Desenvolvimento do Sistema.....	23
1.17 - Estudos e definição de procedimentos.....	23
1.18 - Desenvolvimento do Software.....	32

1.19 - Desenvolvimento do Hardware.....	43
Capítulo 5.....	53
1.20 - Resultados e Discussões.....	53
1.21 - Definição dos procedimentos.....	53
1.22 - Funcionamento do software.....	54
1.23 - Desempenho dos protótipos de hardware.....	61
Capítulo 6.....	66
1.24 - Conclusões e Trabalhos Futuros.....	66
Referências Bibliográficas.....	68
Apêndice A – Fluxogramas dos Ensaios.....	69
Apêndice B - Glossário de termos relativos a baterias.....	74

# Lista de Figuras

	pág.
<a href="#">Figura 1-1: Interações entre os componentes do sistema.....</a>	<a href="#">3</a>
<a href="#">Figura 2-1. Curva típica de descarga em baterias chumbo-ácidas. Fonte: Cardoso,P.[1].....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">Figura 2-2. Modelo Elétrico de uma Bateria. Fonte: Cardoso, P. [1].....</a>	<a href="#">10</a>
<a href="#">Figura 2-3. Tensão e corrente de medidas do equipamento Midtronics. Fonte: Cardoso,P [1]. .....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">Figura 2-4. Tensão e corrente de medidas - equipamento BITE. Fonte: Cardoso, P.[1].....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">Figura 2-5: Diagrama de casos de uso.....</a>	<a href="#">15</a>
<a href="#">Figura 3-1. Banco de baterias disponíveis no Laboratório.....</a>	<a href="#">18</a>
<a href="#">Figura 3-2. WebAcc – Equipamento de medição de condutância em baterias.....</a>	<a href="#">18</a>
<a href="#">Figura 3-3. Megger BITE3- Equipamento para medição de condutância em baterias.....</a>	<a href="#">19</a>
<a href="#">Figura 3-4. Termo-higrômetro Novus myPCProbe-RHT.....</a>	<a href="#">19</a>
<a href="#">Figura 3-5. A&amp;C CLT. Painel de teste de vida cíclica de baterias.....</a>	<a href="#">19</a>
<a href="#">Figura 3-6. Estufa onde serão realizados os ensaios de durabilidade.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">Figura 3-7. Bancada de operação dos ensaios.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">Figura 3-8. Relé de estado sólido para interrupção de ciclos.....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">Figura 3-9. Layout da sala de realização dos ensaios.....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">Figura 4-1. Diagrama representativo do ensaio de durabilidade.....</a>	<a href="#">28</a>
<a href="#">Figura 4-2. Diagrama representativo do ensaio de capacidade.....</a>	<a href="#">30</a>
<a href="#">Figura 4-3. Visão geral do processo de ensaios.....</a>	<a href="#">31</a>
<a href="#">Figura 4-4. Visão geral dos ensaios cíclicos de envelhecimento acelerado.....</a>	<a href="#">31</a>
<a href="#">Figura 4-5. Estrutura do software de controle dos ensaios.....</a>	<a href="#">32</a>
<a href="#">Figura 4-6: Interface principal do software.....</a>	<a href="#">33</a>
<a href="#">Figura 4-7. Menu “Evento Atual”.....</a>	<a href="#">34</a>
<a href="#">Figura 4-8. Determinação do Valor de Referência de Condutância – VRC.....</a>	<a href="#">35</a>
<a href="#">Figura 4-9. Janela de Configuração das portas seriais.....</a>	<a href="#">41</a>
<a href="#">Figura 4-10. Visualização dos dados das leituras no formato tabular.....</a>	<a href="#">42</a>
<a href="#">Figura 4-11. Janela de exibição de gráficos para o ciclo corrente.....</a>	<a href="#">42</a>
<a href="#">Figura 4-12: Interface do programa de testes.....</a>	<a href="#">43</a>
<a href="#">Figura 4-13. Circuito do protótipo de controle do painel CLT - vista superior.....</a>	<a href="#">45</a>

<a href="#">Figura 4-14. Circuito do protótipo de controle do painel CLT - dissipadores.....</a>	<a href="#">45</a>
<a href="#">Figura 4-15. Protótipo de controle do painel CLT - conexões.....</a>	<a href="#">45</a>
<a href="#">Figura 4-16. Protótipo fixado na parede - atrás do painel CLT.....</a>	<a href="#">46</a>
<a href="#">Figura 4-17. Esquemático do circuito de controle do painel CLT.....</a>	<a href="#">46</a>
<a href="#">Figura 4-18. Layout da placa de circuito impresso do controle do painel.....</a>	<a href="#">46</a>
<a href="#">Figura 4-19. Preparação da solução saturada de NaBr.....</a>	<a href="#">47</a>
<a href="#">Figura 4-20. A solução no interior da estufa para testes.....</a>	<a href="#">47</a>
<a href="#">Figura 4-21. Temperatura da estufa para o testes com a solução de NaBr.....</a>	<a href="#">48</a>
<a href="#">Figura 4-22. Desempenho da solução de NaBr como controle de umidade.....</a>	<a href="#">48</a>
<a href="#">Figura 4-23. Umidade alcançada com o recipiente e vedação forçada da estufa.....</a>	<a href="#">49</a>
<a href="#">Figura 4-24. Sensor de nível montado no recipiente interno.....</a>	<a href="#">50</a>
<a href="#">Figura 4-25. Montagem do protótipo do sistema de controle de umidade.....</a>	<a href="#">51</a>
<a href="#">Figura 4-26. Protótipo do sistema de controle de umidade - vista frontal.....</a>	<a href="#">51</a>
<a href="#">Figura 4-27. Protótipo do sistema de controle de umidade – vista posterior.....</a>	<a href="#">51</a>
<a href="#">Figura 4-28. Esquemático do circuito - controle da bomba de água.....</a>	<a href="#">52</a>
<a href="#">Figura 4-29. Layout da placa de circuito impresso utilizada no projeto.....</a>	<a href="#">52</a>
<a href="#">Figura 5-1. Evolução da capacidade para ensaios a 71°C, para baterias reguladas a válvula.</a>	
<a href="#">Fonte: Lodi et al.[6].....</a>	<a href="#">54</a>
<a href="#">Figura 5-2. Desempenho da interface gráfica com leituras de 2 em 2 horas.....</a>	<a href="#">56</a>
<a href="#">Figura 5-3. Visualização dos equipamentos cadastrados pela Internet.....</a>	<a href="#">57</a>
<a href="#">Figura 5-4. Visualização dos canais de leituras dos equipamentos cadastrados.....</a>	<a href="#">57</a>
<a href="#">Figura 5-5. Visualização de Gráficos de medidas de temperatura via Web.....</a>	<a href="#">58</a>
<a href="#">Figura 5-6. Reinicialização do sistema após uma interrupção por falta de energia elétrica....</a>	<a href="#">59</a>
<a href="#">Figura 5-7. Retomada do ensaio após a interrupção.....</a>	<a href="#">59</a>
<a href="#">Figura 5-8. Gráficos extraídos do BD interno, usando o programa de testes.....</a>	<a href="#">60</a>
<a href="#">Figura 5-10. Comportamento no tempo do sistema de controle da bomba.....</a>	<a href="#">62</a>
<a href="#">Figura 5-11. Desenho computacional da montagem final dos equipamentos.....</a>	<a href="#">63</a>
<a href="#">Figura 5-12. Bancada de operação do sistema, painel CLT e reservatório auxiliar de água....</a>	<a href="#">63</a>
<a href="#">Figura 5-13. Controle da bomba de água e WebAcc.....</a>	<a href="#">63</a>
<a href="#">Figura 5-14. Baterias no interior da estufa, termo-higrômetro e recipiente de água interno....</a>	<a href="#">64</a>
<a href="#">Figura 5-15. Estufa, controle da bomba de água e WebAcc.....</a>	<a href="#">65</a>
<a href="#">Figura 5-16. No-breaks e baterias auxiliares, para backup de alimentação do sistema. ....</a>	<a href="#">65</a>

# Lista de Tabelas

	pág.
<a href="#"><u>Tabela 2-1. Padrão de registro de medidas - modo estrutura do Access. ....</u></a>	14
<a href="#"><u>Tabela 2-2. Registro de medidas do ensaio de determinação do VRC.....</u></a>	14
<a href="#"><u>Tabela 4-1. Códigos de identificação das etapas - arquivo do servidor LIF.....</u></a>	39
<a href="#"><u>Tabela 4-2. Estrutura do arquivo de configuração.....</u></a>	40
<a href="#"><u>Tabela 4-3. Estados das entradas e saídas da porta lógica utilizada.....</u></a>	50

# Capítulo 1

## 1.1 - Introdução

*“Onward up many a frightening creek, though your arms may get sore and your sneakers may leak. On and on you will hike.”*  
(‘Oh, The Places You’ll Go’ - Dr. Seuss)

## 1.2 - Tema

O trabalho realizado está inserido em um projeto de pesquisa do Laboratório de Instrumentação e Fotônica da COPPE (LIF), denominado WebBR, cuja meta é propor uma nova metodologia, não-invasiva e de baixo custo, para realizar o monitoramento do estado de bancos de acumuladores: medidas de condutância. Pode-se dividir o trabalho em duas grandes etapas: a primeira para definição de procedimentos e a segunda para desenvolvimento do sistema.

Na primeira parte buscou-se definir procedimentos experimentais para ensaios de validação do equipamento de medidas de condutância em baterias (denominado WebAcc), desenvolvido em parceria pelo LIF e pela empresa Vector Technology. A idéia era acompanhar toda a vida útil de um banco de acumuladores disponível no laboratório, submetendo-o a condições severas de temperatura, umidade e tensão de flutuação, de forma a acelerar o envelhecimento. Durante os ensaios são utilizados dados de tensão, corrente e condutância tomados pelo WebAcc e por um equipamento similar comercial (Megger), a ser tomado como referência.

A segunda parte do projeto descreve o desenvolvimento de um sistema integrado e automatizado que gerencia os ensaios (definidos na primeira parte) para o banco submetido ao envelhecimento acelerado, e para outro em condições ideais de temperatura e tensão de flutuação, que serve como referência de degradação. O sistema é composto por *softwares* e *hardware* capazes de realizar a gestão dos dados provenientes de diversos equipamentos (estufa, painel de carga e descarga, WebAcc,

Megger, termo-higrômetro) e controlar os ensaios a partir de parâmetros ditados em normas técnicas específicas.

### **1.3 - Delimitação**

O objeto de estudo é um sistema de monitoramento da degradação de baterias chumbo-ácidas estacionárias ventiladas, realizado através de ensaios de durabilidade, nos quais os elementos serão submetidos a condições adversas (descargas rápidas, alta temperatura e reduzida umidade do ar) capazes de reduzir significativamente a vida útil dos elementos. A conclusão dos ensaios conforme esperado confirmará a conhecida correlação capacidade x condutância [1], validará o método da condutância e confirmará o funcionamento adequado do equipamento desenvolvido no LIF, que é um dos objetivos centrais do projeto “WebBR”.

### **1.4 - Justificativa**

Baterias chumbo-ácidas, ou acumuladores chumbo-ácidos, são dispositivos eletroquímicos que armazenam energia. São utilizadas em muitos setores da indústria como “*backup*” de alimentação, em especial em aplicações que demandam serviço ininterrupto e com elevada confiabilidade. Monitorar o estado de bancos de baterias é vital para a garantia de que, em caso de falha na alimentação principal dos sistemas críticos (por exemplo, a rede de distribuição CA comercial), o “*backup*” funcione corretamente, fornecendo alimentação adequada (tensão e corrente), enquanto perdurar a interrupção na rede principal. Tal característica é especialmente desejável em setores essenciais ou vitais, por exemplo, hospitais, quartéis, aeroportos, telecomunicações ou grandes sistemas de computadores.

Os acumuladores (doravante chamadas apenas de “baterias”) são utilizados pela empresa Petrobras (financiadora do projeto de pesquisa WebBR) como “*backup*” em sistemas de alimentação de processos contínuos em refinarias de petróleo. As baterias constituem a última fonte de energia quando as demais não funcionam. Dessa forma, falhas em tais sistemas de “*backup*” podem ter efeitos catastróficos, por inviabilizar a continuidade dos processos das refinarias. O lucro cessante de uma única unidade de processo pode chegar a ordens de grandeza de milhões de reais/dia. Os prejuízos podem ser ainda maiores caso ocorram danos a pessoas, equipamentos, incêndios e desabastecimento de mercado.

## 1.5 - Objetivos

O objetivo geral é criar um sistema (hardware + software) que viabilize, de forma automatizada, o acompanhamento dos ensaios de durabilidade, onde as baterias enfrentarão condições adversas de temperatura, umidade e tensão de flutuação. O sistema deve controlar e coletar dados de diferentes equipamentos, tais como termohigrômetro, estufa, painel de carga e descarga de baterias, e os reunir em dois bancos de dados, um interno e outro vinculado ao sistema de gestão de dados do LIF [2] para acompanhamento remoto via Web e posterior análise.

A Figura 1 -1 mostra de forma esquemática a comunicação entre o software desenvolvido, o servidor do LIF, os blocos de *hardware*, os bancos de dados e a interface com os usuários. É possível notar os sentidos dos fluxos de dados, por exemplo, o controle de interrupção do painel A&C que não retorna dados ao sistema, pois, apenas atua como uma chave liga/desliga.

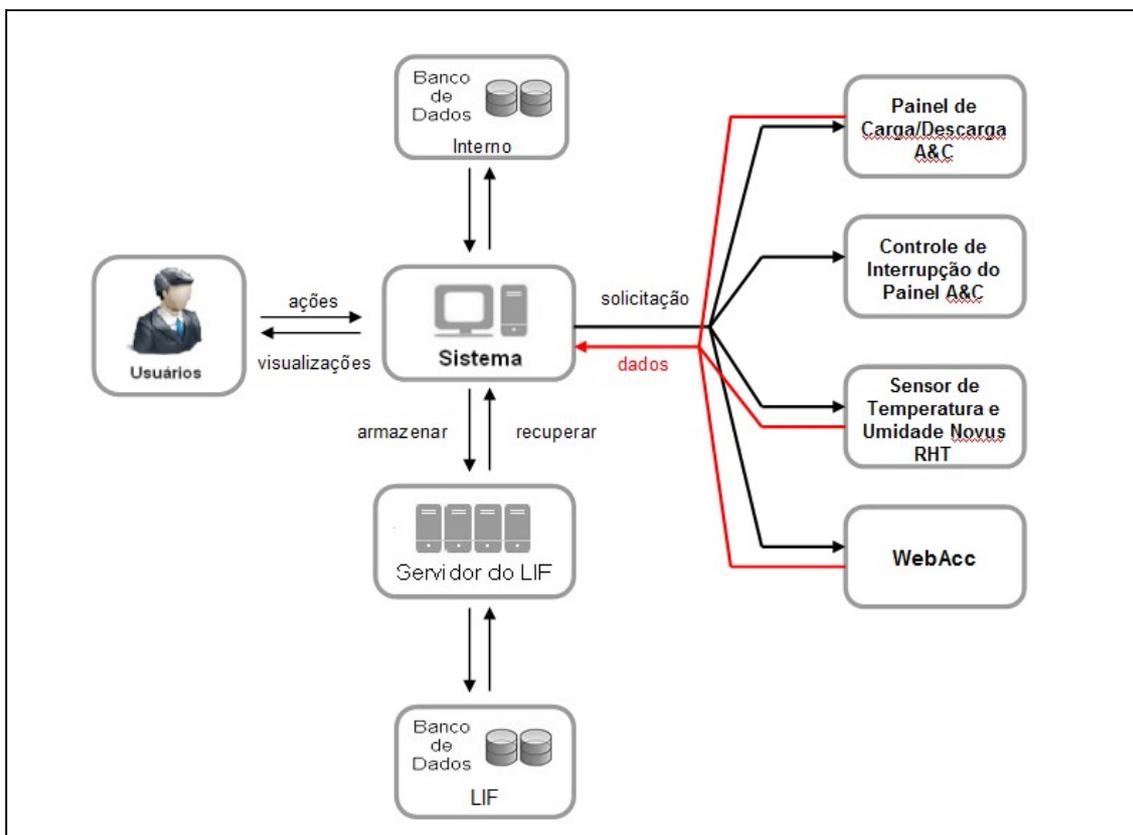


Figura 1-1: Interações entre os componentes do sistema.

## 1.6 - Metodologia

Uma metodologia bastante conhecida, ainda utilizada para monitorar o estado de bancos de baterias é o ensaio de capacidade, que consiste em realizar uma descarga completa na bateria, e a partir dos dados da corrente de descarga e do tempo total de descarga, é possível determinar facilmente a capacidade, em Ah, pela área da curva corrente x tempo. Este tipo de ensaio está regulamentado pela norma NBR 14199 [3], para baterias chumbo-ácidas ventiladas. Este tipo de ensaio demanda o desligamento de um determinado banco do sistema para ser descarregado, comprometendo a disponibilidade do backup em caso de necessidade, o que pode acarretar prejuízos, sem contar que cada descarga completa contribui para a redução da vida útil do banco.

Visando contornar essas limitações, têm sido realizados diversos estudos ao redor do mundo com o objetivo de encontrar métodos alternativos ao ensaio de capacidade. Por exemplo, conforme o acumulador vai sofrendo o processo de envelhecimento, ocorrem diversos fenômenos eletroquímicos em suas estruturas internas (placas), como a sulfatação, a corrosão e a perda de água do eletrólito, fenômenos que podem ser verificados pela variação da resistência (ou condutância) dos elementos. A correlação entre o envelhecimento da bateria (perda de capacidade) e a condutância foi demonstrada no trabalho de Cardoso, P. [1].

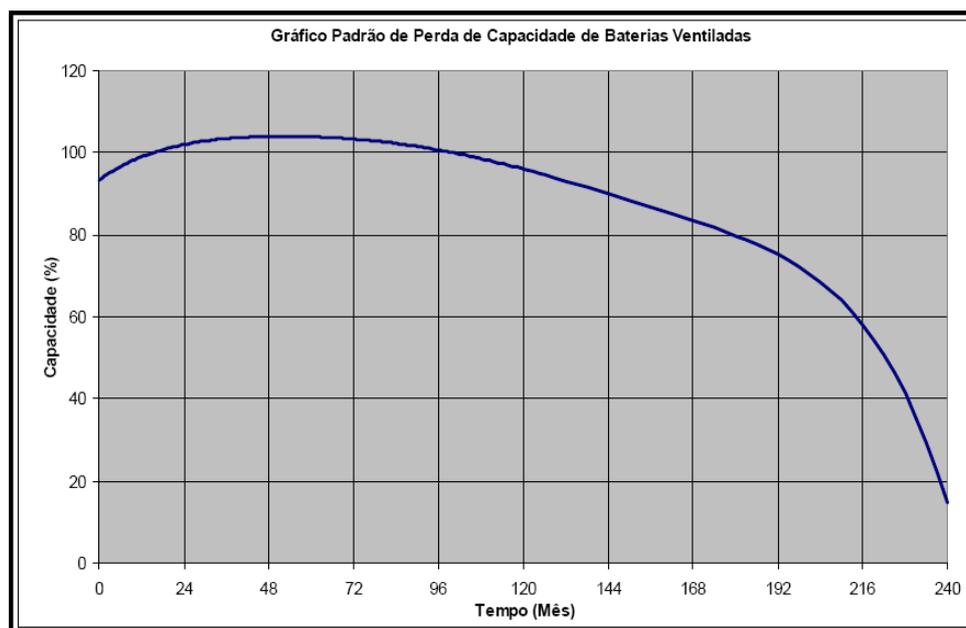


Figura 1-2: Perda de Capacidade de Baterias Ventiladas em função do tempo. Fonte: Cardoso, P. [1]

De acordo com as recomendações constantes da norma IEEE Std 450-2002 [4], considera-se terminada a vida útil de uma bateria quando esta atinge 80% da capacidade nominal. Em condições padrão de utilização (temperatura ambiente e tensão de flutuação padrão-definida no manual do fabricante), baterias ventiladas levam cerca de 15 anos para chegar ao fim da vida útil, conforme observado no gráfico da figura 1-2. Entretanto, na maioria dos casos, os bancos de baterias não são submetidos a condições ideais de operação, resultando na perda de confiabilidade. Sob estas condições desfavoráveis, somadas ao desconhecimento quantitativo do estado operacional das baterias, as empresas, de forma conservadora, promovem a substituição dos bancos em intervalos bem inferiores ao esperado, ou seja, de 2 a 5 anos, dependendo da criticalidade da utilização do banco. É fácil perceber que esta solução tem custo muito alto e, ainda, não garante confiabilidade.

Os valores de vida útil e tempo de reposição são dependentes da temperatura de utilização das baterias e da tensão de flutuação a que elas estão submetidas. Entende-se por tensão de flutuação a tensão na qual o acumulador é mantido no estado de plena carga (tensão na qual se compensam eventuais perdas por autodescarga). Em geral, quanto maiores a temperatura e tensão de flutuação, menor é a vida útil, como é possível observar na figura 1-3 (reduz-se à metade a cada 9°C de aumento da temperatura).

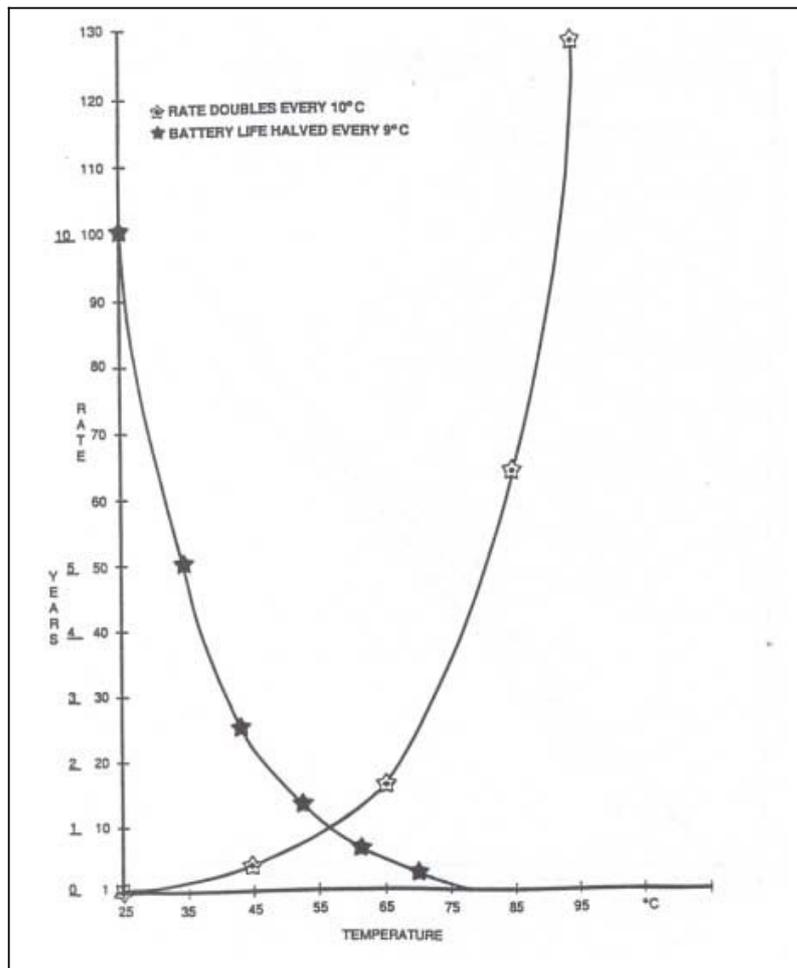


Figura 1-3. Vida útil de baterias ventiladas em função da temperatura. Fonte: Telcordia Technologies[5]

O trabalho realizado, inserido na proposta de validar o método da condutância e o correto funcionamento do “WebAcc” (medidor de condutância do LIF), foi dividido em duas partes, com a duração total prevista de um ano:

Parte 1:

Estudo e delimitação das sequências de ensaios visando o envelhecimento mais acelerado possível dos acumuladores;

Parte 2: subdividida em 4 etapas:

Etapa 1: Preparação de ensaios (compra de equipamentos, montagem de infraestrutura, desenvolvimento de software e hardware específicos para controle e acompanhamento dos ensaios e testes).

Etapa 2: Testes e ajustes dos ensaios;

Etapa 3: Realização do ensaios de envelhecimento (fora do escopo do trabalho);

Etapa 4: Análise dos resultados (fora do escopo do trabalho).

## **1.7 - Organização do Trabalho**

No Capítulo 2, Especificação do Projeto, será apresentada a análise do problema que motivou a elaboração do projeto, a análise dos requisitos do sistema e a solução proposta com os ensaios definidos, a modelagem do software e dos bancos de dados e a especificação de casos de uso do sistema computacional.

Posteriormente, no Capítulo 3, Tecnologias Utilizadas, as tecnologias escolhidas para o desenvolvimento do software e hardware são detalhadas.

O desenvolvimento do sistema e dos protótipos de hardware é descrito no Capítulo 4.

No Capítulo 5, Resultados e Discussões, serão relatados os resultados obtidos pelos testes dos sistemas.

Por fim, o Capítulo 6 traz as conclusões do projeto.

# Capítulo 2

## 1.8 - Especificação do Projeto

*“And when you’re alone, there’s a very good chance you’ll meet things that scare you right out of your pants. There are some, down the road between hither and yon, that can scare you so much you won’t want to go on”.*

(‘Oh, The Places You’ll Go’ - Dr.Seuss)

O sistema foi concebido para auxiliar na realização dos ensaios de envelhecimento acelerado, através do monitoramento dos parâmetros definidos para cada etapa, da tomada automática de medidas dos diversos equipamentos e da gestão dos dados provenientes do experimento, dentro do projeto “WebBR”. Ao longo deste capítulo, serão mostrados alguns fundamentos teóricos e as etapas iniciais do processo de desenvolvimento do sistema, que compreendem a análise do problema, o levantamento dos requisitos e, finalmente, a solução proposta para o projeto.

## 1.9 - Fundamentos Teóricos

Torna-se necessário, para um razoável entendimento do problema tratado no trabalho, introduzir alguns conceitos relativos a baterias (para maior clareza há um glossário com termos relativos a baterias no Apêndice B).

Uma bateria chumbo-ácida é nada mais do que um acumulador de energia, formado por dois eletrodos, um de chumbo e outro de peróxido de chumbo ( $\text{PbO}_2$ ), imersos em uma solução aquosa de ácido sulfúrico. Trata-se, pois, de um sistema eletroquímico. É possível verificar uma diferença de potencial entre os eletrodos, de valor tal que é possível promover as reações de oxirredução, isto é, o ganho de elétrons no eletrodo positivo (redução) e a perda de elétrons no eletrodo negativo (oxidação).

A bateria tem comportamento diferente de um capacitor, pois este ao se descarregar não mantém a tensão entre seus terminais constante, já a bateria mantém a tensão entre os terminais praticamente constante ao longo de sua curva de descarga. Considera-se terminada

uma descarga completa em uma bateria ao ser atingida a tensão de joelho de 1,75 V por elemento em série do banco. Uma curva típica de descarga em uma bateria chumbo-ácida pode ser visualizada na Figura 2-1:

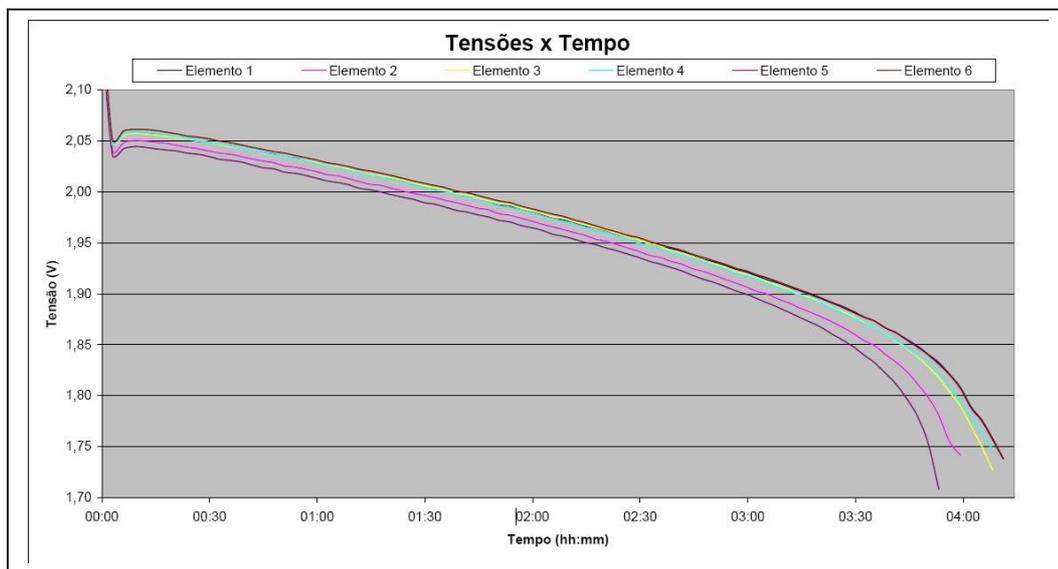


Figura 2-1. Curva típica de descarga em baterias chumbo-ácidas. Fonte: Cardoso,P.[1]

Durante a maior parte de sua vida útil, as baterias são mantidas no regime de flutuação, ou seja, são mantidas a uma tensão ligeiramente superior a mínima necessária para compensar perdas por auto-descarga, mantendo assim as baterias em plena carga.

As baterias utilizadas na realização do projeto são do tipo ventiladas, ou seja, possibilitam o livre escape de gases e que permite a reposição de água da solução do eletrólito.

O principal parâmetro que define a qualidade da bateria é a sua capacidade, ou seja, o tempo que a bateria demora para descarregar-se totalmente, fornecendo uma determinada corrente. Normalmente é definida em termos de  $C_{10}$ , a capacidade para uma descarga de 10 horas. O valor de  $C_{10}$  é declarado pelo fabricante,

### 1.10 - Equivalente Elétrico de uma bateria

Uma modelo bastante usado para representar uma bateria foi definido por Willihnganz e Rohner *apud* Cardoso, P.[1], dentre os muitos modelos publicados em artigos técnicos. No modelo são considerados os parâmetros:  $R_a$  – resistência ôhmica do eletrólito;  $R_e$  – resistência ôhmica dos metais da bateria;  $C_c$  – capacitância do elemento;  $R_c$  – resistência de transferência de carga;  $L$  – indutância do elemento.

A representação do modelo elétrico pode ser visualizada na figura 2-2.

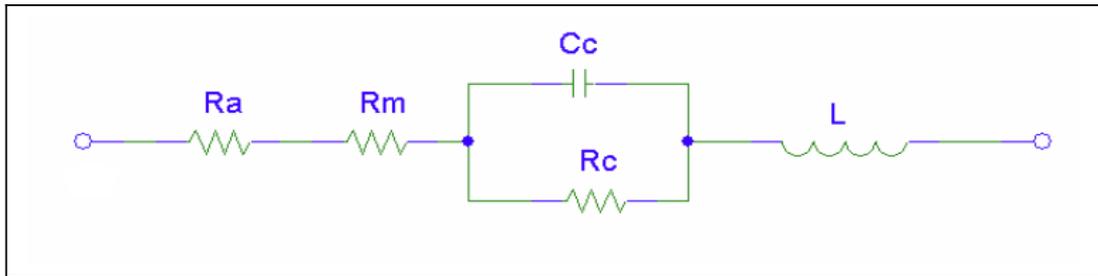


Figura 2-2. Modelo Elétrico de uma Bateria. Fonte: Cardoso, P. [1]

A parcela resistiva do modelo é influenciada pelo estado de degradação da bateria; em especial, os efeitos de corrosão nas placas e sulfatação nas grades internas modificam o valor da resistência equivalente. Assim, medidas de resistência ou condutância podem ser usadas como parâmetro para obter uma estimativa do estado de degradação da bateria. A condutância, sendo a parte real da admitância, pode ser estimada por equipamentos que introduzam perturbações em corrente alternada, em uma frequência suficientemente alta para que as partes capacitiva e indutiva do modelo possam ser desprezadas.

### 1.11 - Equipamentos de medida

Para realizar medidas de condutância em baterias são comumente utilizados dois tipos de equipamentos: o Midtronics e o BITE [1]. É importante notar que o equipamento WebAcc, desenvolvido no LIF, é do tipo BITE.

O Midtronics realiza medidas de condutância diretamente, em Siemens (S), drenando uma corrente, com forma de onda quadrada, de amplitude de aproximadamente 1A e 22 Hz [1], e através da queda de tensão entre os pólos da bateria é possível calcular a condutância pela equação:

$$G = \frac{I}{\Delta V} . n$$

Onde G é o valor da condutância medida, I é o valor da corrente drenada (constante conhecida do aparelho),  $\Delta V$  é a perturbação na corrente devido à corrente drenada e n é o número de elementos do banco (informado manualmente pelo operador). Um gráfico dessas medidas pode ser visto na figura 2-3:

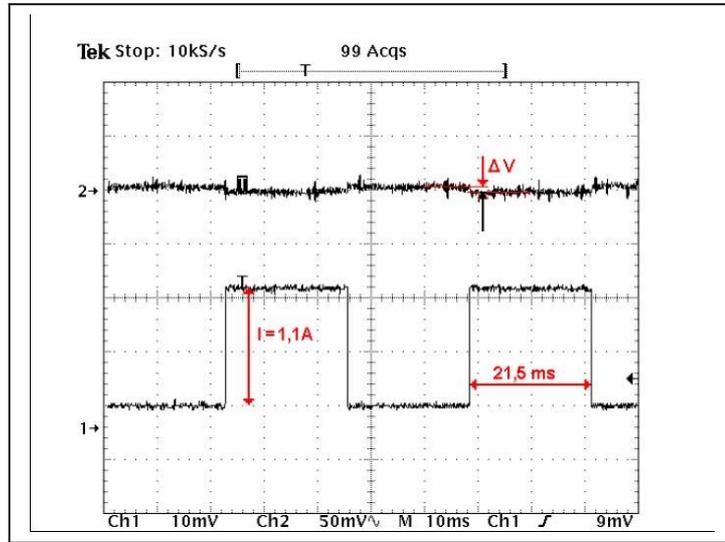


Figura 2-3. Tensão e corrente de medidas do equipamento Midtronics. Fonte: Cardoso,P [1].

Já o BITE realiza medidas de impedância, em Ohms ( $\Omega$ ), injetando corrente alternada senoidal em um dos pólos da bateria e medindo a variação de tensão senoidal no outro pólo. A impedância é, então, calculada por:

$$Z = \frac{V_{pp}}{I_{pp}}$$

Onde  $Z$  é a impedância a ser calculada,  $V_{pp}$  é a amplitude da perturbação de tensão provocada pela corrente injetada, e  $I_{pp}$  é a amplitude da corrente injetada pelo equipamento (conhecida). O BITE deve ser usado em medidas individuais em cada elemento. Um gráfico dessas medidas pode ser visualizado na figura 2-4:

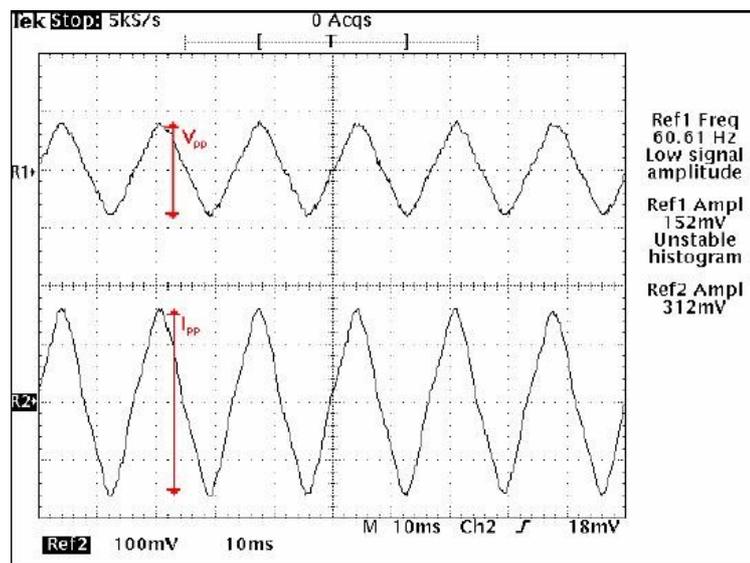


Figura 2-4. Tensão e corrente de medidas - equipamento BITE. Fonte: Cardoso, P.[1]

## **1.12 - Análise do Problema**

O projeto em questão prevê a utilização do WebAcc durante toda a vida útil de um determinado banco de acumuladores. Como o prazo de validade do projeto finda muito antes dos 15 anos necessários para o término da vida útil em condições padrão, procuraram-se alternativas para encurtar a vida útil dos acumuladores de forma a possibilitar que seja possível tal avaliação.

Na literatura pesquisada foram encontradas duas formas de acelerar o envelhecimento de um conjunto de acumuladores: ensaios cíclicos, nos quais os elementos são submetidos continuamente a ciclos de cargas e descargas, o que pode acelerar a degradação; ou ainda ensaios de durabilidade frente à sobrecarga de tensão e temperatura elevada [3]. Como a primeira forma já foi anteriormente estudada e discutida, com o mesmo propósito, por Cardoso, P. [1], resolveu-se utilizar altas temperaturas, umidade controlada e tensão de flutuação padrão, utilizando os procedimentos estudados por Telcordia[5] e Lodi *et al.*[6]. Dessa forma seria possível comparar a correlação capacidade x condutância obtida através de um outro método de envelhecimento.

O desenvolvimento de um sistema computacional capaz de realizar a coleta, processamento, armazenamento e análise de dados provenientes do WebAcc e dos protótipos de *hardware*, ao longo dos ensaios, exige noções razoáveis de programação e banco de dados, bem como tempo para seu desenvolvimento; dessa forma, foi desenvolvido, além do sistema principal, um programa de testes, onde cada uma das funcionalidades a serem descritas foi sendo implementada e testada.

Da mesma forma, o desenvolvimento dos protótipos de hardware para interromper os ciclos de carga e descarga e manter a umidade do ambiente de acondicionamento das baterias próxima ao definido em norma demandou o aprendizado de técnicas e softwares de projeto de placas de circuito impresso, bem como razoável trabalho de montagem e testes em bancada.

## **1.13 - Análise dos Requisitos**

O sistema computacional foi desenvolvido para oferecer funcionalidades que resolvam os problemas citados no Item 2.1 de maneira padronizada. Para tal, foram elaborados requisitos para sua implementação, identificados a partir do estudo do projeto e da interação com os funcionários do laboratório através de reuniões técnicas. Para atender às necessidades do usuário este sistema deve:

- Realizar medições de forma automática, em intervalos de tempo confiáveis, ao longo de todas as etapas dos ensaios definidos;
  - Interromper a realização do ensaio, de forma automática, caso ocorram eventos limites previstos em norma, e retomar a execução quando cessar o evento;
  - Registrar os eventos limites citados no item anterior;
  - Armazenar todos os dados obtidos dos experimentos em dois bancos de dados, um interno, para análises no próprio laboratório, e outro vinculado ao sistema web de gestão de medidas do LIF [2];
  - Possibilitar o monitoramento dos parâmetros de cada canal de medição ao longo do tempo, através de tabelas e gráficos;
  - Disponibilizar as informações, criando arquivos no formato Access (mdb), para análises mais detalhadas em editores de planilhas eletrônicas;
- 
- Ser acessível aos envolvidos no projeto, do LIF e do cliente, independentemente de sua localização geográfica, utilizando um navegador de Internet padrão;
  - Permitir a verificação de falhas, tanto na comunicação com o equipamento, quanto na obtenção de dados pelo mesmo, através de seus canais de medição;
  - Controlar as condições previstas em norma (temperatura, umidade, frequência de coleta de dados), de forma a possibilitar a comparação com outros métodos de trabalho já publicados na área.

O sistema computacional deve ainda atender a outros requisitos como usabilidade, integridade dos dados e facilidade de manutenção.

## **1.14 - Sistema Proposto**

### **1.14.1 - Modelagem dos dados**

Para atender aos requisitos do item 2.2 foi necessária a elaboração de um padrão de registro de medidas, que posteriormente viria a se tornar a tabela principal do banco de dados. O padrão deve ser genérico o suficiente para contemplar as medidas de todos os tipos de ensaios a serem realizados. É possível verificar o padrão (no modo estrutura do Access) na tabela 2-1:

Nome do campo	Tipo de dados	Descrição
Tempo	Data/Hora	
Ciclo	Número	
Etapa	Número	
Aec_Volt_Total	Número	
Aec_Corrente_Total	Número	
Aec_Temp	Número	
WebAc_Volt_E1	Número	
WebAc_Volt_E2	Número	
WebAc_Volt_E3	Número	
WebAc_Volt_E4	Número	
WebAc_Volt_E5	Número	
WebAc_Volt_E6	Número	
WebAc_Corrente_E1	Número	
WebAc_Corrente_E2	Número	
WebAc_Corrente_E3	Número	
WebAc_Corrente_E4	Número	
WebAc_Corrente_E5	Número	
WebAc_Corrente_E6	Número	
WebAc_Condutancia_E1	Número	
WebAc_Condutancia_E2	Número	
WebAc_Condutancia_E3	Número	
WebAc_Condutancia_E4	Número	
WebAc_Condutancia_E5	Número	
WebAc_Condutancia_E6	Número	
RHT_Temperatura	Número	
RHT_Umididade	Número	

Tabela 2-1. Padrão de registro de medidas - modo estrutura do Access.

Para o ensaio de determinação do VRC (Valor de Referência de Condutância), foi necessário o uso de outra tabela, no mesmo banco de dados, para armazenar os valores de condutância obtidos naquele ensaio. A tabela, no modo estrutura do Access, pode ser vista na tabela 2-2.

Nome do campo	Tipo de dados	Descrição
Id	AutoNumeração	
Condutancia_E1WebAc	Número	
Condutancia_E2WebAc	Número	
Condutancia_E3WebAc	Número	
Condutancia_E4WebAc	Número	
Condutancia_E5WebAc	Número	
Condutancia_E6WebAc	Número	
Condutancia_E7WebAc	Número	
Condutancia_E8WebAc	Número	
Condutancia_E1Megger	Número	
Condutancia_E2Megger	Número	
Condutancia_E3Megger	Número	
Condutancia_E4Megger	Número	
Condutancia_E5Megger	Número	
Condutancia_E6Megger	Número	
Condutancia_E7Megger	Número	
Condutancia_E8Megger	Número	

Propriedades do campo

Geral | Pesquisa  
 Tamanho do campo: Inteiro longo  
 Novos valores: Incremento  
 Formato:  
 Legenda:  
 Indexado: Sim (Duplicação não autorizada)

Tabela 2-2. Registro de medidas do ensaio de determinação do VRC.

### 1.14.2 - Casos de Uso

Diagramas de casos de uso são os modos através dos quais o sistema interage com o usuário ou com outros sistemas, a partir de determinadas ações deste usuário. É importante notar que estes casos de uso não descrevem como o *software* deverá ser desenvolvido, mas sim como deverá ser seu comportamento depois de pronto.

A documentação das funcionalidades do sistema facilita a realização dos testes do *software* e é uma ótima ferramenta para a manutenção do código-fonte. Na figura 2-1 é possível identificar as possíveis interações do usuário com o sistema.

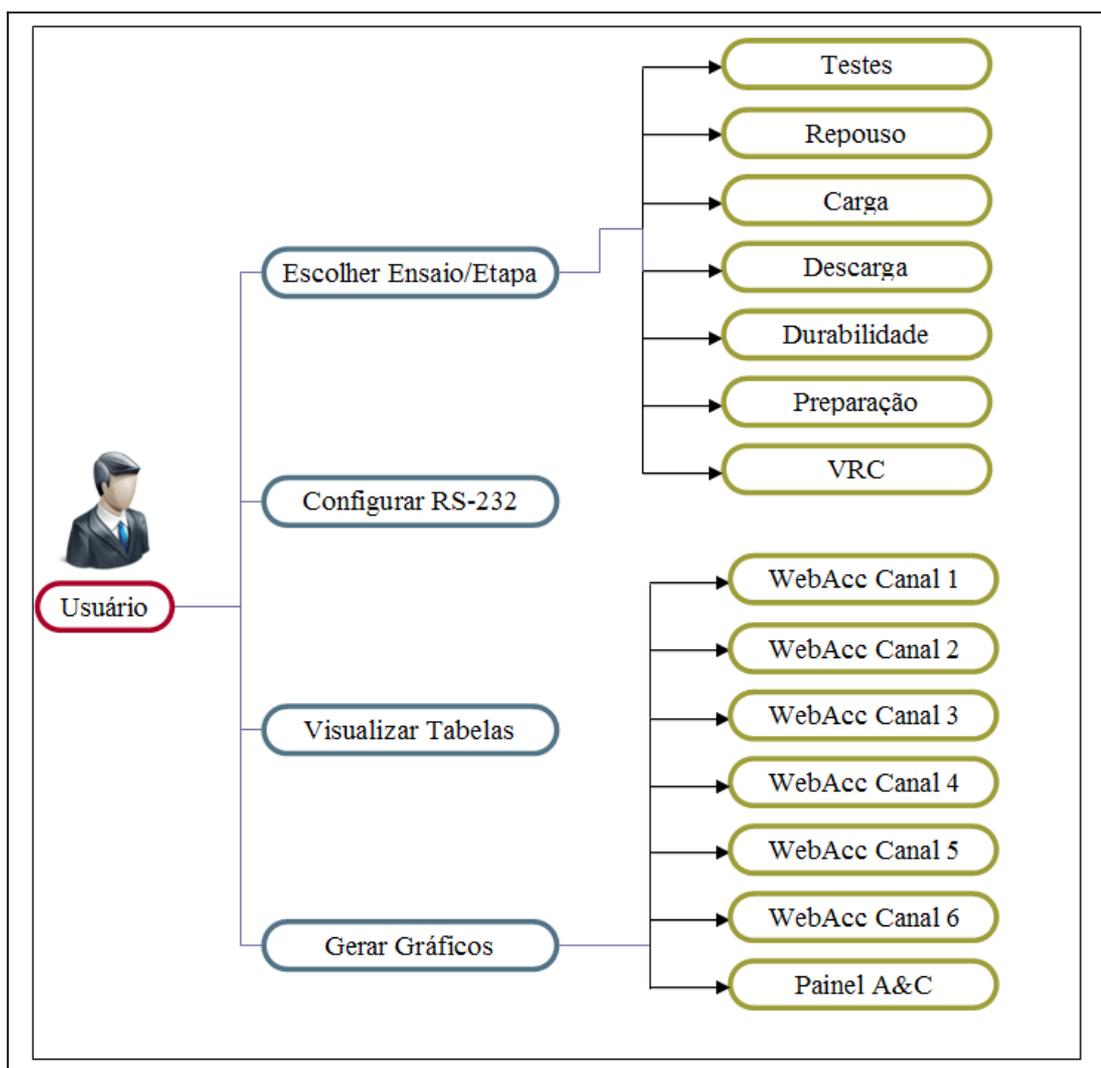


Figura 2-5: Diagrama de casos de uso.

#### **1.14.2.a - Escolher Ensaio/Etapa**

Este caso de uso é, na verdade, dividido em sete diferentes casos, um para cada tipo de etapa a ser realizada. Cada um deles corresponde a uma diferente condição de ensaio, em relação à frequência de tomada de medidas, o tipo de valores medidos, e os parâmetros a controlar.

#### **1.14.2.b - Configurar Comunicação Serial**

O caso “Configurar RS-232” permite ao usuário escolher as portas utilizadas para a comunicação com os dispositivos que a utilizam. As portas são atribuídas automaticamente pelo sistema operacional, portanto, para não haver conflitos é necessária a prévia consulta aos valores nas configurações de sistema do Windows.

#### **1.14.2.c - Visualizar Tabelas**

Neste caso, é possível visualizar os dados armazenados no Banco de Dados, para o evento em curso. A utilidade reside principalmente no fato de se poder verificar eventuais erros, incoerências nos valores medidos ou interrupções no ensaio.

#### **1.14.2.d - Gerar Gráficos**

Novamente, este caso é dividido em sete casos diferentes, um para cada tipo de ensaio armazenado no banco de dados. Cada um destes permite ao usuário visualizar todos os campos de um registro do banco de dados, ou ainda o conjunto de registros relacionados a um dado parâmetro (por exemplo, todas as medidas de tensão de um determinado canal para o evento atual). Este caso será particularmente útil na etapa de análise dos dados.

# Capítulo 3

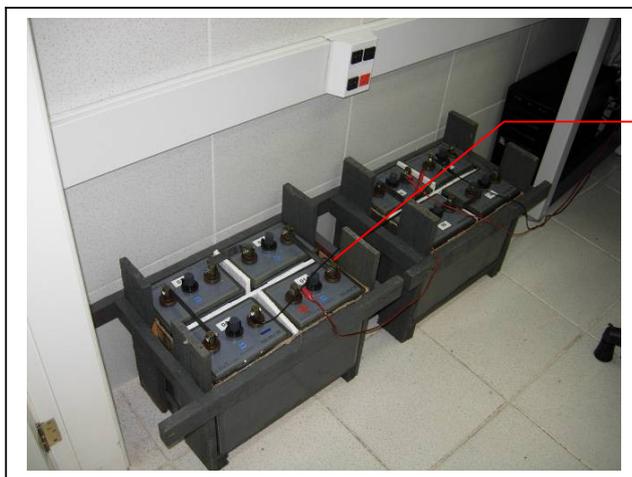
## 1.15 - Tecnologias Utilizadas

*“You’ll get mixed up, of course, as  
you already know. You’ll get mixed up with many  
strange birds as you go. Just never forget to be  
dexterous and deft. And never mix up your right  
foot with your left”  
('Oh, The Places You’ll Go’ - Dr.Seuss)*

O sistema desenvolvido utiliza um conjunto de tecnologias de *hardware* e *software*, de forma integrada, para alcançar os requisitos expostos no capítulo anterior. Entre os aspectos considerados na escolha das tecnologias estão o desempenho e a flexibilidade oferecidos para determinada tarefa. Essas tecnologias são listadas a seguir.

i) Acumuladores chumbo-ácido ventilados (Fig,3-1), em número de 8 (2x4), montados em série, sempre em carga, da marca “Fulguris” (possuem livre escape de gases e possibilitam a reposição de água), com os seguintes parâmetros, extraídos do manual[7]:

- Capacidade Nominal ( $C_{10}$ ): 125Ah;
- Tensão de flutuação padrão: 2,2V;
- Vida útil (até 80% da capacidade nominal): 12 anos.
- Todos os parâmetros se referem à temperatura padrão de 25°C.



Baterias

Figura 3-1. Banco de baterias disponíveis no Laboratório.

ii) Equipamento de medição de condutância “WebAcc”(Fig. 3-2), desenvolvido no LIF, com as funcionalidades de medição de condutância em baterias, de forma individual nos elementos, e envio de dados para análise em tempo real via Internet; o protótipo do WebAcc usado no projeto possui 8 canais de leitura, cada um ligado a um elemento de 2,2V do item anterior, e o acionamento de leituras é feito enviando-se comandos específicos de forma serial (RS-232) via software.

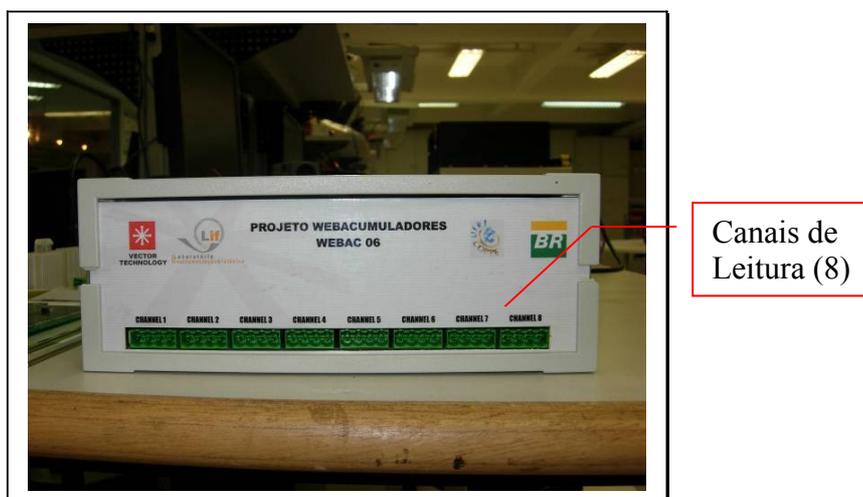


Figura 3-2. WebAcc – Equipamento de medição de condutância em baterias.

iii) Equipamento de medição de condutância “BITE3”, da marca Megger, disponível comercialmente (Fig. 3-3); as medidas do WebAcc serão comparadas com as deste equipamento para que sejam consideradas válidas; este equipamento não é acionável via software, necessitando de operação manual, a cada final de ciclo.



Figura 3-3. Megger BITE3- Equipamento para medição de condutância em baterias.

iv) Termo-higrômetro (mede temperatura e umidade relativa do ar), com saída serial RS-232, da marca Novus, modelo myPCProbe-RHT (Fig. 3-4);



Figura 3-4. Termo-higrômetro Novus myPCProbe-RHT.

v) Painel de Teste de Vida Cíclica de Baterias (CLT), da marca A&C Automação (Fig. 3-5): O Painel CLT serve para realizar carga, descarga e repouso monitorado de baterias, com medidas de tensão, corrente e temperatura em tempo real. A programação dos ciclos é feita através de software específico. O CLT unifica as funções dos retificadores e derivadores (shunts) descritos nas normas relativas aos ensaios com acumuladores.



Figura 3-5. A&C CLT. Painel de teste de vida cíclica de baterias.

vi) Estufa, da marca “Nova Ética” (Fig. 3-6): necessária para manter a temperatura desejada nos ensaios de envelhecimento em alta temperatura.



Figura 3-6. Estufa onde serão realizados os ensaios de durabilidade.

vii) Solução de acetato de potássio ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ) ou fluoreto de potássio (KF), necessária para manter o ar no interior da estufa com umidade relativa estável em cerca de 20%.

viii) Computador tipo PC, para programação dos ciclos e visualização dos resultados. A bancada de trabalho está mostrada na figura 3-7:

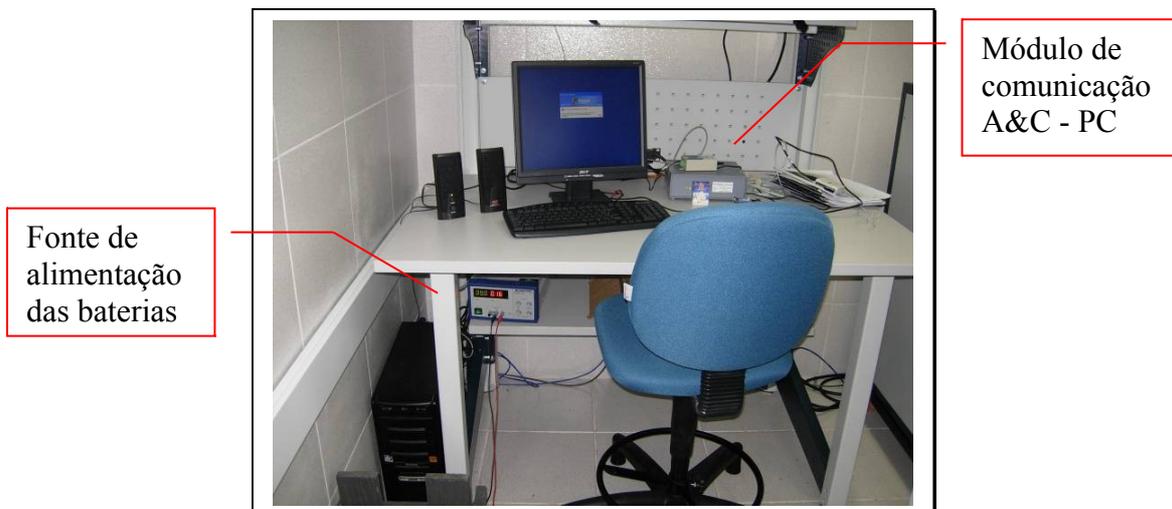


Figura 3-7. Bancada de operação dos ensaios.

ix) Relés de estado sólido, modelo Markare MKRL-100 (Fig. 3-8), necessários para interromper a alimentação do painel CLT caso haja algum evento condicionante de término dos ensaios, por exemplo, se a tensão em algum elemento em descarga chegar a valor menor que o limite mínimo indicado nas normas, ou ainda, excesso de temperatura durante a carga.



Figura 3-8. Relé de estado sólido para interrupção de ciclos.

x) Software National Instruments LabWindows/CVI: é um ambiente de desenvolvimento integrado (em linguagem C ANSI) que oferece um conjunto abrangente de ferramentas de programação para criar e testar aplicações de controle e instrumentação virtual. A ferramenta combina a longevidade e capacidade de reutilização do ANSI C, com funcionalidades de controle de instrumentos, aquisição e análise de dados e desenvolvimento de interfaces gráficas amigáveis ao usuário. O LIF conta com cópias licenciadas do aplicativo.

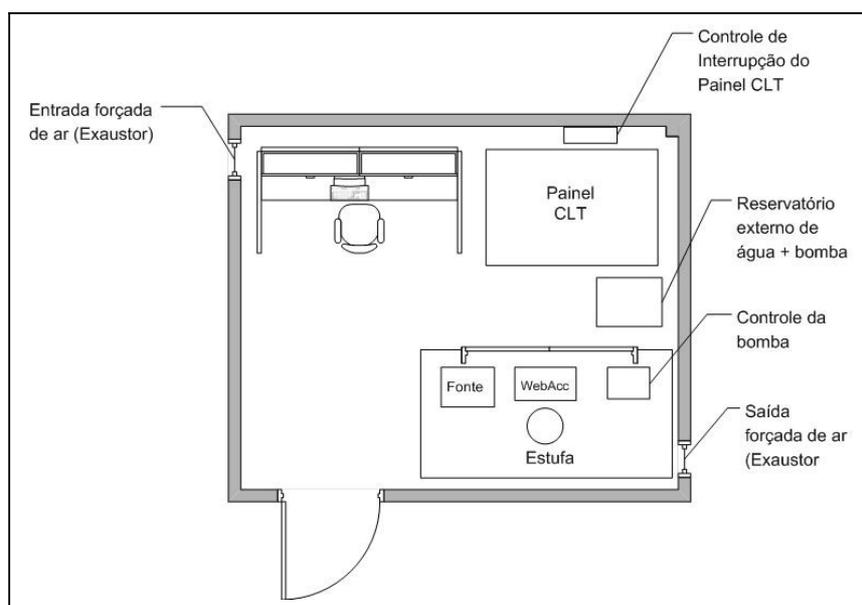


Figura 3-9. Layout da sala de realização dos ensaios.

Na figura 3-9 é possível visualizar um layout da sala de realização dos ensaios, com dimensões aproximadas. Note-se que foi prevista a instalação de exaustores para circulação forçada de ar no ambiente, pois é sabido que as baterias do tipo ventiladas permitem o livre escape de gases. Pode-se, ainda, ver a disposição dos equipamentos no ambiente de trabalho.

# Capítulo 4

## 1.16 - Desenvolvimento do Sistema

*“You will come to a place where the streets are not marked. Some windows are lighted. But mostly they’re darked. A place you could sprain both your elbow and chin! Do you dare to stay out? Do you dare to go in?”*  
(‘Oh, The Places You’ll Go’ - Dr. Seuss)

Ao longo deste capítulo, será detalhado o desenvolvimento do sistema, feito a partir das especificações apresentadas no Capítulo 2 e das tecnologias listadas no Capítulo 3. Primeiramente, serão sucintamente descritos os ensaios definidos para a finalidade de envelhecer o banco, sem deteriorar as características físico-químicas dos elementos, dentro das limitações dos equipamentos de medidas e de controle. Em seguida, uma descrição detalhada do sistema computacional e dos protótipos de hardware desenvolvidos para a execução dos ensaios.

## 1.17 - Estudos e definição de procedimentos

É interessante, na validação de um equipamento destinado a monitorar bancos de baterias, percorrer toda a vida útil de um determinado banco. Como o prazo previsto para o término do projeto WebBR termina muito antes de se alcançar a vida útil padrão de um banco (de acordo com o manual das baterias disponíveis, 12 anos, menor que o tempo padrão de 15 anos), procurou-se definir ensaios que promovessem uma degradação o mais acelerada possível dos elementos disponíveis para os testes, de forma que seja possível validar o parâmetro condutância como índice que caracteriza o estado operacional da bateria, e o correto funcionamento da ferramenta WebAcc. Isso se deu através de pesquisas em diversas normas nacionais e internacionais relativas ao assunto. Em seguida, foram elaborados os procedimentos necessários para os ensaios, os equipamentos e softwares necessários para os ensaios.

É importante notar que os procedimentos definidos para os ensaios do WebBR não são apenas compilações dos ensaios ditados pelas normas; para atender às

exigências do projeto, em relação principalmente às restrições de tempo e frequência de coleta de dados, foi necessário modificar alguns dos procedimentos preexistentes na norma NBR14199[3], com base na especificação técnica da empresa norte-americana Telcordia: “*Generic Requirements for Accelerated Life Testing of Valve Regulated Lead Acid Batteries at High Temperatures*”[5], na norma IEC60896-11[8] e no artigo da empresa italiana FIAMM “*VRLA Battery Aging Characteristics*” [6].

Os ensaios necessários para a finalidade desejada, em ordem de realização, são descritos nos próximos itens:

### **1.17.1 - Preparação elétrica para ensaios de tipo**

O objetivo deste procedimento é a preparação inicial da amostra (baterias participantes do ensaio), um tratamento prévio, somente para realização dos ensaios elétricos de tipo, de modo que ao começo dos ensaios os acumuladores possuam valores estáveis de capacidade.

As amostras devem ser submetidas a no mínimo dois e no máximo dez ciclos de carga e descarga de modo a se obterem dois valores consecutivos de capacidade, nas mesmas condições e corrigidos em temperatura, conforme a equação (I):

$$C_{25} = \frac{C_t}{1 + K(T - 25)}$$

Onde  $C_{25}$  é a capacidade corrigida para 25°C,  $C_t$  é a capacidade corrigida para a temperatura T°C, K é o coeficiente de temperatura para a capacidade (no caso em questão, K é determinado a partir do gráfico constante do manual das baterias[7]), e T é a temperatura média dos elementos, em graus Celsius, que corresponde à média aritmética das leituras obtidas no decorrer dos ensaios. Para regimes de descarga de até 5h, inclusive, considerar apenas a temperatura inicial nos cálculos.

As medidas de tensão, densidade de eletrólito e temperatura dos elementos durante a descarga devem ser registradas em, no mínimo, a 10%, 25%, 50% e 80% da duração esperada da mesma; em seguida, devem ser feitas em intervalos de tempo que permitam a passagem pelo valor da tensão final de descarga de 1,75V.

A descarga deve ser feita com corrente constante e de valor numericamente igual a  $0,1 * C_{10}$  ( $C_{10}$  é a capacidade para uma descarga de 10h; no caso em questão, 125 Ah, o que dá uma corrente de 12,5A). Durante a descarga a temperatura do eletrólito deve ficar sempre entre 20°C e 30°C.

Para atingir o estado de plena carga (no final do ensaio), proceder a uma carga utilizando o processo através de corrente constante ou tensão constante, de forma que a temperatura do eletrólito dos elementos (medida com o termopar fornecido com o painel A&C de carga e descarga) nunca ultrapasse 45°C; caso isto ocorra, a carga deve ser interrompida e reiniciada após o eletrólito atingir 35°C.

Para a carga com corrente constante, seu valor deve ser igual a  $0,1 \cdot C_{10}$  (12,5A). Como instante final de carga considera-se o momento em que foi realizada a primeira de três leituras de tensão e densidade consecutivamente estáveis em intervalos de 30 minutos, no elemento que por último atingiu a estabilização. A carga deve ainda ser prolongada por um período de tempo de 1h ou 2h após o instante final de carga.

Para a carga com tensão constante, manter a tensão no retificador ajustada em 2,40V/elemento, com corrente limitada a  $0,1 \cdot C_{10}$  (12,5 A) até atingir o estado de plena carga. Consideram-se os elementos plenamente carregados quando após 72h de carga, por 6h consecutivas obtém-se estabilidade na corrente, dentro dos limites de precisão dos instrumentos.

Após a carga, os elementos devem ser mantidos em repouso no mínimo por 4h, e no máximo por 24h, até que a temperatura do eletrólito e a tensão estabilizem, antes do início de nova descarga.

Os valores de capacidade determinados por este ensaio devem ser iguais ou maiores a 100% do valor nominal, e com diferenças menores que 4%; caso contrário, a amostra deve ser substituída.

O ensaio estará concluído quando forem alcançados os resultados esperados.

### **1.17.2 - Determinação do Valor de Referência de Condutância (VRC)**

Ao fim do ensaio de preparação, quando a capacidade dos elementos estiver estável, deverá ser feito o procedimento para o cálculo do valor de referência de condutância (VRC). O VRC será o parâmetro para comparação dos valores de condutância obtidos ao longo de todos os ensaios; segundo Cardoso [1], o VRC é obtido a partir da média das maiores medidas iniciais correspondentes a cerca de 40% do tamanho do banco. Segundo Rosolem *et al. apud* Cardoso [1], pode ser estabelecida a seguinte relação do estado do elemento (novo) com o VRC:

- Elementos com condutância inferior a 60% do VRC estão em mau estado, devendo ser substituídos de imediato;

- Elementos com condutância entre 60% e 80% do VRC representam um sinal de alerta, sendo recomendado um ensaio de capacidade para determinar o real estado do elemento;
- Elementos com condutância superior a 80% do VRC estão em estado satisfatório.

Deve-se ressaltar que estas tolerâncias se referem aos elementos novos, antes dos ensaios de envelhecimento acelerado. O comportamento ao longo dos ensaios (o quão rápido a condutância decairá) depende das reações químicas em cada elemento, e será determinado pelas medições realizadas.

Para o WebBR, definiu-se o procedimento a seguir:

(i) Após o final do ensaio de preparação elétrica, quando os elementos estiverem em plena carga e com temperatura estabilizada (indicando que as reações químicas se estabilizaram) realizar 30 medições de condutância, em intervalos de 5 minutos, com o WebAc e o Megger.

(ii) Será tomada a média e desvio-padrão dos valores de condutância medidos para cada um dos 8 elementos.

(iii) Os elementos com as 6 melhores médias serão utilizados nos ensaios posteriores, descartando-se os outros 2; dentre os 6 melhores, as 4 melhores médias serão tomadas para o cálculo do VRC. Será tomada nova média simples das 4 melhores médias. Esta nova média será o VRC (Note-se que haverá dois valores calculados, um do WebAc e outro do Megger).

(iv) Os 6 elementos separados na etapa anterior serão divididos aleatoriamente em dois grupos de 3;

(v) O primeiro grupo (3 elementos) servirá como controle, e ficará em estado de flutuação (tensão de 2,2V/elemento) durante todos os ciclos de ensaios posteriores.

(vi) O segundo grupo (3 elementos) passará pelo processo de envelhecimento acelerado.

### **1.17.3 - Ensaio de durabilidade frente à carga em tensão de flutuação padrão e temperatura elevada**

Este ensaio visa avaliar o comportamento do acumulador submetido a condições adversas e em que graus estas poderiam afetar a sua vida. Durante este ensaio o nível do eletrólito deve ser mantido entre as marcas de máximo e mínimo, completando-se, quando necessário, com água destilada e deionizada.

Neste ensaio os elementos, depois de submetidos ao tratamento prévio descrito no item 4.1.1, devem ser colocados em ambiente que mantenha o eletrólito na temperatura referenciada de  $(71\pm 1)^\circ\text{C}$  e a 20% de umidade relativa do ar conforme descrito por Lodi, *et al* [6]. Sobre seus terminais aplica-se então uma tensão de  $(2,20\pm 0,01)\text{V}$  (tensão padrão de flutuação) multiplicada pelo número de elementos associados em série com corrente limitada a  $2I_{10}$  (neste caso, 6,6V e corrente limitada em 25 A).

Deve ser anotado o valor da corrente, quando de sua estabilização, ou 72h após estarem os elementos submetidos ao ambiente em alta temperatura (corrente inicial).

O controle de umidade para a estufa pode ser realizado usando-se uma solução saturada de acetato de potássio ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ) ou fluoreto de potássio (KF) em um recipiente, dentro da estufa [5]. Periodicamente, deve-se agitar e/ou adicionar água destilada à solução.

Durante os 15 dias em que os elementos ficaram sob alta temperatura, devem ser realizadas duas medidas diárias (WebAc) em todos elementos incluídos no ensaio, inclusive os de controle, que estão permanentemente em flutuação.

Periodicamente (cerca de 15 dias [6]), após registrar o valor da corrente, devem-se desconectar os elementos do equipamento de carga e deixá-los em repouso na temperatura ambiente  $(25\pm 2)^\circ\text{C}$  por 48h, ao fim das quais deve-se realizar o ensaio de capacidade (no caso, em regime de 5 horas de descarga).

Após a descarga, verificar se a capacidade obtida corrigida em temperatura (eq.I) é superior a 80% da capacidade nominal  $C_5$  (106 Ah). Se isto ocorrer, repete-se o procedimento descrito no ensaio. Caso contrário, o ensaio deve ser encerrado.

Outra condição determinante para o término do ensaio é a ocorrência de corrente de flutuação superior a quatro vezes o valor inicial.

Um diagrama do ensaio de durabilidade pode ser visto na figura 4-1.

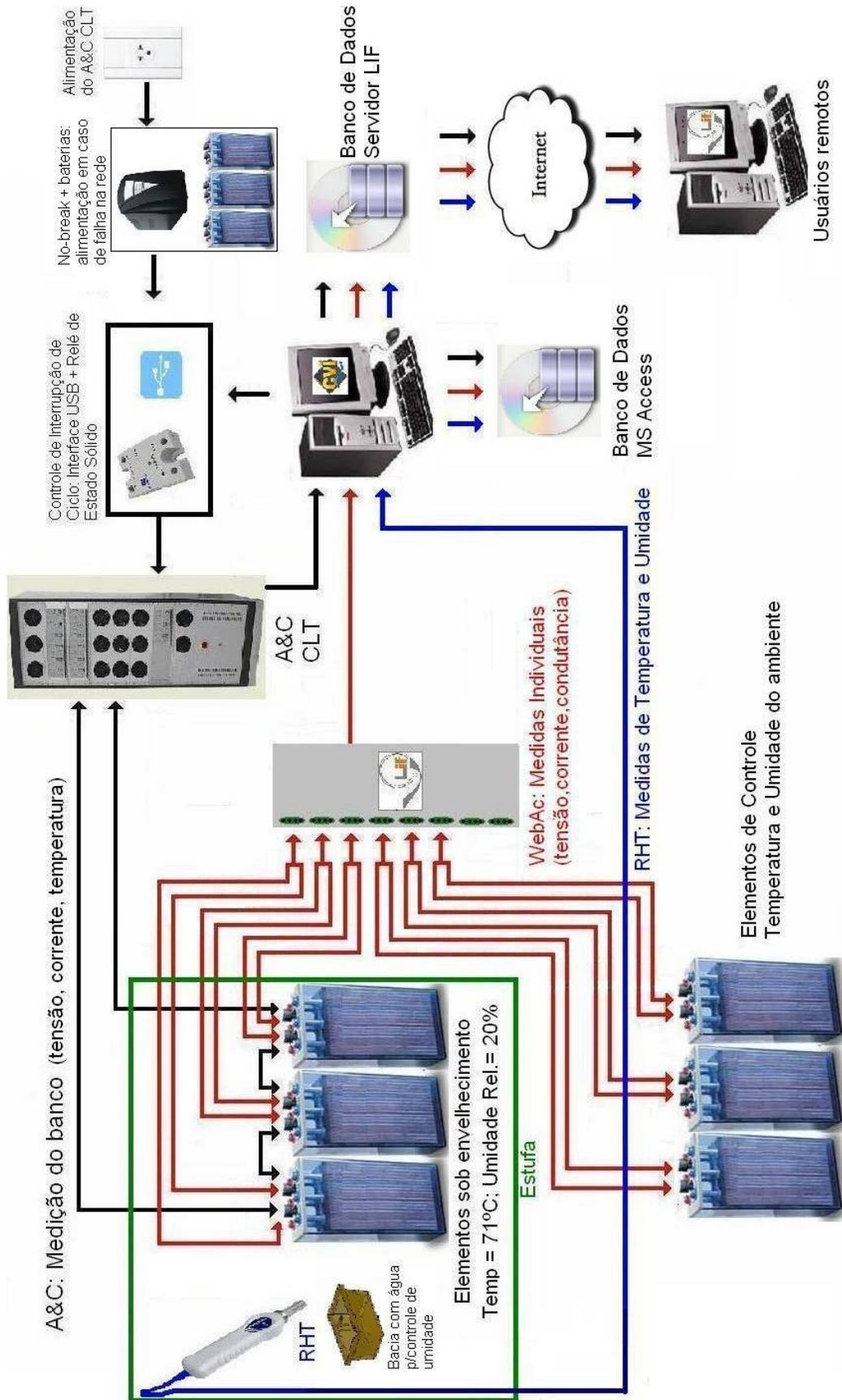


Figura 4-1. Diagrama representativo do ensaio de durabilidade.

#### 1.17.4 - **Ensaio de Capacidade, em regime diferente do nominal.**

O objetivo deste ensaio é a determinação da capacidade em Ah da bateria com qualquer número de elementos em qualquer regime. Para tanto é necessário submetê-los a uma descarga por um período de tempo determinado em função do regime escolhido.

A bateria ou elemento deve estar garantidamente no estado de plena carga, o qual é obtido submetendo a bateria ou elemento a uma carga com corrente constante, conforme o item 4.1.1.

Antes de iniciar o ensaio, devem ser anotados os seguintes dados: Temperatura ambiente, tensão de todos os elementos-piloto, temperatura de todos os elementos-piloto, densidade de eletrólito de todos os elementos, características do derivador (shunt) a ser utilizado.

A corrente de descarga deve ser numericamente igual a  $I = C_{rt} / t$  (conforme a norma IEC60896-11 [8]), onde  $C_{rt}$  é a capacidade no tempo referenciado (ex.  $C_{10}$  para 10 horas,  $C_5$  para 5 horas), e  $t$  é o tempo de descarga em horas. Para o caso em questão, a capacidade para 5h é de 106Ah (de acordo com o manual), o que dá uma corrente de 21,2A. Iniciar a descarga após conectar à bateria uma carga resistiva em série com um derivador (para medição da corrente de descarga), ajustando-a para o valor referenciado (21,2A).

As leituras de temperatura e densidade dos elementos-piloto e as leituras de tensão das baterias (incluindo as de controle, que não participam do ensaio) durante a descarga devem ser registradas no mínimo a 10%, 25%, 50% e 80% da duração esperada da descarga (30, 75, 150 e 240 minutos) e, em seguida, em intervalos de tempo que permitam determinar a passagem pelo valor de tensão final de descarga:  $n * 1,75V$  (para  $n$  células; no caso em questão,  $n = 3$ , esse valor dá 5,25V). A média aritmética das temperaturas obtidas deve ser considerada para efeito da correção da capacidade como temperatura média dos elementos na eq. (I).

A frequência de leituras nos elementos de controle (em flutuação permanente) deve ser a mesma daquela dos elementos sob envelhecimento.

O ensaio também deve ser encerrado caso qualquer elemento atinja a tensão de  $1,75 - \sqrt{n} \times 200mV$ , onde  $n$  é o número de elementos em série no banco, de acordo com a norma IEC60896-11 [8]. Neste projeto esse valor é de 1,41V ( $n=3$  elementos). Assim, torna-se necessário o uso de um sistema/dispositivo que realize tal interrupção.

Após o término do ensaio, a bateria ou elemento deve ser recarregado conforme descrito no item 3.1.1. Um diagrama do ensaio de capacidade pode ser visto na figura 4-2:

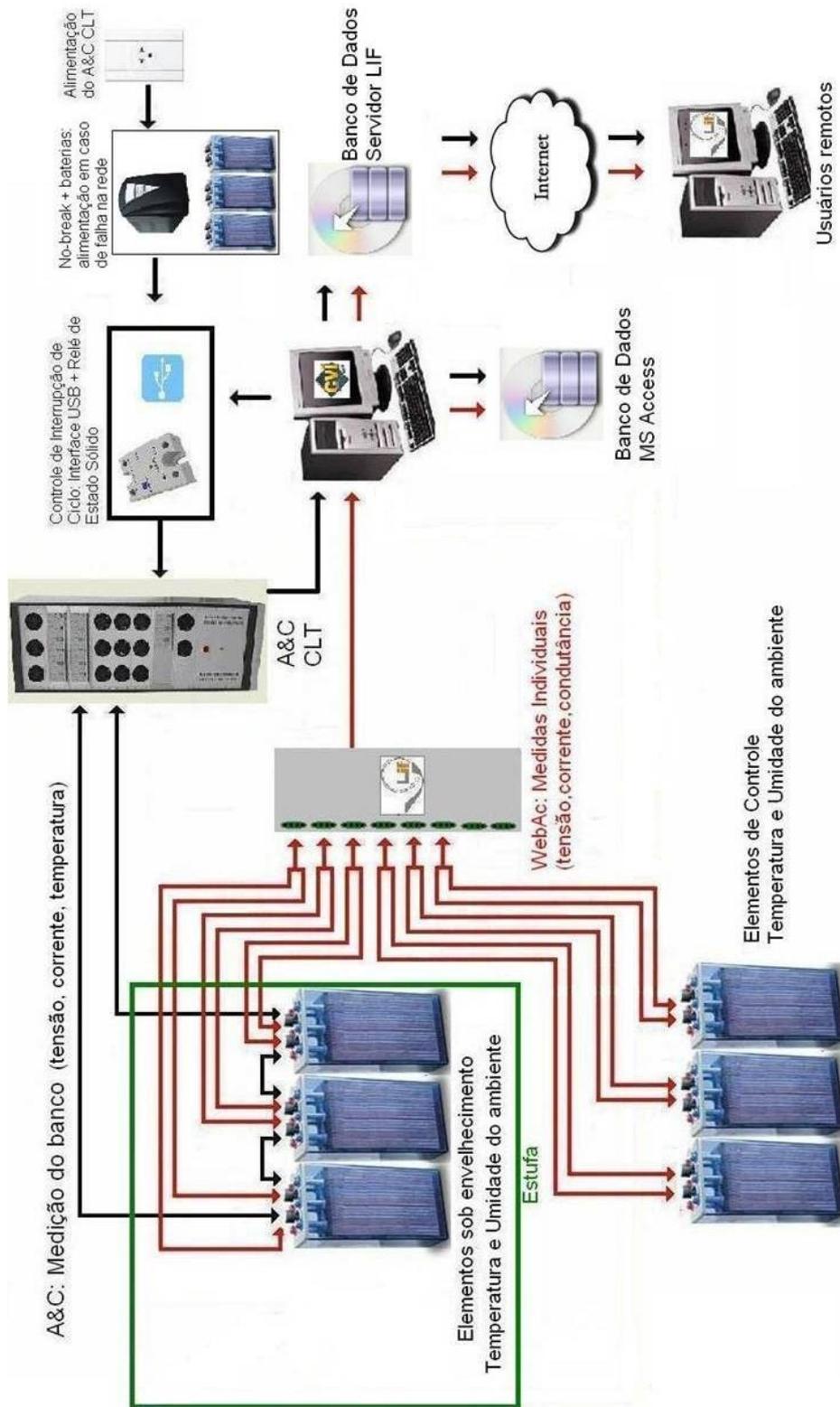


Figura 4-2. Diagrama representativo do ensaio de capacidade.

Assim, definidos cada um dos procedimentos, torna-se possível ter uma visão geral dos ensaios a serem feitos, na seguinte ordem:

- Ensaios de Preparação Elétrica;
- Determinação do VRC;
- Ciclos de ensaios de envelhecimento até chegar à capacidade de 80% do valor nominal.

Cada um dos ciclos de envelhecimento compreende várias etapas, como ensaio de durabilidade, ensaio de capacidade, além de intervalos para estabilização.

A visão geral dos ensaios e o detalhamento das etapas cíclicas podem ser vistos nas figuras 4-3 e 4-4. Fluxogramas dos ensaios podem ser vistos no Apêndice A.

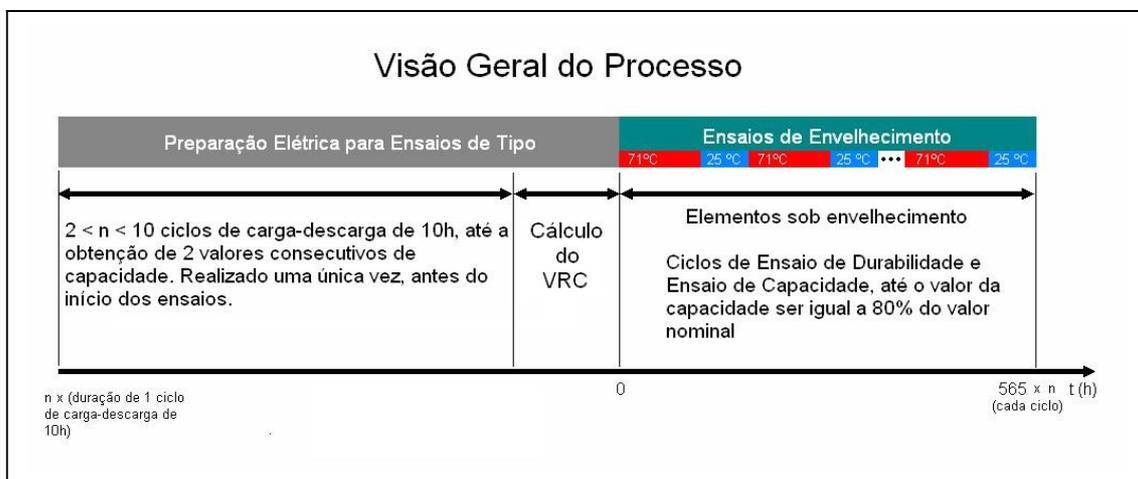


Figura 4-3. Visão geral do processo de ensaios.

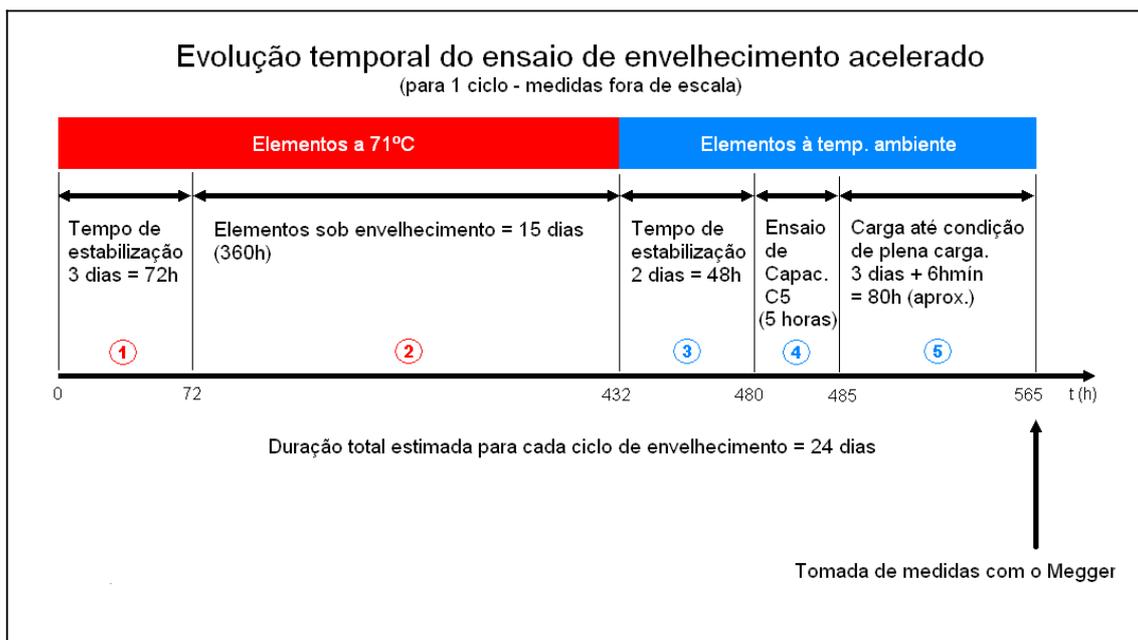


Figura 4-4. Visão geral dos ensaios cíclicos de envelhecimento acelerado.

## 1.18 - Desenvolvimento do Software

### 1.18.1 - Introdução

Estando a estrutura física dos ensaios adquirida e montada, e os procedimentos definidos, o próximo passo foi o desenvolvimento de um software capaz de, juntamente com o software de operação do painel CLT, controlar a duração dos ensaios, automatizar o processo de medidas de forma integrada em todos os equipamentos (termo-higrômetro, WebAcc, A&C- painel de carga e descarga de baterias) e incluí-las em bancos de dados, com possibilidade de acompanhamento via Internet. Por questões de facilidade de integração e familiaridade, foi escolhida a linguagem C, sendo usado o ambiente de desenvolvimento integrado da National Instruments LabWindows/CVI. Um diagrama explicativo da estrutura de tal software pode ser visualizado na figura 4-5:

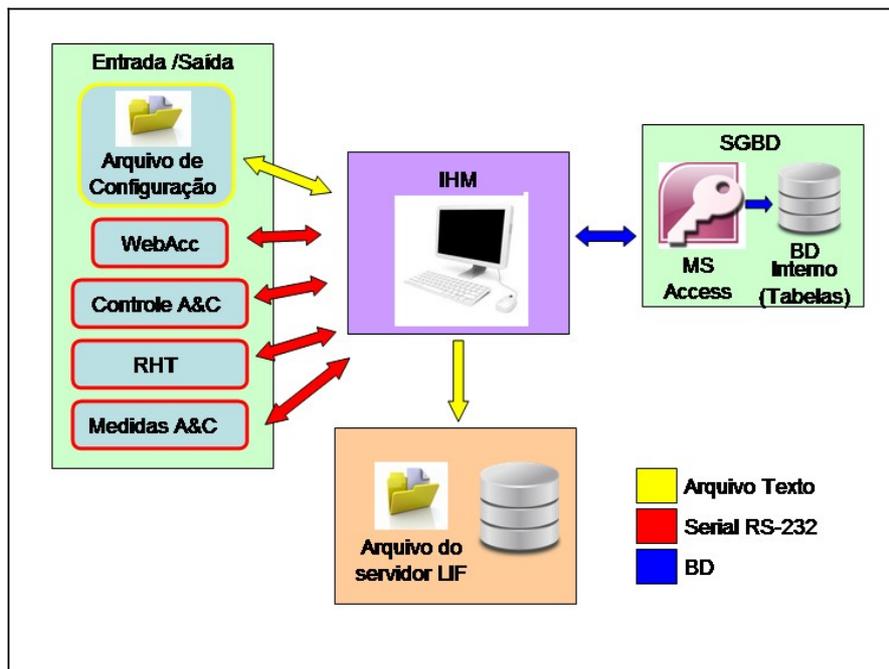


Figura 4-5. Estrutura do software de controle dos ensaios.

No diagrama da figura 4-5 percebe-se ainda o tipo de comunicação realizada pelo sistema: as setas amarelas indicam o uso de arquivos-texto (arquivo de configuração, e os dados enviados ao servidor do LIF para acesso e acompanhamento via Internet); as setas vermelhas representam comandos enviados e dados recebidos via serial; e as setas azuis representam comandos do Banco de Dados (uso de funções SQL internas do CVI).

### 1.18.2 - Interface com o Usuário

A ferramenta LabWindows/CVI possibilita o desenvolvimento de interfaces gráficas de forma simples e rápida. Tais interfaces promovem a interação do usuário com as funcionalidades do sistema, listadas no Item 2.3.2. A interface principal do sistema é mostrada na Figura 4 -6. É possível identificar o menu principal, no qual o usuário pode escolher o tipo de ensaio que irá realizar, e após pressionar o botão “Iniciar Ensaio”, à direita do menu, são iniciados os seguintes processos, para todos os tipos de ensaios: contagem do tempo, tomada de leituras em todos os canais do WebAcc (um para cada elemento) e do termo-higrômetro - usando *timers* assíncronos, armazenamento em banco de dados interno (Access), criação/atualização do arquivo a ser enviado para o servidor do LIF, criação/atualização do arquivo de configurações e armazenamento dos valores das medidas para exibição de gráficos e tabelas.

Além disso, na seção de Configurações, é possível ainda configurar as portas COM usadas na comunicação serial com os equipamentos, visualizar os dados gravados na tabela do banco de dados interno do sistema e gerar gráficos com os diversos parâmetros medidos ao longo de uma determinada etapa dos ensaios.

Cada um dos processos citados será detalhado a seguir.



Figura 4-6: Interface principal do software.

### 1.18.2.a - Menu “Evento Atual”

O menu “Evento Atual” é a principal funcionalidade do programa. Nele o usuário escolhe o ensaio a ser realizado, conforme mostra a figura 4-7. Posteriormente, ao pressionar do botão “Iniciar Ensaio” ao lado gera o evento que inicia todos os processos.

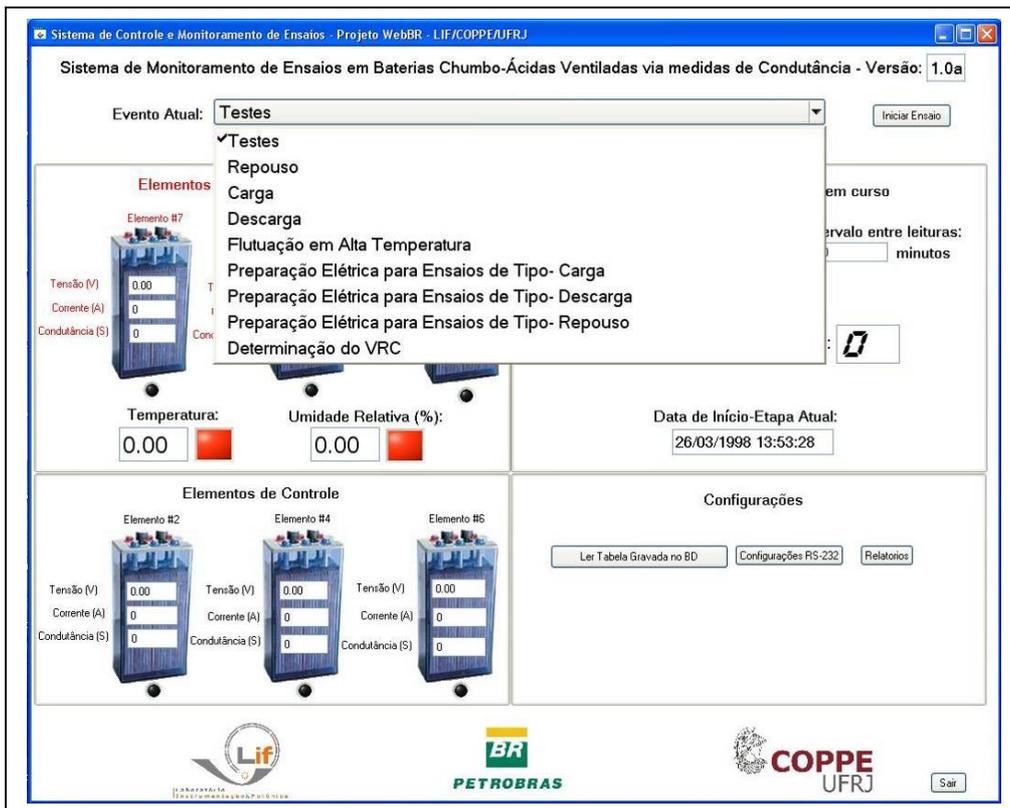


Figura 4-7. Menu “Evento Atual”.

Cada um dos eventos - os ensaios escolhidos no menu - seguem os parâmetros definidos na etapa de definição de procedimentos (4.1):

O evento “Testes” realiza sequencialmente todas as funções do programa, e serve para demonstração de funcionamento;

O evento “Repouso” prevê apenas o monitoramento da temperatura, umidade durante um intervalo de tempo determinado (24h);

O evento “Carga” realiza o monitoramento da carga com tensão constante (programada no *software* do painel CLT), conforme descrito no item 4.1.1;

O evento “Descarga” realiza o monitoramento de etapas de descarga conforme descrito no item 4.1.1;

O evento “Flutuação em Alta Temperatura” realiza o monitoramento do ensaio de durabilidade, conforme explicado no item 4.1.3;

Os eventos “Preparação Elétrica para Ensaio de Tipo – Carga”, “Preparação Elétrica para Ensaio de Tipo – Descarga” e “Preparação Elétrica para Ensaio de Tipo – Repouso” funcionam basicamente como os três anteriores, apenas diferindo o código usado para identificação no Banco de Dados, por se tratar do ensaio de preparação;

O evento “Determinação do VRC” abre uma nova janela, em forma de planilha, na qual ocorrerão as 30 leituras de condutância pelo WebAcc de forma automática, e permitindo a inserção manual dos valores obtidos pelo Megger. A janela de determinação do VRC é mostrada na figura 4-8:

Medidas de Condutância (S)															
Elemento #1		Elemento #2		Elemento #3		Elemento #4		Elemento #5		Elemento #6		Elemento #7		Elemento #8	
WebAc	Megger	WebAc	Megger	WebAc	Megger	WebAc	Megger	WebAc	Megger	WebAc	Megger	WebAc	Megger	WebAc	Megger
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4-8. Determinação do Valor de Referência de Condutância – VRC.

Ao final da etapa, as médias e desvios-padrão dos valores de condutância de cada elemento são exibidos, as melhores médias são ordenadas e os identificadores dos elementos correspondentes são exibidos. Para os valores do Megger, informados manualmente, os cálculos são feitos ao se pressionar o botão “Calcular VRC-Megger”.

Há, ainda, um conjunto de leds determinando se os valores de condutância de cada elemento se encontram dentro do aceitável, conforme o item 4.1.2., da seguinte forma:

- Elementos com condutância inferior a 60% do VRC estão em mau estado, devendo ser substituídos de imediato - neste caso a cor do led se torna vermelha;
- Elementos com condutância entre 60% e 80% do VRC representam um sinal de alerta, sendo recomendado um ensaio de capacidade para determinar o real estado do elemento – neste caso a cor do led se torna amarela;
- Elementos com condutância superior a 80% do VRC estão em estado satisfatório - neste caso a cor do led se torna verde.

### **1.18.2.b - Cronômetro**

Pôde-se perceber na etapa de definição de procedimentos (4.1) que a correta medição do tempo é um fator crítico para a confiabilidade das leituras realizadas, e do ensaio como um todo. No CVI é possível usar vários tipos de eventos com temporização, dentre eles destacam-se para a aplicação os *Callback Timers* (Timers da Interface Gráfica) e os *Asynchronous Timers* (Timers Assíncronos) [9]. Os primeiros são definidos na própria interface gráfica, de simples implementação e uso, e usam a *thread* principal. Os *timers* assíncronos, por usarem *threads* separadas, possibilitam medições precisas de tempo e intervalos entre leituras confiáveis, sem o travamento da interface principal (que funciona na *thread* mãe), ou seja, a programação *multi-thread* possibilita a atualização em tempo real dos dados exibidos ao usuário e ainda permite a inserção de dados diretamente na interface (útil, por exemplo, para a etapa de determinação do VRC).

Para a implementação do cronômetro, foram testadas as duas alternativas de *timers*, ambas com o mesmo princípio de funcionamento: o incremento do valor exibido a cada segundo, após comparação com o instante de início do ensaio (do clique sobre o botão “Iniciar Ensaio”). Os resultados serão discutidos no Capítulo 5. É possível visualizar o cronômetro, na interface gráfica (Figura 4-6), no quadrante superior direito, abaixo das informações do ciclo/etapa em curso.

### 1.18.2.c - Informações do Ciclo / Etapa em curso

Na figura 4-6 é possível observar, no quadrante superior direito, informações referentes ao ciclo e etapa do ensaio em curso. Estas informações são retiradas do arquivo de configuração, que no início de cada ensaio é atualizado para os valores correntes. O detalhamento dos códigos utilizados para identificar cada etapa e cada ensaio é feito no item 4.2.2.g – Criação / Atualização do Arquivo de Configuração.

### 1.18.2.d - Leituras dos instrumentos / sensores

Da mesma forma que a atualização do cronômetro, as tomadas de medidas no WebAcc e no termo-higrômetro deve ocorrer em intervalos regulares, conforme as recomendações das normas [3], [4] e [8]. Para tal fim, os *timers* da interface gráfica ou *timers* assíncronos podem ser utilizados. A sequência de ações do bloco de código do timer de leituras é, simplificada:

- Abrir portas COM dos dispositivos (com os valores gravados no arquivo de configuração);
- Enviar comando de leitura pela serial;
- Aguardar 10 segundos (intervalo fixo);
- Ler valor das medidas pela serial;
- Tratar as *strings* recebidas;
- Se o valor de tensão, corrente ou temperatura em qualquer dos elementos estiver fora dos limites, enviar comando pela serial para interromper o funcionamento do painel CLT (durante carga ou descarga);
- Se a temperatura ou umidade da estufa estiverem fora dos padrões determinados para o ensaio atual, mudar a cor dos *leds* de atenção (quadrante superior da interface-figura 4-6) para vermelho;
- Armazenar no banco de dados interno os valores medidos (mais detalhes no item 4.2.2.e);
- Atualizar o arquivo de dados do servidor FTP (mais detalhes no item 4.2.2.f);
- Fechar a porta COM dos dispositivos.

- Exibir os valores das medidas atuais na interface (figura 4-4, quadrantes superior e inferior esquerdo, nas figuras das baterias).

- As funções de leitura também foram implementadas e testadas usando os dois tipos de *timers*. Os resultados serão discutidos no Capítulo 5.

#### **1.18.2.e - Armazenamento no Banco de Dados Interno**

Para o armazenamento dos dados das leituras foi escolhido, pela facilidade de integração com o LabWindows/CVI, a ferramenta do Microsoft Office para Bancos de Dados, o Access. O CVI possui diversas funções, baseadas em SQL, para a gestão de bancos de dados. O arquivo do banco de dados criados possui duas tabelas (Tabelas 2-1 e 2-2): uma com os valores das medidas de todos os ensaios, outra com os valores de condutância tomados pelo WebAcc (via software) e pelo Megger (informados manualmente na interface), durante a etapa de determinação do VRC.

#### **1.18.2.f - Criação / Atualização do Arquivo do Servidor**

Visando possibilitar o acesso remoto dos dados de leituras e do estado corrente dos ensaios via Web, foi concebida uma funcionalidade de envio de arquivos do tipo texto, criados de acordo com a sintaxe proposta por Tepedino [2], para o sistema de gestão de dados do LIF. A cada leitura em um determinado canal de um determinado equipamento, cria-se um arquivo, ou adiciona-se uma linha de dados se o arquivo já existir. Pretende-se, assim, ter um arquivo de identificação única para cada etapa, dentro de todos os ciclos, para cada equipamento envolvido. O padrão para criação e atualização segue o exposto:

- Para cada um dos equipamentos é criado um arquivo texto com o seguinte nome:

$$\text{LIF-B} < \underline{x} \ \underline{n_1} \ \underline{n_2} > \text{X.DAT}$$

onde:

x = identificador do equipamento (W para o WebAcc, R para o RHT, A para o A&C);

n<sub>1</sub> = identificador do ciclo (número inteiro de 1 a 9);

n<sub>2</sub> = identificador da etapa (número inteiro de 0 a 8), seguindo o código para identificação constante da Tabela 4-1:

Identificador	Etapa
0	Testes
1	Repouso
2	Carga
3	Descarga
4	Flutuação em Alta Temperatura
5	Ensaio de Preparação - Carga
6	Ensaio de Preparação - Descarga
7	Ensaio de Preparação - Repouso
8	Determinação do VRC

Tabela 4-1. Códigos de identificação das etapas - arquivo do servidor LIF.

- Criado o arquivo, adiciona-se o cabeçalho próprio na primeira linha, e os dados das leituras dos equipamentos nas linhas seguintes.

Adotando-se este modelo, cada arquivo tem uma identificação única, por exemplo:

LIF-BR50X.DAT - Ciclo: 5, etapa: testes, equipamento: termo-higrômetro RHT;

LIF-BW36X.DAT - Ciclo: 3, etapa: descarga do ensaio de preparação, WebAcc; e assim em diante.

Além disso, pode-se, com este padrão para identificação, acompanhar até 10 ciclos de preparação, como o descrito na norma NBR14999 [3], e até 10 ciclos de ensaios de envelhecimento - o que se espera ser suficiente para o envelhecimento completo das baterias.

Estes arquivos gerados são enviados via FTP para o servidor do LIF, que através de uma interface Web, possibilita o acompanhamento remoto dos ensaios, inclusive com informações quanto a eventuais erros ou falhas de equipamentos, de acordo com os resultados do sistema proposto por Tepedino [2].

#### **1.18.2.g - Criação / Atualização do Arquivo de Configuração**

Usa-se um arquivo de configuração (config.ini) no programa para as seguintes finalidades:

- Armazenamento das portas de comunicação serial utilizadas;
- Controle de versões;
- Informações do ciclo / etapa em curso;
- Informações sobre interrupção inesperada da etapa em curso.

A última funcionalidade é particularmente importante, visto que etapas como o ensaio de durabilidade em alta temperatura tem duração de aproximadamente 15 dias, o que torna inviável o constante acompanhamento do operador (fim do horário de expediente, fins de semana, feriados) e é necessário retornar ao ensaio automaticamente caso haja um evento que interrompa a tomada de medidas, como por exemplo uma interrupção no fornecimento de energia elétrica.

O arquivo de configuração é mostrado na tabela 4-2.

```
WebBR- Arquivo de configuracao
%
[Opcoes]
portaCOMRHT =COM3;
portaCOMWebAc =COM5;
portaCOMControle =COM4;
%
[versao]
versao =1.0a;
%
[info ciclo]
datainicio =26/03/1998 13:53:28;
cicloAnterior =1;
etapaAnterior =8;
%
[flags]
ensaio =1;
```

Tabela 4-2. Estrutura do arquivo de configuração.

Os códigos de identificação dos ciclos e etapas obedecem às mesmas regras do arquivo do servidor Web, descritas no item 4.2.2.f. O *flag* “ensaio” serve para o sistema determinar, no momento da inicialização, se havia ou não um ensaio em andamento anteriormente. Como o programa se inicia juntamente com o sistema operacional Windows, em caso de uma interrupção de energia, por exemplo, o sistema reinicia automaticamente, assim, usando o *flag* do arquivo de configuração, pode-se recomeçar o ensaio interrompido.

Desta forma, o *flag* ensaio = 0 representa que não havia ensaio em curso antes da inicialização do sistema; o valor ensaio =1 representa que havia um ensaio antes da

inicialização, que foi interrompido, logo, busca no arquivo as informações do ciclo e reinicia o processo.

#### 1.18.2.h - Configurações RS-232

Na parte de configurações (quadrante inferior direito da interface gráfica – Figura 4-6) é possível visualizar o botão “Configurações RS-232”. Ao pressionar o botão, abre-se uma nova janela (Figura 4-9), onde é possível determinar as portas COM para cada um dos equipamentos que se comunicam via serial (WebAcc, Controle do Painel CLT e Termo-higrômetro RHT). É possível ver as portas atribuídas pelo sistema operacional (Windows XP) para os equipamentos no Painel de Controle > Sistema > Hardware > Gerenciador de Dispositivos > Portas COM e LPT. O botão “Finaliza Configurações” salva as portas escolhidas no arquivo de configuração (config.ini).



Figura 4-9. Janela de Configuração das portas seriais.

#### 1.18.2.i - Visualizar Tabela Gravada no BD

É possível visualizar os dados gravados no banco de dados interno em formato de tabela. Para tanto, basta pressionar o botão “Ler Tabela Gravada no BD” no quadrante inferior direito da interface (Figura 4-6). A Figura 4-10 representa uma exibição da tabela na fase de testes de funcionamento do programa.

tempo	tensaoE1	tensaoE2	tensaoE3	correnteE1	correnteE2	correnteE3	condutanciaE1	condutanciaE2	condutanciaE3	temperatura	umidade			
0.0217	2	2.218	2	2.40	5	5.0	5	51063	970	1005948.0	827	960	23.2	56.7
0.0211	2	2.217	2	2.40	5	5.0	5	5862.0	964	992942.0	820	960	23.2	55.8
0.0217	2	2.217	2	2.50	5	5.0	5	51058	957	989942.0	883	946	23.2	57.0
0.0213	2	2.217	2	2.50	5	5.0	5	51029	951	981962.0	960	943	23.2	55.4
0.0217	2	2.217	2	2.50	5	5.0	5	51011	947	970936.0	967	930	23.2	54.5
0.0217	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	5982.0	935	960927.0	911	931	23.3	55.9
0.0217	2	2.217	2	2.50	5	5.0	5	51017	938	958927.0	473	928	23.3	55.2
0.0217	2	2.217	2	2.50	5	5.0	5	51105	988	1028982.0	915	975	22.8	57.1
0.0217	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51117	992	1031982.0	872	989	22.5	60.0
0.0218	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51115	994	1028973.0	915	986	22.4	61.8
0.0219	2	2.219	2	2.40	5	5.0	5	51100	973	1029963.0	814	986	22.4	63.1
0.0218	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51102	994	1025983.0	965	990	22.3	62.0
0.0218	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51102	983	1028968.0	889	965	22.3	62.8
0.0218	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51105	986	1025967.0	892	993	22.3	61.8
0.0218	2	2.216	2	2.50	5	5.0	5	51117	978	10281003	591	980	22.4	62.5
0.0218	2	2.215	2	2.50	5	5.0	5	51107	984	10391007	777	985	23.0	59.4
0.0218	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51081	967	1014942.0	810	965	23.0	60.2
0.0217	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	51049	957	983926.0	859	952	23.0	61.7
0.0218	2	2.218	2	2.40	5	5.0	5	51016	938	975916.0	962	947	23.1	60.2
0.0218	2	2.218	2	2.50	5	5.0	5	5999.0	942	976906.0	846	943	23.1	58.9
0.0217	2	2.216	2	2.50	5	5.0	5	51095	978	1025948.0	770	980	23.1	56.5
0.0217	2	2.214	2	2.50	5	5.0	5	51105	968	1051685.0	913	997	22.9	64.3

Figura 4-10. Visualização dos dados das leituras no formato tabular.

### 1.18.2.j - Relatórios / Gráficos

Na parte de Configurações, é possível ainda visualizar o botão “Relatórios”, a partir de onde se abre uma nova janela (figura 4-11), onde há um menu no qual se pode escolher visualizar gráficos (para o evento em curso) de diversos parâmetros de todos os canais de leitura envolvidos no ensaio – tensão, corrente, condutância, temperatura, umidade, e ainda, é possível visualizar gráficos de evolução da capacidade dos acumuladores ao longo dos diversos ciclos.

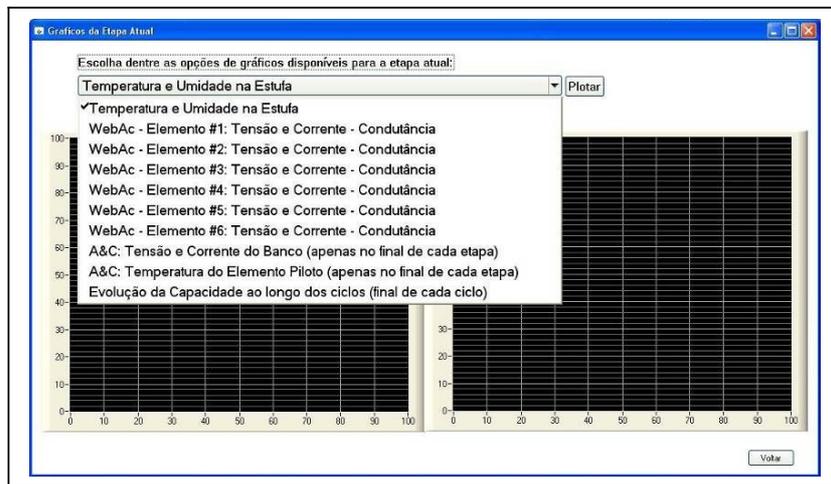


Figura 4-11. Janela de exibição de gráficos para o ciclo corrente.

### 1.18.3 - O Programa de Testes

Foi desenvolvido, antes e durante a implementação do programa principal, um programa de testes, no qual cada uma dos blocos de funcionalidades descritas nos itens anteriores foi sendo implementada e testada, sem interferir no funcionamento do

programa principal. O programa de testes, então, tem uma interface própria, mais simples, e as mesmas funcionalidades do programa principal. Ele foi usado, ao longo do projeto, para testar separadamente cada uma das funções, à medida que foram sendo criadas. A interface do programa de testes pode ser vista na figura 4-12:

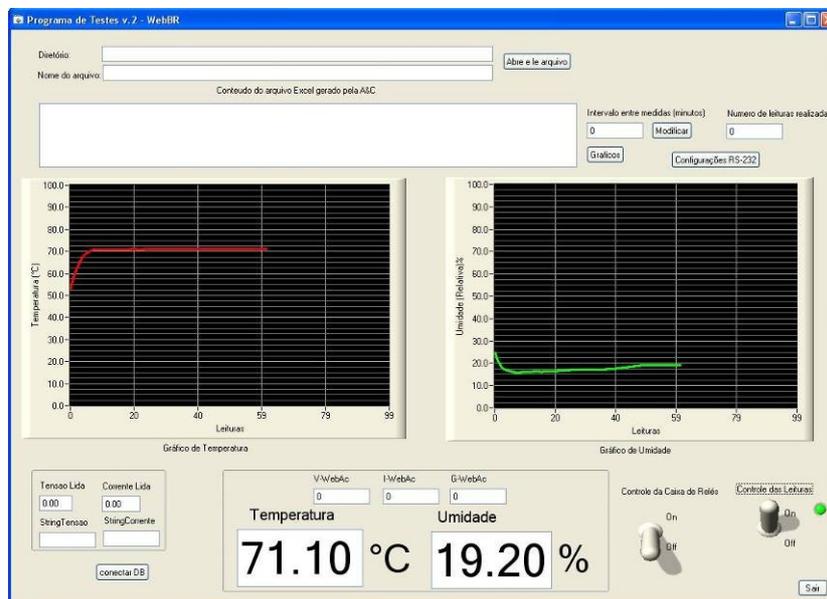


Figura 4-12: Interface do programa de testes.

## 1.19 - Desenvolvimento do Hardware

### 1.19.1 - O Controle de Interrupção do Painel A&C

Durante a realização do projeto, percebeu-se a necessidade de controlar o painel CLT conforme os dados enviados pelo WebAcc, uma vez que o painel fornece medidas de tensão e corrente do banco de acumuladores em série, como se fosse um único elemento (conforme as figuras 4-1 e 4-2). Porém, de acordo com a norma IEC60896-11 [8], é necessário monitorar individualmente os elementos de forma a evitar limites mínimos de tensão durante as descargas, e limites máximos de corrente durante etapas de carga e flutuação em alta temperatura. Medidas individuais são realizadas e fornecidas pelo WebAcc, o que satisfaz às recomendações da norma [8]. Assim, as medidas do painel teriam de ser integradas às do WebAcc.

O painel é controlado, originalmente, apenas pelo software fornecido pelo fabricante, o qual não teve seu código aberto pela empresa; dessa forma, concebeu-se outra forma de interromper o funcionamento do painel no caso de ocorrerem condições fora dos limites previstos na norma técnica: um circuito de controle de interrupção da

alimentação do painel, que funcionaria como uma chave, controlada pelo *software* de monitoramento.

O painel CLT tem alimentação trifásica, ou seja, para interromper seu funcionamento é necessário fazê-lo simultaneamente nas três fases. Para este fim foi concebido um circuito usando relés de estado sólido acionados pelo software do WebBR, da seguinte forma:

- Tomadas as leituras do WebAcc e do Termo-higrômetro, é feita uma comparação com os limites mínimo e/ou máximo determinados para a etapa em curso (ver fluxogramas no Apêndice A).

- Caso o valor de alguma das leituras esteja fora dos padrões, dependendo do tipo de medida, é gerado um evento:

- Caso a medida seja de temperatura e/ou umidade, os leds de atenção da interface mudam de cor verde para vermelho, indicando ao operador a necessária intervenção para normalizar os valores. Notar que temperatura e umidade não são parâmetros críticos o suficiente para a interrupção do ensaio, embora demandem atenção e a atuação do operador, tão prontamente quanto possível.

- Caso a medida seja de tensão e/ou correntes fora dos limites críticos, há o risco de dano permanente nos equipamentos de leituras, no painel CLT ou nas próprias baterias. Nesse caso, o software muda o estado de um dos sinais de controle do padrão RS-232, para a porta salva no arquivo de configuração. Dessa forma, o sinal de controle desliga os três relés, um para cada fase da alimentação do painel, e assim o painel é desligado, até que o operador verifique o evento crítico, e, se for o caso, reinicie a etapa.

As figuras 4-13, 4-14, 4-15 e 4-16 mostram o protótipo do sistema de controle do painel. É importante notar que o uso de relés de estado sólido, que dissipam uma quantidade razoável de calor, tornou necessária a adoção de um cooler para retirar o ar quente do interior do protótipo, bem como o uso de dissipadores de tamanho razoável.

É possível ainda visualizar o esquemático do circuito utilizado na figura 4-17, e o *layout* da placa de circuito impresso na figura 4-18.

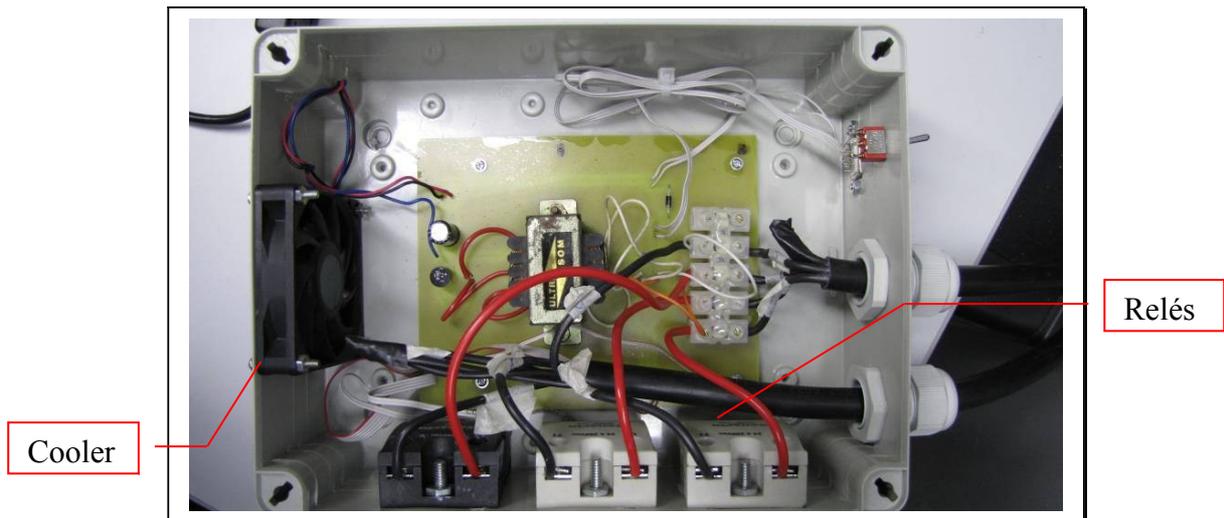


Figura 4-13. Circuito do protótipo de controle do painel CLT - vista superior.

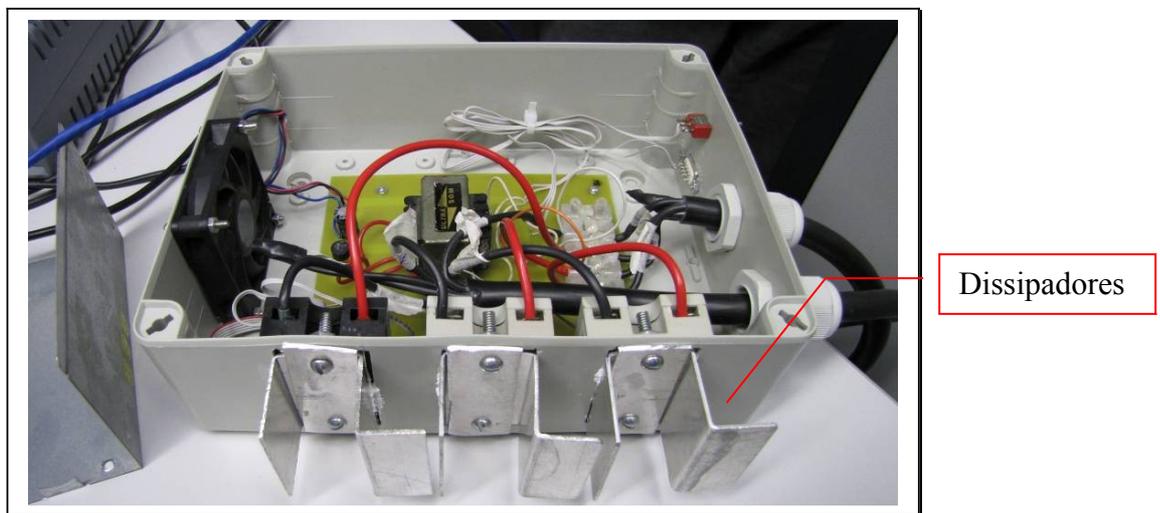


Figura 4-14. Circuito do protótipo de controle do painel CLT - dissipadores.



Figura 4-15. Protótipo de controle do painel CLT - conexões.



Figura 4-16. Protótipo fixado na parede - atrás do painel CLT.

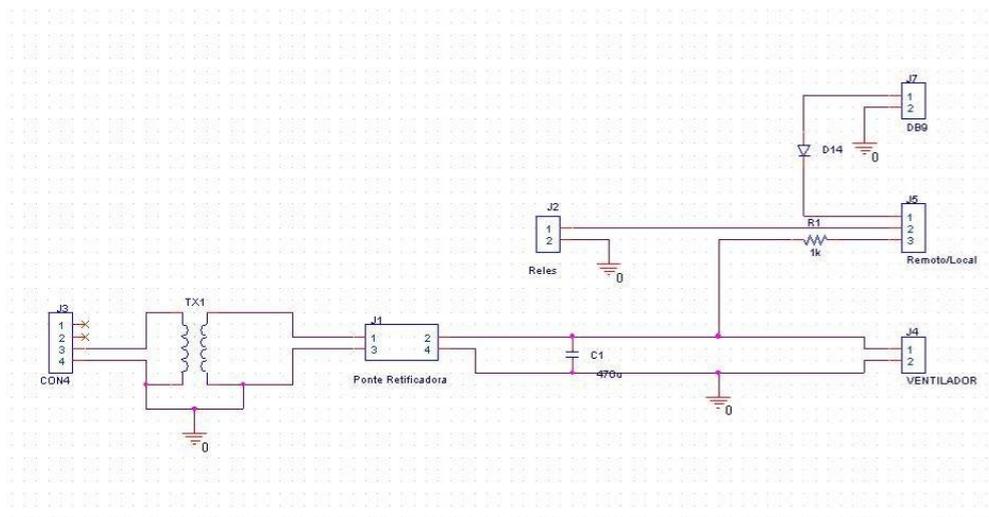


Figura 4-17. Esquemático do circuito de controle do painel CLT.

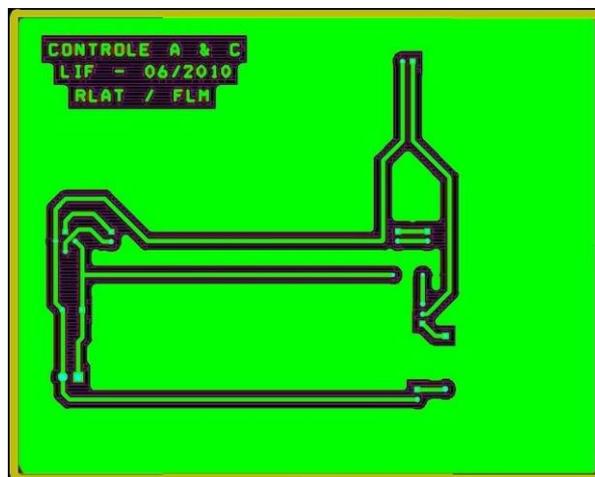


Figura 4-18. Layout da placa de circuito impresso do controle do painel.

### 1.19.2 - O Controle de Umidade na Estufa

Da mesma forma, para atender às recomendações das normas e artigos consultados para definir os procedimentos, tornou-se necessário controlar a umidade na estufa onde os elementos sofrerão o ensaio de durabilidade em alta temperatura; de acordo com Telcordia [5], o valor de umidade relativa deve ser mantido a 20%UR, com tolerância de 10%, e poderia ser mantido usando-se soluções saturadas de sais como brometo de sódio ou acetato de potássio no ambiente.

Inicialmente, foi adquirido brometo de sódio (NaBr), a opção menos tóxica dos sais recomendados, em seguida preparadas algumas amostras de solução saturada com precipitado (no limite da solubilidade do sal) e feitos testes (figura 4-19).

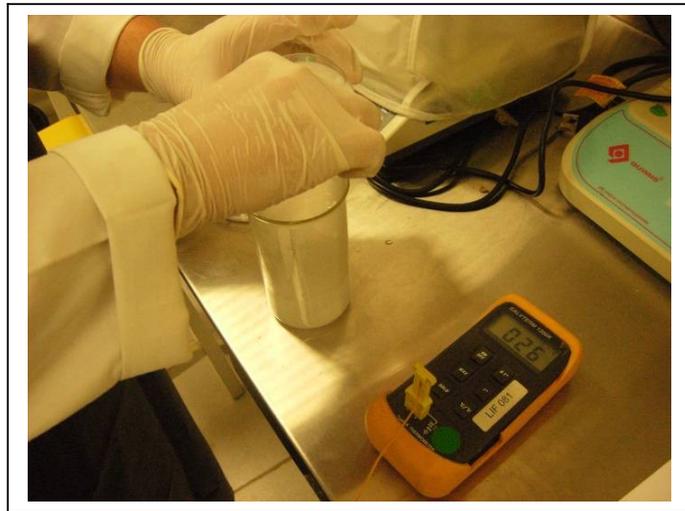


Figura 4-19. Preparação da solução saturada de NaBr.



Figura 4-20. A solução no interior da estufa para testes.

Colocada a solução saturada do NaBr no interior da estufa (figura 4-20), foi feita a programação no painel da própria estufa para a temperatura de 71°C, a estabelecida para o ensaio de durabilidade em alta temperatura (ver figura 4-21):



Figura 4-21. Temperatura da estufa para os testes com a solução de NaBr.

Após a estabilização da temperatura, foi executado o programa de testes (descrito no item 4.2.3) para uma análise do desempenho da solução na manutenção da umidade constante na estufa. O desempenho pode ser visto na figura 4-22:

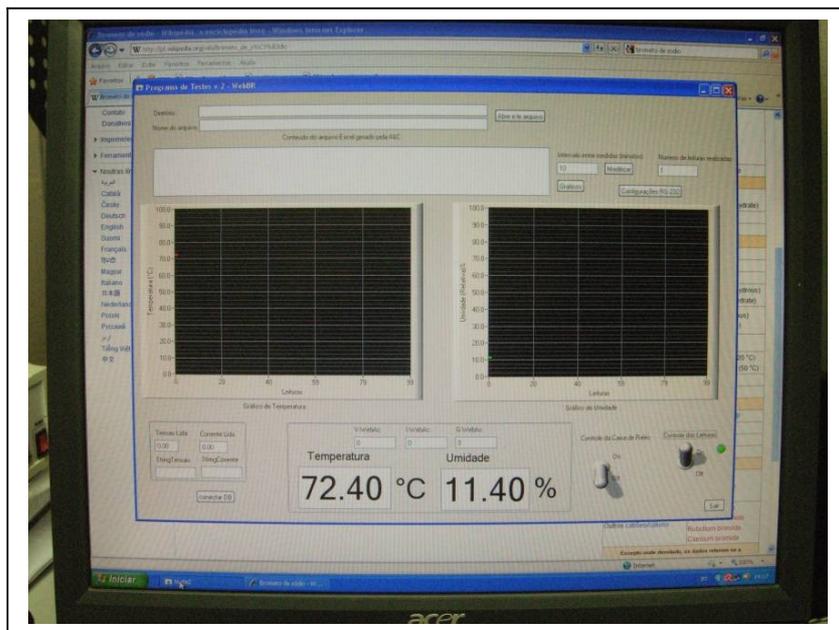


Figura 4-22. Desempenho da solução de NaBr como controle de umidade.

Como se pode ver pela figura 4-22, a umidade ficou bem abaixo do aceitável (11,4%). Isso pode ser explicado pelo fato de a solução ser higroscópica, ou seja, retira o vapor de água do ar no ambiente. Para a estufa, na temperatura de 71°C, a umidade no ambiente seria naturalmente menor que 20%, logo se fez necessário o uso de um sistema de controle que forneça umidade ao interior da estufa.

Foi usado um recipiente com água para tentar chegar ao valor definido para a umidade, dentro da tolerância estipulada. A principal limitação deste método é a duração do conteúdo do recipiente, pois, como a água vai sendo evaporada (para manter a umidade), para durar os 15 dias do ensaio de durabilidade, a quantidade de água armazenada deveria ser muito grande, inviabilizando o método. Apesar da limitação, chegou-se a um valor de umidade mais próximo do desejado, dentro da faixa de tolerância (Figura 4-23).

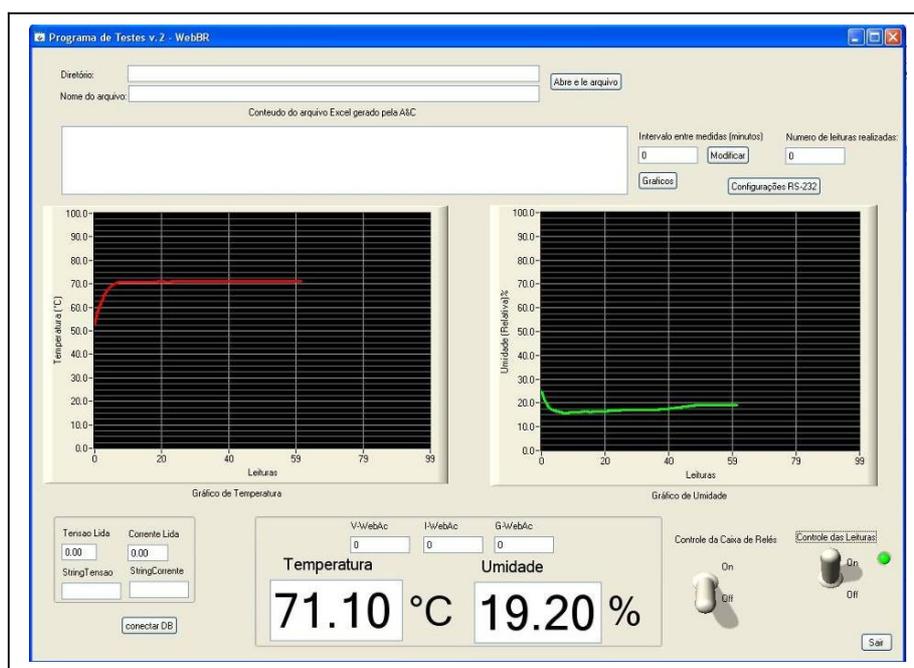


Figura 4-23. Umidade alcançada com o recipiente e vedação forçada da estufa.

Para chegar ao resultado de 19% de umidade relativa, além do recipiente foi feita uma vedação cuidadosa em todas as possíveis saídas de umidade da estufa.

Tal resultado encorajou a concepção de um método para manter uma quantidade mínima de água no recipiente (note-se que durante os 15 dias do ensaio de durabilidade a estufa idealmente não deve ser aberta). No recipiente interno foi montado um sensor de nível (conforme figura 4-24), de forma que se a água chegar abaixo de um nível

mínimo, é acionada uma bomba, montada em um recipiente externo com água, assim possibilitando a reposição, não sendo então necessária a abertura da estufa.

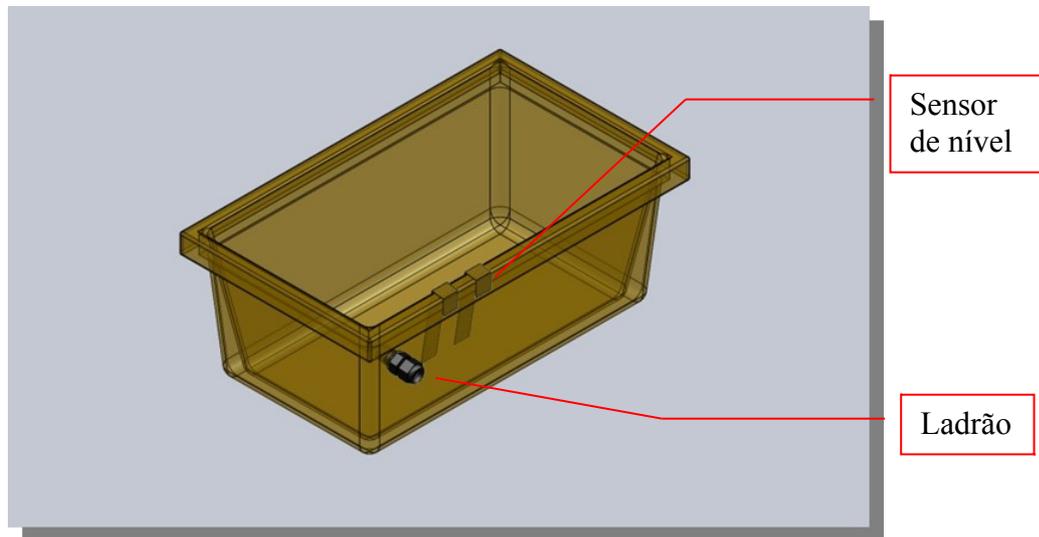


Figura 4-24. Sensor de nível montado no recipiente interno.

O sensor de nível funciona da seguinte forma: dois conectores metálicos são fixados na parede do recipiente, um deles estando ligado à fonte de tensão de 12V, o outro em uma porta lógica NAND, cujas entradas estão curto-circuitadas. Quando há água em altura suficiente para fechar o contato entre os dois conectores, formando um curto-circuito, as duas entradas da porta lógica se encontram em nível alto, assim a saída estará em nível baixo, e a bomba estará desligada. Caso o nível de água esteja baixo demais, a água não chega a fechar um curto entre os dois contatos, e as entradas estarão em nível baixo (ver tabela 4-3).

	A	B	$(A \cdot B)'$
	0	0	1 (bomba ligada)
	0	1	1 (não ocorre)
	1	0	1 (não ocorre)
	1	1	0 (bomba desligada)

Tabela 4-3. Estados das entradas e saídas da porta lógica utilizada.

Assim, a saída estará em nível alto, o que acionará o relé que liga a bomba de água. Foi ainda necessário acrescentar um retardo (histerese) no acionamento da bomba; assim foi acrescentado um capacitor cujo tempo de carga permite que a bomba esteja em funcionamento por um período de tempo suficiente para ultrapassar o nível mínimo,

e assim, preservar a bomba, para não ficar ligando e desligando continuamente. O desempenho do sistema está detalhado no capítulo 5.

Nas figuras 4-25, 4-26 e 4-27 é possível verificar a montagem do circuito e o protótipo pronto.

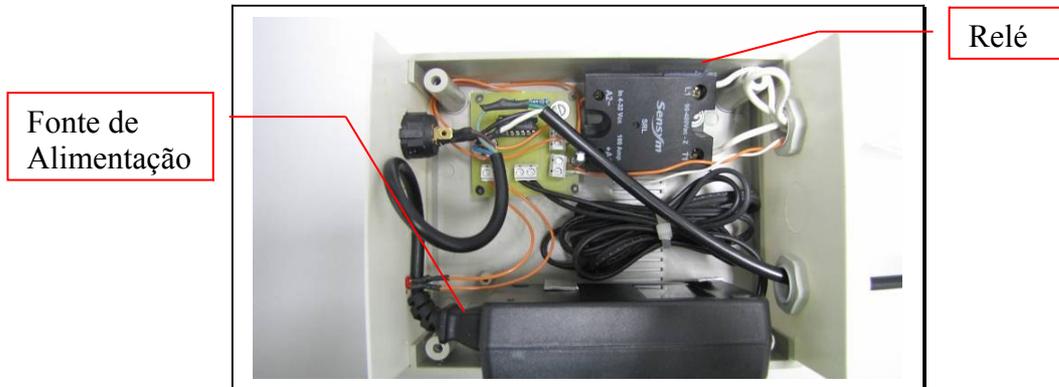


Figura 4-25. Montagem do protótipo do sistema de controle de umidade.



Figura 4-26. Protótipo do sistema de controle de umidade - vista frontal.

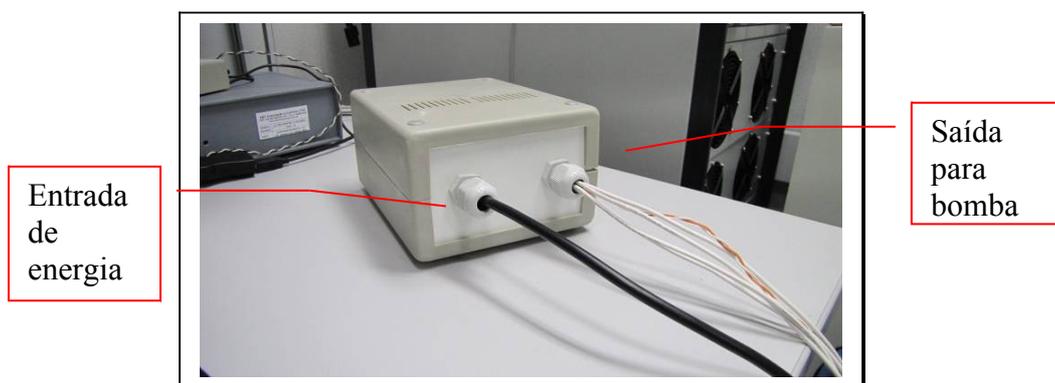


Figura 4-27. Protótipo do sistema de controle de umidade – vista posterior.

Nas figuras 4-28 e 4-29 pode-se visualizar o esquemático do circuito utilizado para o protótipo do controle da bomba de água, bem como o layout da placa de circuito impresso usada no projeto.

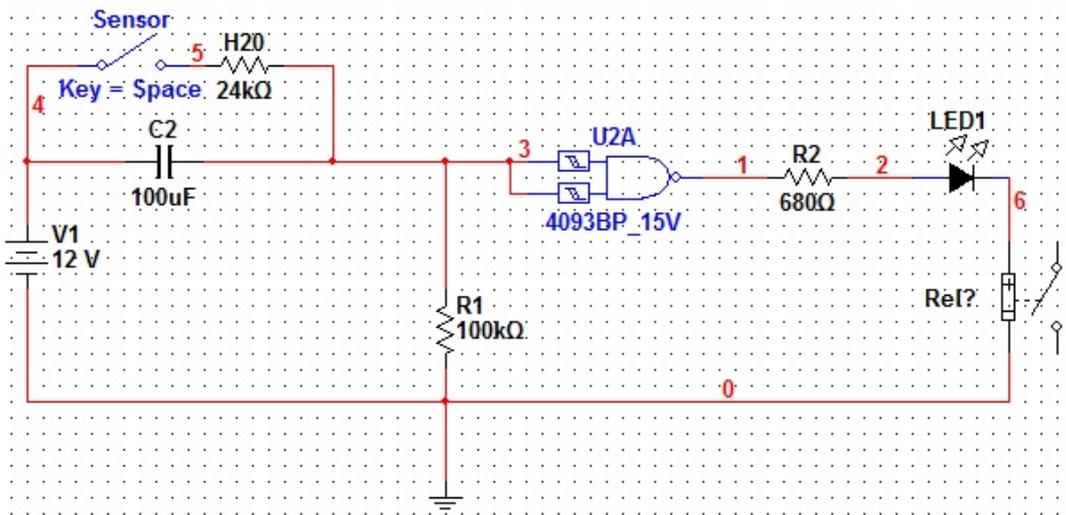


Figura 4-28. Esquemático do circuito - controle da bomba de água.

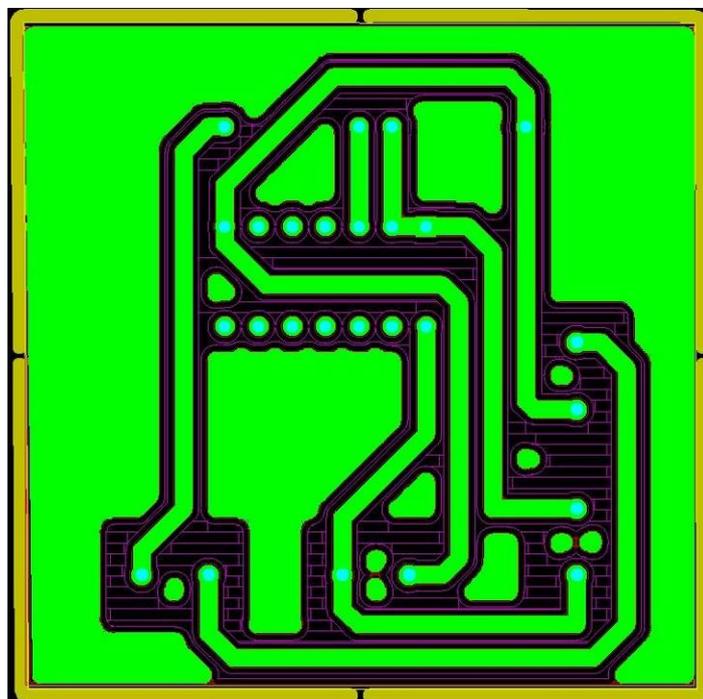


Figura 4-29. Layout da placa de circuito impresso utilizada no projeto.

# Capítulo 5

## 1.20 - Resultados e Discussões

*“And will you succeed?  
Yes! You will, indeed!  
(98 and  $\frac{3}{4}$  percent guaranteed.)”*  
(‘Oh, The Places You’ll Go’ - Dr.Seuss)

Os resultados do sistema estão relacionados aos testes realizados, levando-se em consideração todas as funcionalidades implementadas em *software* e *hardware*.

É importante ressaltar que no escopo do trabalho não se inclui a realização propriamente dita dos ensaios de envelhecimento, que tiveram a execução interrompida logo após o início da etapa de preparação, por problemas técnicos no painel CLT, mas sim o desenvolvimento do sistema de ensaios como um todo, criando assim condições para a realização destes.

Pode-se, esquematicamente, dividir os resultados, vistos como indicadores analíticos do projeto, em três tipos:

### 1.21 - Definição dos procedimentos

O procedimento definido para os ensaios, fruto de ampla pesquisa em diversos documentos, artigos e normas nacionais e internacionais, pode ser considerado, por si só, um dos resultados, visto que ensaios desta finalidade e com tal metodologia não foram encontradas na pesquisa bibliográfica, para baterias ventiladas (tanto o documento da Telcordia[5] quanto o artigo da empresa italiana FIAMM (Lodi *et al.*[6]) prevêm a viabilidade do procedimento para baterias ventiladas, embora o utilizem em baterias reguladas a válvula).

Espera-se que a metodologia proposta leve as baterias disponíveis no laboratório ao limite de 80% da capacidade nominal (portanto ao final da vida útil) em cerca de 180 dias, conforme os resultados obtidos por Lodi *et al.* [6] para baterias reguladas a válvula

(figura 5-1). São esperadas pequenas diferenças em relação ao gráfico da figura 5-11, devido ao tipo de bateria ser diferente daquele usado nos testes de Lodi *et al.* [6], embora seja esperado o mesmo comportamento da capacidade em função do tempo: um aumento da capacidade no início da vida útil, seguido de um patamar constante e um rápido declínio no fim da vida útil. (figuras 1-2 e 5-1).

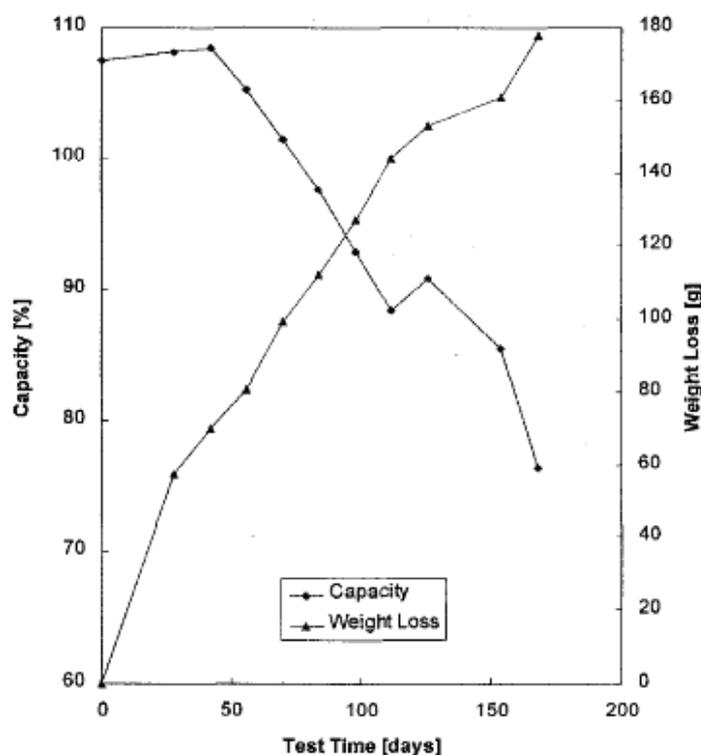


Figura 5-1. Evolução da capacidade para ensaios a 71°C, para baterias reguladas a válvula. Fonte: Lodi *et al.*[6]

## 1.22 - Funcionamento do software

O desempenho do software implementado, a correção das funcionalidades e a adequação aos requisitos listados no item 2.2 e aos procedimentos listados no capítulo 4, podem ser considerados também como indicadores de o projeto ter alcançado os resultados esperados. Para efeito de demonstração do funcionamento do software, foram feitos diversos testes com tomadas de medidas em intervalos diferentes, uso dos diferentes tipos de *timers* (*callback timer* e *asynchronous timer*) nas funções de cronômetro e leituras, e interrupção do fornecimento de energia elétrica. Os resultados alcançados são os seguintes:

(i) A comunicação com os diversos equipamentos funcionou sem problemas, não sendo necessário o uso de *handshaking* por hardware do padrão RS-232, exceto no caso do acionamento do controle do painel A&C, onde o sinal de controle é enviado justamente pelo sinal do CTS (*Clear to Send*); para o envio de um comando de leitura do WebAcc ser aceito e executado pelo equipamento, e necessário enviar por duas vezes seguidas o comando. O comando (entre <>) tem a seguinte formatação:

<coil X 1>;

Onde X é o canal a ser lido, logo para o protótipo em uso,  $1 \leq X \leq 8$ .

O termo-higrômetro RHT foi configurado para enviar automática e continuamente suas leituras; dessa forma, não é necessário enviar comandos, ou seja, apenas é realizada a leitura na porta serial.

(ii) Foi necessário usar dois eventos temporizados, o cronômetro e o “*timer*” de leituras; o ideal seria que ambos os eventos utilizassem *timers* assíncronos, visto que cada evento funcionaria em uma *thread* separada, e assim a interface não travaria, além de a medida de tempo ser mais precisa. Entretanto, mesmo utilizando *timers* assíncronos com prioridades diferentes, a alternativa não funcionou corretamente nos testes. A solução foi usar o cronômetro com *timer* assíncrono e o timer de leituras com *callback timer* (declarado na interface, que funciona na *thread* principal); desta forma, apesar de a interface sofrer travamento durante alguns segundos, enquanto são realizadas as leituras na serial, as medidas ocorrem corretamente, com a atualização adequada do cronômetro, mesmo durante os breves períodos de travamento da interface. Na figura 5-2 é possível visualizar na interface, um teste longo e o comportamento do programa.

É possível notar na figura 5-2 que, sendo as medidas de 2 em 2 horas, o número de medidas após 17 horas e 8 segundos é, como esperado, de 8 medidas; além disso, é exibido a data e hora do início do ensaio, os valores nos seis elementos são exibidos adequadamente, os *leds* de atenção para temperatura e umidade funcionam conforme esperado (para o evento de testes o esperado é temperatura de até 25°C e umidade ambiente), e por ser um evento de testes, o identificador da etapa é “0” (zero), conforme definido no arquivo de configuração.

Em suma, o processo de leituras, e atualização da interface principal funcionam adequadamente, embora com a limitação de usar um *timer* assíncrono.

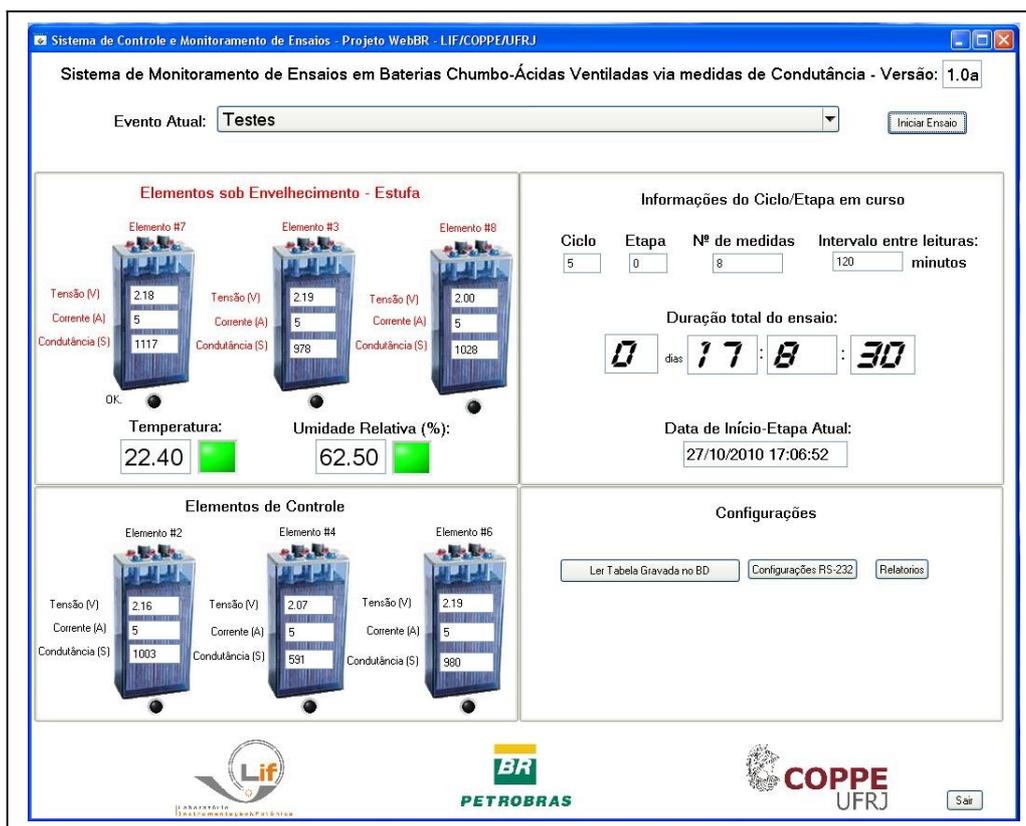


Figura 5-2. Desempenho da interface gráfica com leituras de 2 em 2 horas.

(iii) O armazenamento das medidas realizadas no Banco de Dados Interno (Access) ocorre corretamente, tanto para os valores do ensaio do VRC quanto para os outros eventos.

(iv) O arquivo do servidor do LIF é criado e atualizado corretamente, tornando possível o acompanhamento via Internet dos ensaios; nas figuras 5-3, 5-4 e 5-5 é possível visualizar, no sistema de gestão do LIF, os equipamentos do projeto cadastrados e as medidas de um ensaio de testes obtidas pelo termo-higrômetro RHT. Dessa forma, fica demonstrada a correta integração do sistema do projeto WebBR com o sistema de gestão de projetos do LIF; note-se que as figuras 5-3 e 5-4 foram obtidas em um navegador de Internet comum, através da rede; uma limitação encontrada no uso do sistema de gestão é que este, após descarregar o arquivo da pasta do FTP, apaga-o; assim, o programa do WebBR acaba tendo de criar um novo arquivo com o mesmo nome a cada requisição do sistema.

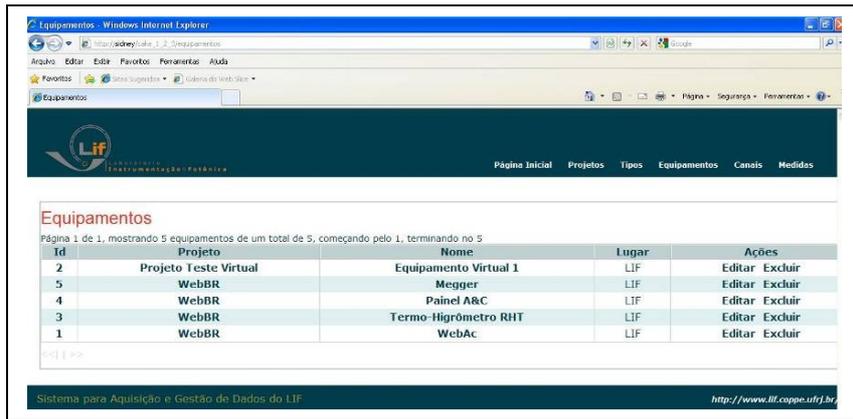


Figura 5-3. Visualização dos equipamentos cadastrados pela Internet.

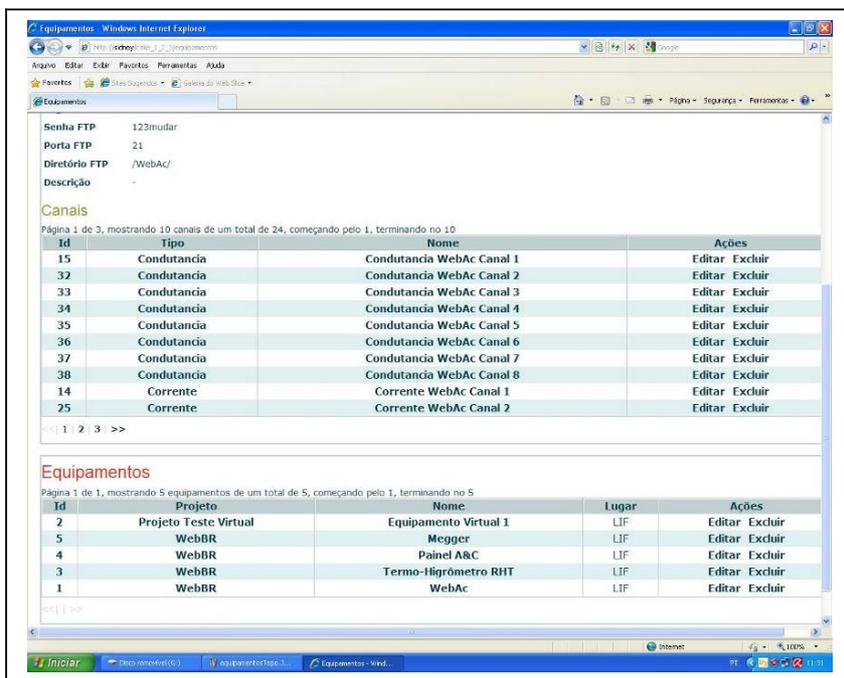


Figura 5-4. Visualização dos canais de leituras dos equipamentos cadastrados.

Na figura 5-3 é possível visualizar o cadastro de equipamentos efetuado no sistema Web de acompanhamento de experimentos do LIF; todos os equipamentos que geram medidas estão listados. Na figura 5-4 é possível visualizar, em outra página da interface Web, todos os canais de leitura dos equipamentos cadastrados, possibilitando o acompanhamento individual de cada um dos canais de leitura envolvidos no projeto.

Na figura 5-5 é possível visualizar um gráfico de temperatura obtido em um dos testes, com o termo-higrômetro RHT. Pode-se ainda usar outras funcionalidades do sistema Web, como gerar gráficos comparativos e escolher o intervalo de dados, dentre os disponíveis, a serem visualizados [2].

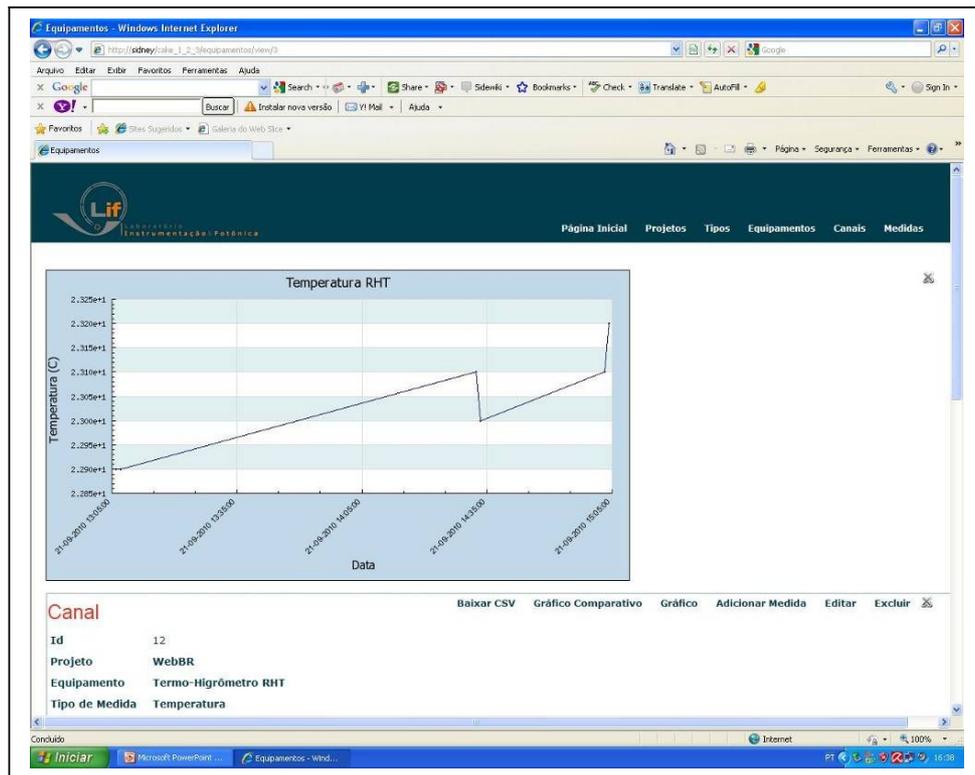


Figura 5-5. Visualização de Gráficos de medidas de temperatura via Web.

Desta forma, fica demonstrado o correto desempenho do sistema em prover a funcionalidade de acompanhamento remoto via Web.

(v) Conforme planejado, o uso do arquivo de configuração se mostrou efetivo na tarefa de armazenar os parâmetros utilizados na comunicação, e, principalmente, na retomada de ensaios interrompidos; foi feito o teste de desligar a energia elétrica durante a realização de uma etapa (testes de determinação do VRC), e depois religar a energia. O computador, que estava programado para religar automaticamente, iniciou o programa junto com o sistema operacional, e o ensaio foi retomado conforme determinado pelo valor do *flag* de ensaio e os códigos de ciclo e etapa, como pode ser visualizado nas figuras 5-6 e 5-7; assim, fica demonstrado o desempenho correto da funcionalidade.

Note-se, na figura 5-6, a mensagem de *pop-up* na inicialização do sistema, quando a leitura do arquivo de configuração encontra o flag de ensaio igual a 1 (ensaio em curso); na figura 5-7 é possível observar, na sequência, o *pop-up* do tipo de ensaio armazenado no arquivo de configuração (determinação do VRC, como esperado).

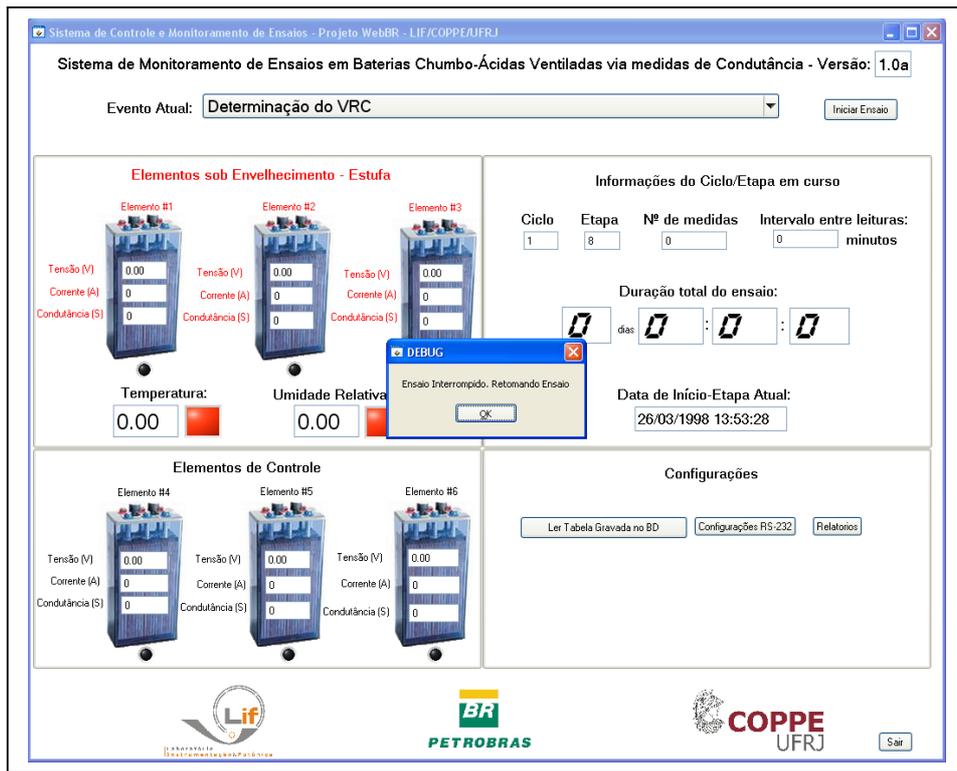


Figura 5-6. Reinicialização do sistema após uma interrupção por falta de energia elétrica.

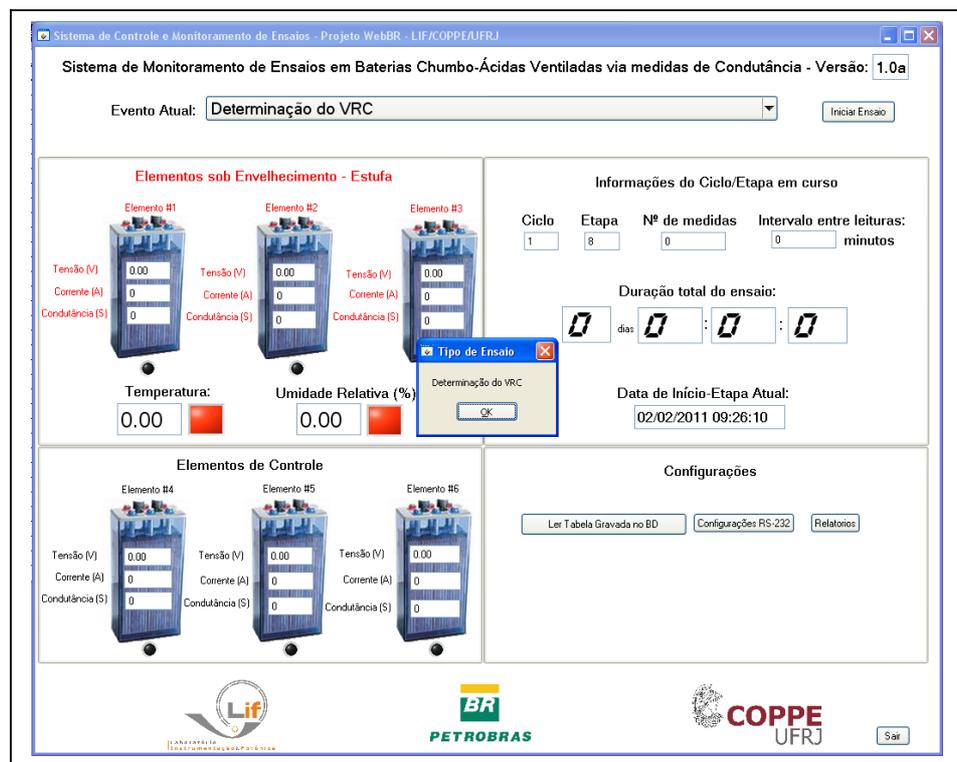


Figura 5-7. Retomada do ensaio após a interrupção.

Foram testados os gráficos extraídos das planilhas de dados armazenadas no Banco de Dados interno do sistema. Assim, foram usados dados exportados do painel CLT, no formato Excel, lidos pelo programa como arquivos do tipo texto e armazenados no Banco de Dados do sistema. A figura 5-8 mostra um gráfico obtido em uma fase inicial de implementação, ainda com o programa de testes, com uma bateria de 12V usada nos primeiros meses; entretanto, o gráfico é válido para demonstrar o desempenho do sistema, visto que as funcionalidades de ambos os programas são as mesmas.

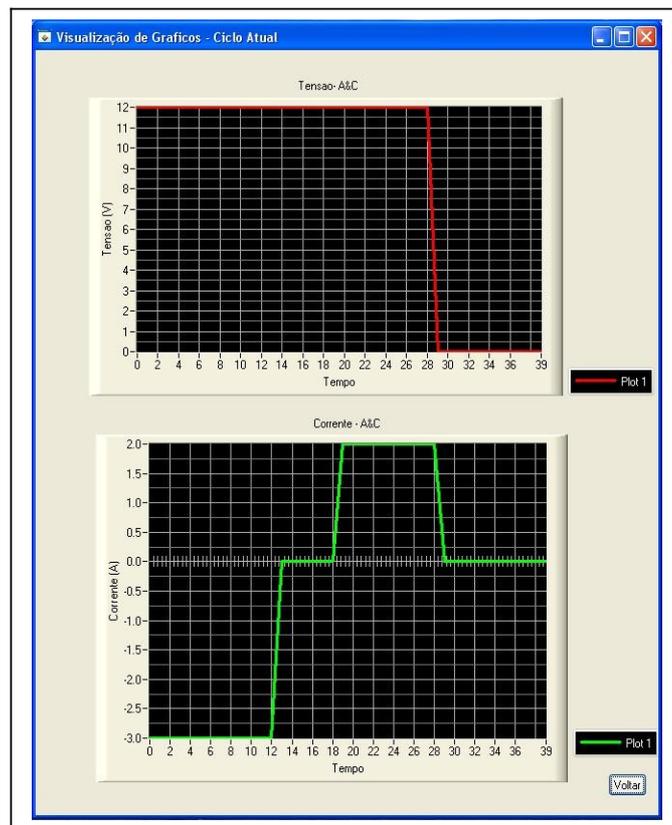


Figura 5-8. Gráficos extraídos do BD interno, usando o programa de testes.

É possível visualizar, na figura 5-8, dois gráficos: a curva em vermelho representa valores de tensão obtidos pelo painel CLT durante o teste; a curva em verde representa valores de corrente na bateria de 12V; nota-se que o teste realizado inclui uma rápida etapa de descarga com valor de corrente de -3A, sendo o sinal negativo por convenção, uma etapa de repouso e uma carga com corrente constante de 2A. A frequência de amostragem do gráfico é de 1 minuto.

Finalmente, foram tomadas diversas medidas de condutância nos elementos, utilizando o WebAcc, com diferentes intervalos entre as medidas. Dessa forma, pôde-se

comprovar a correta comunicação do software com o WebAcc. Um gráfico com medidas de condutância pode ser visualizado na figura 5-9:

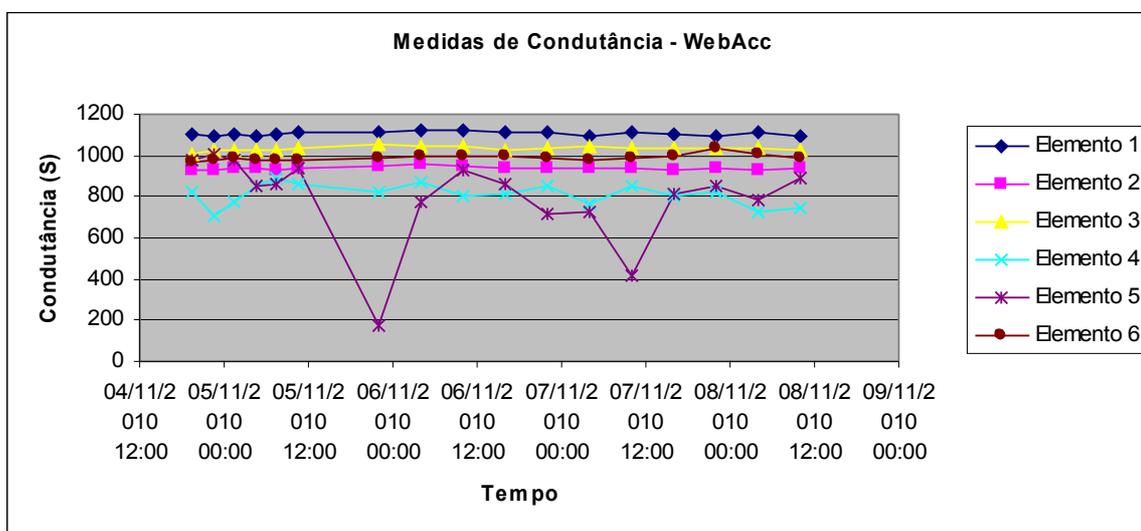


Figura 5-9. Medidas de condutância realizadas.

Com os dados de condutância obtidos do gráfico da Figura 5-9 foi possível, ainda, detectar um problema nas conexões de aterramento em dois canais do WebAcc, nos canais 4 e 6, que apresentaram grande flutuação nas medidas; tal problema passaria despercebido em uma primeira análise. Dessa forma foi possível pesquisar e solucionar o problema antes do início propriamente dito dos ensaios.

Em suma, o software desenvolvido atende aos requisitos listados no Capítulo 2, o que atesta o correto desempenho na execução desta fase do projeto.

### 1.23 - Desempenho dos protótipos de hardware

Da mesma forma, o correto funcionamento dos protótipos de hardware desenvolvidos pode ser considerado um resultado fundamental para o sistema.

(i) O desligamento e acionamento do painel CLT ocorre corretamente, via comando enviado pelo software; é possível ainda desligar a ligação com o computador e deixar o painel livre da interferência da caixa de relés (chave Remoto/OFF/Local visível na figura 4-15); os dissipadores superdimensionados e o ventilador (cooler) empregados impede os relés de superaquecerem, conforme esperado.

(ii) O resultado do uso do recipiente com água para a manutenção da umidade em 20% no interior da estufa, no ensaio de flutuação em alta temperatura, já havia sido

mostrado na figura 4-21. Falta, ainda, demonstrar o correto funcionamento do acionamento da bomba que permite a reposição da água no recipiente interno. Nos primeiros testes, houve a perda de algumas bombas, queimadas, pois após algum tempo de operação, o nível de água se mantinha no limiar entre a posição de acionamento e de desligamento da bomba, isso fazia com que a bomba fosse continuamente ligada e desligada.

Para contornar esse problema, foi necessário introduzir o retardo no acionamento da bomba. A figura 5-9 mostra o comportamento no tempo da entrada da porta lógica (o sensor de nível) - curva azul - e a saída da porta lógica, representada pela curva em amarelo. Nota-se que demora 10 segundos, aproximadamente, desde que o capacitor  $C_2$  (vide esquemático no anexo C) começou a descarregar até o acionamento da bomba (a transição positiva da porta lógica). Assim, eliminou-se o problema de queima da bomba, e a água do recipiente passou a ser reposta sem problemas.

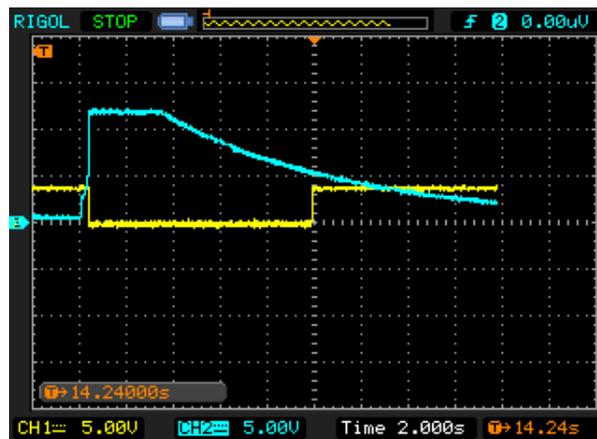


Figura 5-10. Comportamento no tempo do sistema de controle da bomba.

Finalmente, é necessário acrescentar que foi implementada uma proteção adicional contra interrupções no fornecimento de energia elétrica: um *no-break* trifásico, com saídas em 110 e 220V, ligado a um conjunto auxiliar de baterias. Esta proteção adicional confere um razoável tempo de operação de todos os equipamentos envolvidos no ensaio, no caso de falta de energia.

Nas figuras 5-10, 5-11, 5-12, 5-13 e 5-14 é possível ver o desenho computacional da montagem dos equipamentos, e fotos da montagem final do sistema de ensaios.

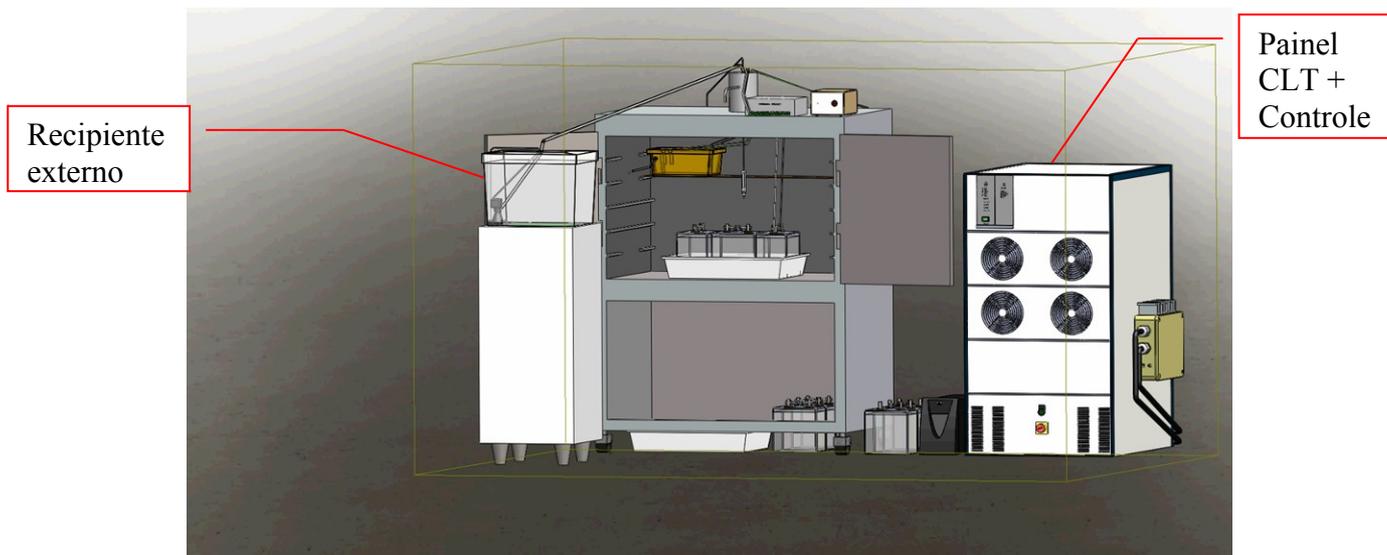


Figura 5-11. Desenho computacional da montagem final dos equipamentos.

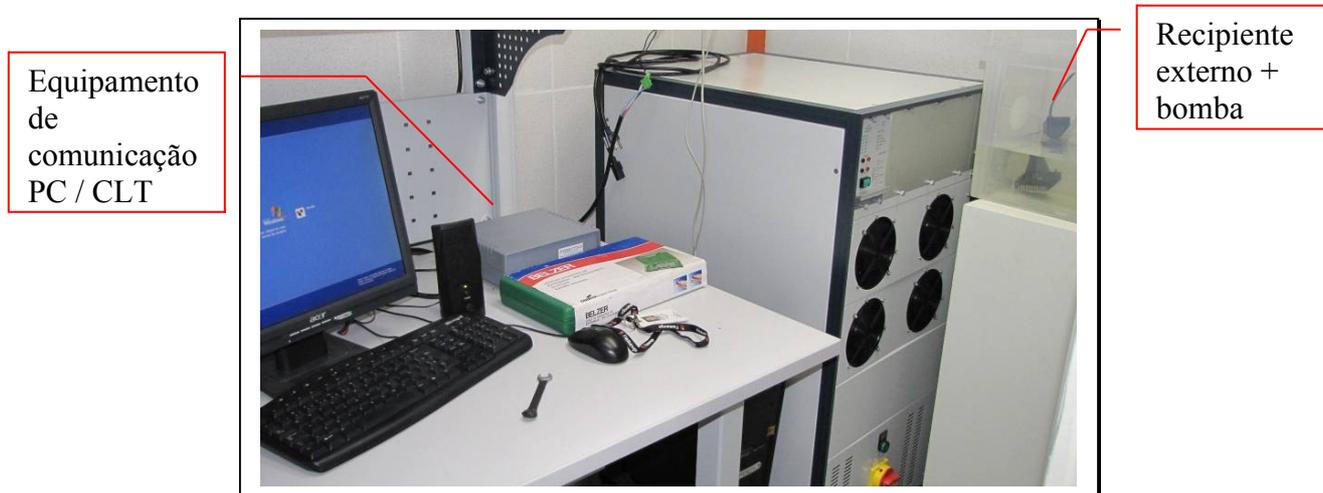


Figura 5-12. Bancada de operação do sistema, painel CLT e reservatório auxiliar de água.



Figura 5-13. Controle da bomba de água e WebAcc.

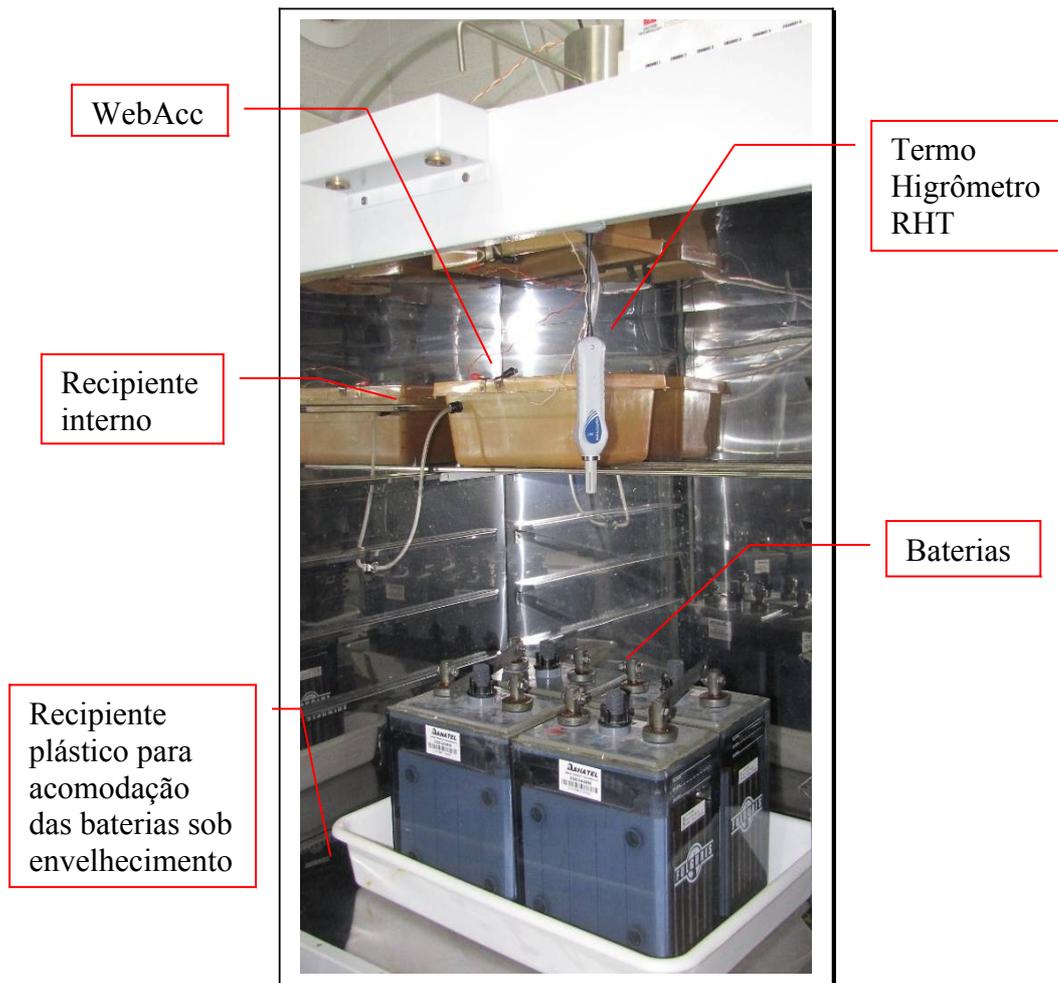


Figura 5-14. Baterias no interior da estufa, termo-higrômetro e recipiente de água interno.

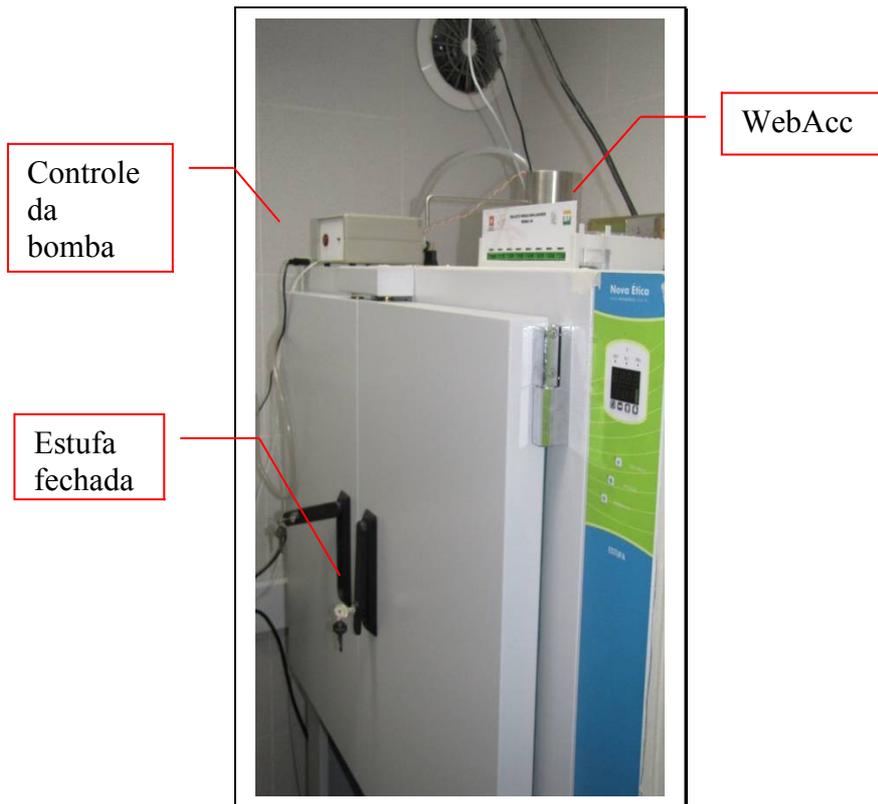


Figura 5-15. Estufa, controle da bomba de água e WebAcc.

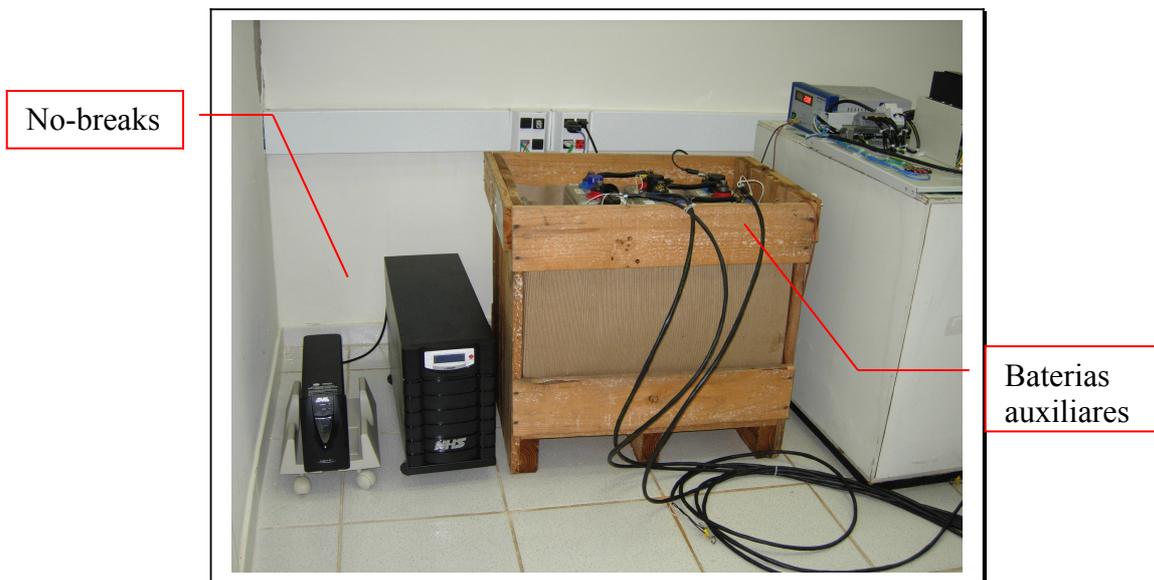


Figura 5-16. No-breaks e baterias auxiliares, para backup de alimentação do sistema.

# Capítulo 6

## 1.24 - Conclusões e Trabalhos Futuros

O LIF [10] é um laboratório multidisciplinar que atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de instrumentação e fotônica, e consultoria na área de instrumentação. Seus projetos, em parceria com empresas, possuem elevado grau de complexidade e de inovação, representando verdadeiros desafios do ponto de vista de engenharia.

Neste projeto foi implementado um sistema composto por *hardware* e *software* capazes de realizar ensaios de envelhecimento acelerado em baterias, os quais, em conjunto com o software do painel CLT, comprovarão ao longo da vida útil dos elementos, mais uma vez, a viabilidade do método da condutância, e o funcionamento do WebAcc dentro dos padrões comerciais.

O sistema envia comandos e obtém os dados das leituras através de comunicação serial com o protótipo do WebAcc e os equipamentos. Através dos dados adquiridos pelos canais de leitura é possível monitorar a execução dos ensaios através de tabelas ou gráficos temporais, oriundos do seu banco de dados interno ou através do sistema de gestão de dados padrão do LIF, remotamente via Internet. O sistema ainda é robusto face a interrupções devido a erros ou falhas no fornecimento de energia elétrica.

Esse projeto contou com o apoio constante da equipe do LIF. Durante o projeto, foram realizadas reuniões periódicas para compartilhar experiências e definir estratégias para seu desenvolvimento, bem como a solução de dúvidas em vários tópicos, visando aproveitar a grande experiência e capacidade da equipe em projetos deste tipo.

De maneira geral, o sistema se comportou da maneira prevista, com sucesso, sem apresentar lentidões ou falhas em sua lógica de programação. A avaliação definitiva do comportamento do sistema deverá ser realizada por seus futuros usuários, integrantes do LIF. O sistema encontra-se instalado no computador onde foi implementado.

Como próximos passos do projeto, estão a realização propriamente dita dos ensaios de envelhecimento, a análise dos resultados e a conseqüente confirmação do método da condutância, além de demonstrar o desempenho do WebAcc em relação ao seu similar importado, conforme esperado pelo Laboratório e pelo cliente.

Desta forma, o LIF propõe um equipamento nacional, de baixo custo, com vantagens técnicas em relação às alternativas importadas, para a crítica tarefa do monitoramento de baterias.

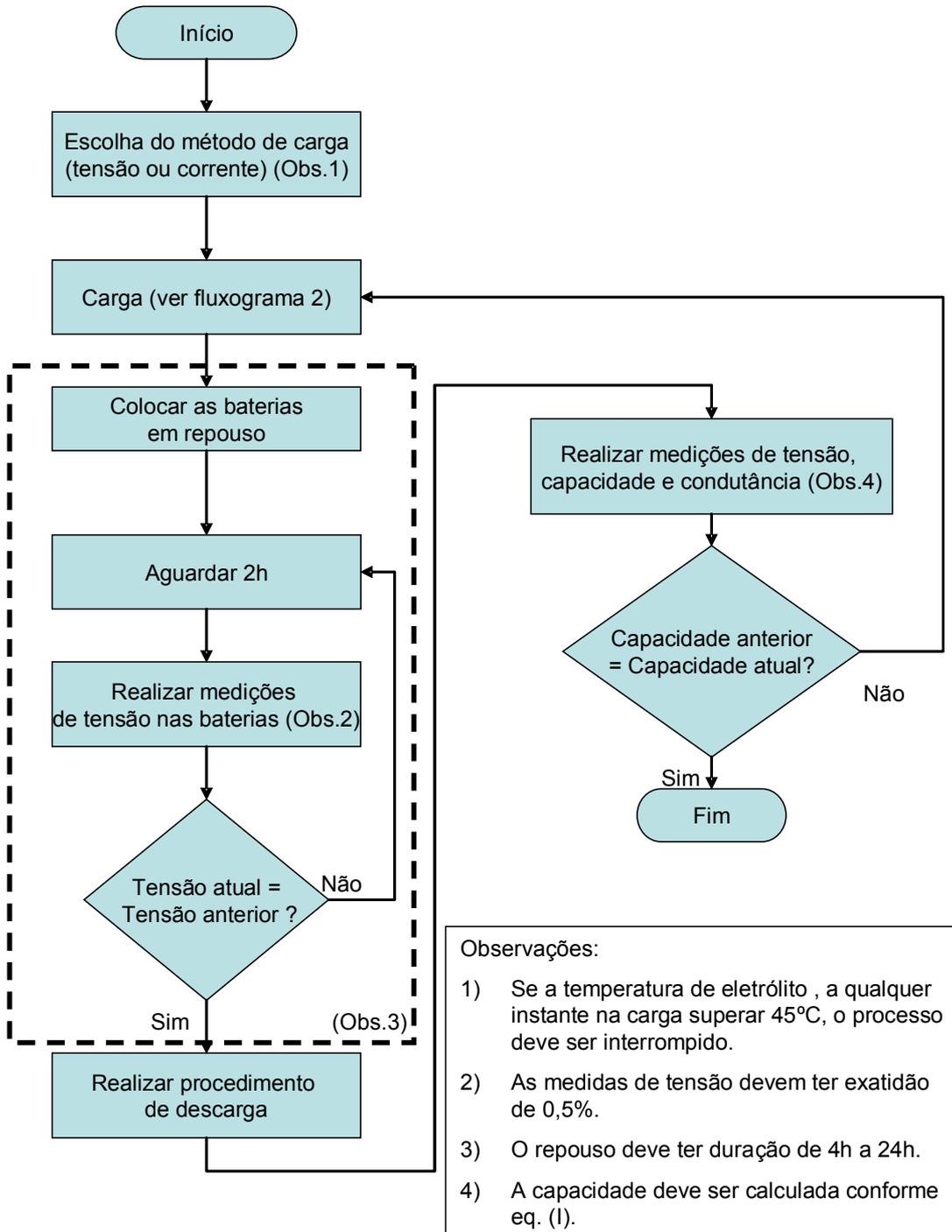
Por fim, o sistema desenvolvido representou uma construção e consolidação de conhecimentos bastante abrangente, não apenas em relação à engenharia eletrônica e de computação, mas também em habilidades como trabalho em equipe, cumprimento de prazos, negociação e busca pelo conhecimento, habilidades essas que serão de grande valia para a vida profissional, enquanto engenheiro.

# Referências Bibliográficas

- [1] CARDOSO, Paulo E.R. *Estudo de Correlação de Parâmetros Elétricos Terminais com Características de desempenho em baterias*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, SP, 2005.
- [2] TEPEDINO, Marcelo C.G. *Sistema Web para Aquisição de Medidas Remotas e Gestão de Informações de Projetos de Pesquisa*. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação. Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- [3] NBR 14999. *Acumulador Chumbo-Ácido Estacionário Ventilado – Ensaio*. Emitida em Outubro/1998.
- [4] IEEE Std 450-2002. *Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications*. Emitida em Dezembro/2002.
- [5] Telcordia Technologies. *Generic Requirements for Accelerated Life Testing of Valve Regulated Lead Acid Batteries at High Temperatures- GR1200*. New Jersey, USA, 2003.
- [6] LODI, Giuseppe, McDOWALL, Jim, ROSELLINI, Stefano. *VRLA Battery Aging Characteristics*. FIAMM SPA, 1996.
- [7] Newpower Sistemas de Energia S/A – Baterias FULGURIS. *Manual de operação e manutenção: baterias chumbo-ácidas estacionárias*. Disponível via postal. Endereço: Av. Santos Dumont, 2222 – Cumbica – Guarulhos/SP – CEP: 07220- 000
- [8] IEC 60896-11. *Batteries stationnaires au plomb- Prescriptions générales et methods d'essai*. Emitida em Dezembro/2002.
- [9] National Instruments. *CVI Programmer Reference Manual*. Disponível na Internet em <<http://www.ni.com/pdf/manuals/320685e.pdf>> . Acesso em Janeiro/11.
- [10] LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FOTÔNICA, <http://www.lif.coppe.ufrj.br/>, (Acesso em Janeiro 2011).

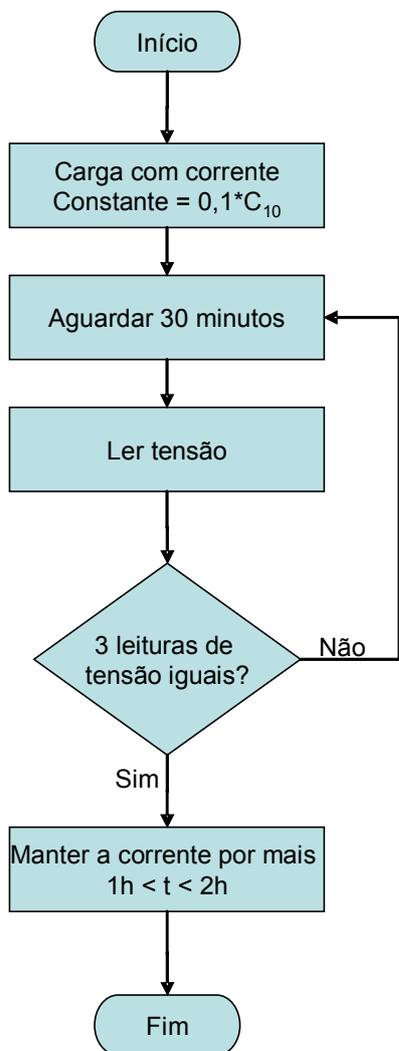
# **Apêndice A – Fluxogramas dos Ensaio**

**FLUXOGRAMA 1: PREPARAÇÃO PARA OS ENSAIOS ELÉTRICOS DE TIPO**  
Adaptado da NBR 14199:1998

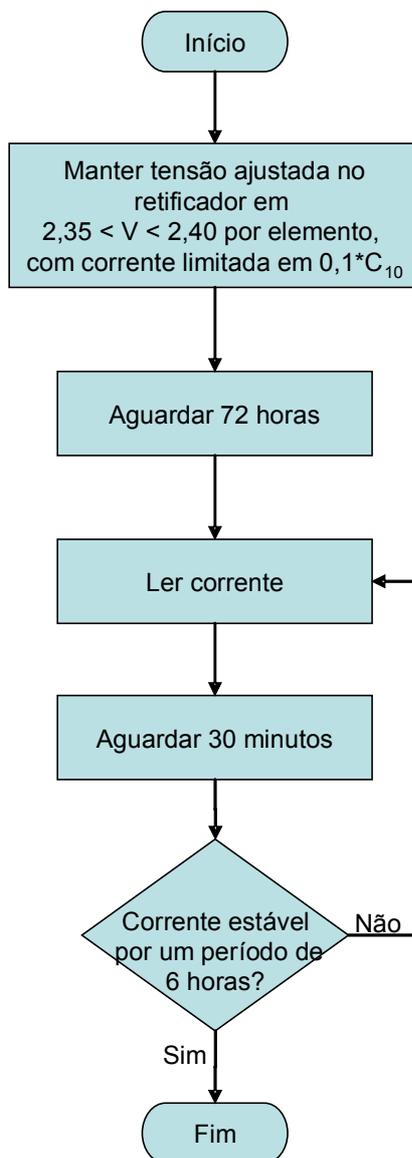


**FLUXOGRAMA 2:  
MÉTODOS DE CARGA EM BATERIAS**  
Adaptado da NBR 14199:1998

**CARGA COM CORRENTE  
CONSTANTE**



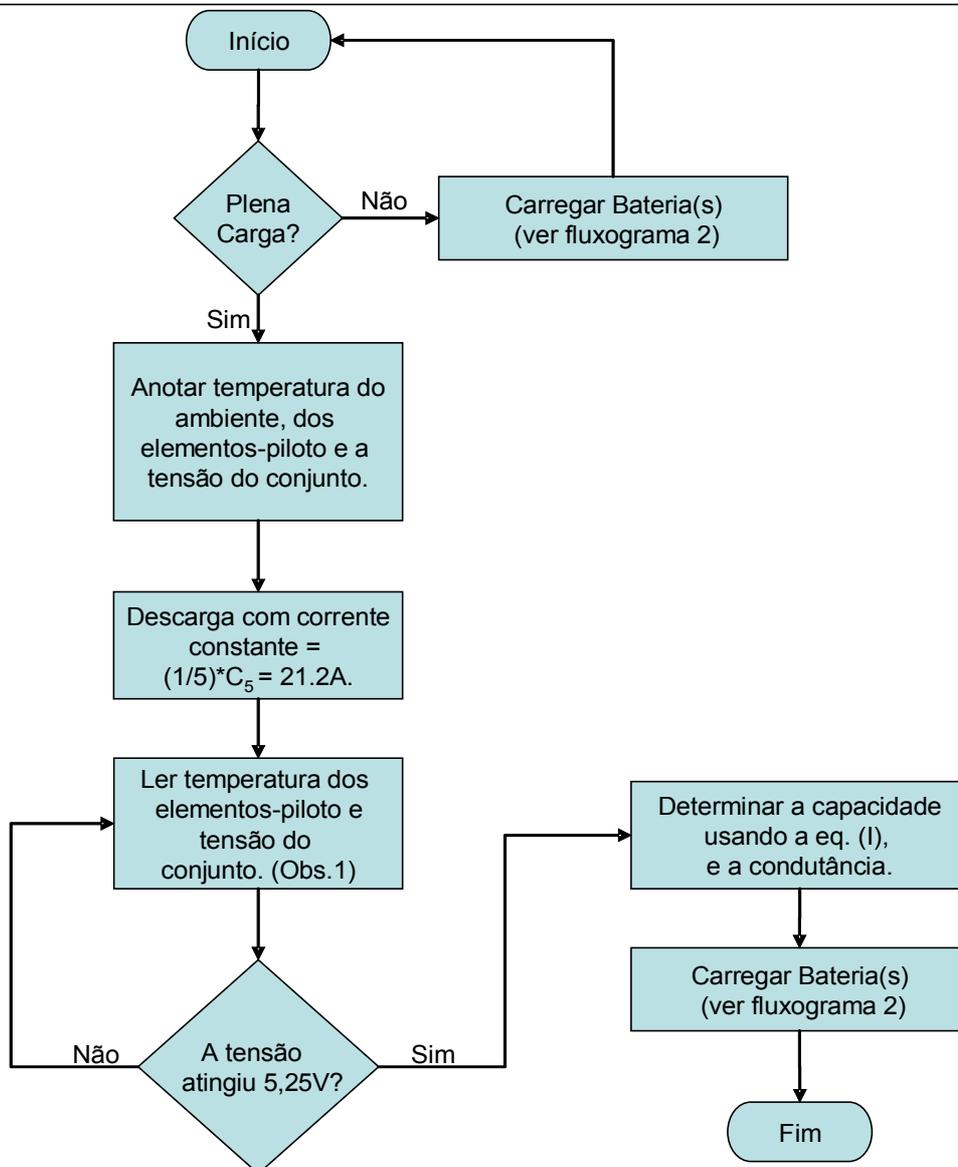
**CARGA COM TENSÃO  
CONSTANTE**



**OBS: Durante o processo de carga, a temperatura dos elementos não deve ultrapassar 45°C; caso isto ocorra, a carga deve ser interrompida e reiniciada após o eletrólito atingir 35°C.**

**FLUXOGRAMA 3: ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE, EM Ah, EM CONDIÇÕES DIFERENTES DA NOMINAL (C5)**

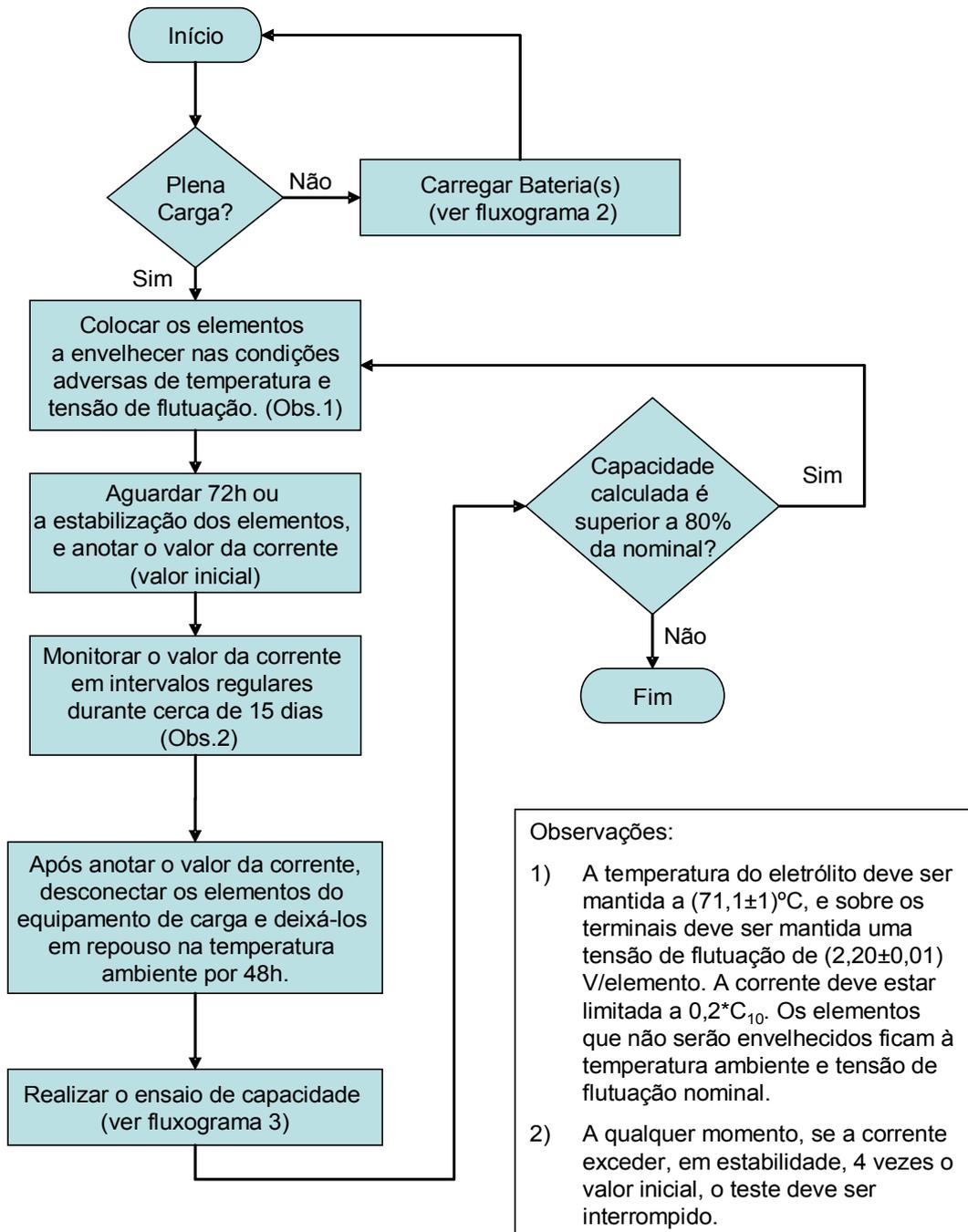
Adaptado da NBR 14199:1998 e IEC 60896-11:2002



**Observações:**

- 1) Os instantes das leituras são a 30, 60, 150 e 240 minutos; a partir de então, em intervalos menores, que permitam determinar a passagem pela tensão final de descarga, de 5,25 V. O ensaio deve ser interrompido se algum elemento atingir 1,41V.
- 2) Na equação da capacidade (eq.I) deve ser usada a média aritmética das temperaturas obtidas.

**FLUXOGRAMA 4: ENSAIO DE DURABILIDADE FRENTE À CARGA COM TENSÃO DE FLUTUAÇÃO PADRÃO E TEMPERATURA ELEVADA - Adaptado da NBR 14199: 1998**



# Apêndice B - Glossário de termos

## relativos a baterias

**acumulador chumbo ácido:** Acumulador elétrico no qual os materiais ativos são o chumbo e seus compostos e o eletrólito uma solução aquosa de ácido sulfúrico.

**acumulador chumbo ácido estacionário ventilado:** Acumulador chumbo-ácido com livre escape de gases e que permite a reposição de água.

**acumulador chumbo-ácido regulado por válvula:** Acumulador chumbo-ácido fechado, que tem como princípio de funcionamento o ciclo do oxigênio, apresenta eletrólito imobilizado e dispõe de uma válvula reguladora para escape de gases, quando a pressão interna do acumulador exceder a um valor pré-determinado.

**acumulador elétrico:** Dispositivo capaz de transformar energia química em energia elétrica e vice-versa, em reações quase completamente reversíveis, destinado a armazenar sob forma de energia química a energia elétrica que lhe tenha sido fornecida, restituindo a mesma em condições determinadas.

**acumulador estacionário:** Acumulador que, por natureza do serviço, funciona imóvel, permanentemente conectado a uma fonte de corrente contínua.

**auto-descarga:** Descarga proveniente de processos eletroquímicos internos do acumulador.

**bateria:** Conjunto de elementos interligados eletricamente.

**capacidade em ampères-hora (Ah):** Produto da corrente, em ampères, pelo tempo, em horas, corrigido para a temperatura de referência, fornecido pelo acumulador em determinado regime de descarga, até atingir a tensão final de descarga.

**capacidade nominal em ampères-hora ( $C_{10}$ ):** Capacidade em ampères-hora definida para um regime de descarga de 10 h, com corrente constante, referência (25° C), até a tensão final de 1,75 V por elemento.

**corrente de flutuação:** Corrente que flui para o acumulador quando submetido a tensão de flutuação.

**descarga de um acumulador:** Operação pela qual a energia química armazenada é convertida em energia elétrica alimentando um circuito externo.

**elemento:** Conjunto constituído de dois grupos de placas de polaridades opostas, isolados entre si por meio de separadores e/ou distanciadores, imersos no eletrólito dentro do vaso que os contém. O mesmo que acumulador elétrico.

**elemento piloto:** Elemento cujos valores de densidade e temperatura são utilizadas como referência para a bateria.

**eletrólito:** Solução aquosa de ácido sulfúrico que banha as placas, permitindo a condução de íons.

**matéria ativa:** Parte da placa que é submetida a uma transformação química durante a passagem de corrente.

**monobloco:** Conjunto de dois ou mais elementos interligados eletricamente, montados em uma peça, em compartimentos separados com eletrólito independente.

**pólo:** Peça metálica conectada a barra coletora que permite a ligação com o circuito externo.

**regime de descarga:** Condição de descarga de um acumulador, definido por uma corrente necessária para que seja atingida a tensão final de descarga, em tempo e condições especificados.

**regime de flutuação:** Condição em que o elemento ou bateria é mantido a uma carga de flutuação contínua visando compensar as perdas por auto-descarga e mantê-lo no estado de plena carga.

**resistência interna:** Denominação geralmente utilizada para o circuito elétrico equivalente que gera uma não idealidade na bateria.

**tensão final de descarga:** Tensão na qual se considera o elemento tecnicamente descarregado para um determinado regime de descarga.

**tensão de flutuação:** Tensão acima de tensão de circuito aberto, estabelecida para elemento carregado, acrescida apenas do necessário para compensar as perdas por auto-descarga, mantendo o elemento carregado.

**tensão nominal de um elemento:** Valor de tensão que caracteriza o tipo de acumulador. Para elemento chumbo-ácido a tensão nominal é de 2 V à temperatura de referência .

**vida útil de um acumulador:** Intervalo de tempo entre o início de operação e o instante no qual a sua capacidade atinge 80% da capacidade nominal.