

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

Projeto de Engenharia Elétrica  
**Análise de Perfis de Carregamento para Acumulador  
Chumbo Ácido Tractionário.**

Aluno: Cícero Henrique Grangeiro Soares – 20311267

E-mail: henriquegrangeiro1@yahoo.com.br

Orientador:

Prof. Dr. Raimundo Carlos de Silvério Freire

Fevereiro de 2009

*Relatório referente à disciplina  
Projeto de Engenharia Elétrica do aluno  
Cícero Henrique Grangeiro Soares sob a orientação  
do professor Doutor Raimundo Carlos de Silvério Freire.*

---

Cícero Henrique Grangeiro Soares  
(Aluno)

---

Raimundo Carlos de Silvério Freire  
(Orientador)

## Sumário

<b>1.0-Introdução.....</b>	<b>5</b>
<b>2.0-Objetivos .....</b>	<b>8</b>
2.1-Objetivos gerais .....	8
2.2-Objetivos específicos .....	8
2.3-Metodologia .....	8
<b>3.0-Terminologia.....</b>	<b>8</b>
<b>4.0-Histórico da Empresa Onde Foi Desenvolvido o Trabalho .....</b>	<b>9</b>
<b>5.0-Reações Eletroquímicas do Acumulador Chumbo Ácido .....</b>	<b>11</b>
5.1-Teoria do Duplo-Sulfato .....	11
5.2-Princípio de Funcionamento de um Acumulador Chumbo Ácido .....	11
5.3-Componentes da Bateria Tractionária.....	15
<b>6.0-Descarregamento de Acumuladores Chumbo Ácido .....</b>	<b>20</b>
6.1-Descargas Realizadas Durante os Experimentos .....	21
<b>7.0-Testes de Observação de Perfis .....</b>	<b>23</b>
7.1-Introdução ao Uso e Carregamento de Acumuladores Chumbo Ácido .....	23
7.2-Carregadores de Bateria Tacionária Utilizados no Brasil .....	24
7.2.1-Carregadores JLW.....	26
7.2.2-Carregadores KM.....	30
7.2.3-Carregadores Dieleto .....	33
7.2.2-Teses Realizados com o Módulo.....	35
<b>8.0-Conclusão .....</b>	<b>40</b>
<b>9.0-Bibliografia .....</b>	<b>42</b>

## Índice das Figuras e Tabelas

### Figuras

Figura 1-Célula de Bateria.....	12
Figura 2-Célula de Bateria Durante a Descarga .....	13
Figura 3-Célula de Bateria Completamente Descarregada.....	13
Figura 4-Célula de Bateria Durante a Recarga .....	14
Figura 5-Bateria Tracionária .....	15
Figura 6-Diagrama dos Componentes de uma Bateria Tracionária.....	16
Figura 7-Vaso de um Elemento Tracionário .....	17
Figura 8-Tampa de um Elemento .....	18
Figura 9-Prisma .....	18
Figura 10-Célula de Elemento.....	19
Figura 11-Blindagem da Placa Positiva.....	20
Figura 12-Gráfico da Corrente de Descarga no Tempo.....	21
Figura 13-Corrente de Descarga para Elemento Tracionário .....	22
Figura 14-Cuba para Descarga de Elementos.....	23
Figura 15-Descarga em C5 para Bateria 9HDP410.....	24
Figura 16-Diagrama Esquemático de um Carregador para Bateria Tracionária.....	25
Figura 17-Diagrama Elétrico Monofásico Simplificado do Carregador para a Bateria Tracionária .....	26
Figura 18-Carregador JLW.....	27
Figura 19-Configuração do Carregador JLW .....	27
Figura 20-Corrente de Carregamento da Bateria 9HDP560(12°Ciclo).....	28
Figura 21-Corrente de Carga para a Bateria 9HDP441(11°Ciclo) .....	28
Figura 22-Temperatura do Eletrólito para a Bateria 9HDP560 .....	29
Figura 23- Temperatura do Eletrólito para a Bateria 9HDP441 .....	29
Figura 24- Carga da Bateria 9HDP560(perfil recomendado).....	30
Figura 25-Carregador KM.....	31

Figura 26-Curva de Descarga da Bateria 9HDP410.....	31
Figura 27-Curvas de Carga da Bateria 9HDP410.....	32
Figura 28-Carregador Dieletro .....	33
Figura 29-Curva de Carga Utilizando o Carregador Dieletro.....	34
Figura 30-Curva de Descarga da Bateria 9HDP410.....	34
Figura 31-Módulo de Teste .....	35
Figura 32- Teste de Perfil Utilizando Módulo para Bateria 9HDP560.....	36
Figura 33-Ciclagem de Bateria Tracionária .....	36
Figura 34-Carga e Descarga com o Módulo para Bateria(9HDP410).....	38

## **Tabelas**

Tabela 1 – Descrição de ciclagem da bateria(9HDP560) .....	37
Tabela 2 – Comparativo de carregamento .....	38

## 1.0- Introdução

O trabalho foi desenvolvido em um período de 7 de julho de 2008 a 5 de dezembro de 2008, tendo em vista a importância do tema para a indústria em questão, pois haviam reclamações por parte de clientes sobre o produto (bateria tracionária) e tornou-se necessário o conhecimento e maturidade de idéias para melhorar a relação com o consumidor.

Hoje a sociedade tem uma necessidade crescente pelo uso da energia elétrica. A quantidade de equipamentos e dispositivos utilizados diariamente é bastante grande e muito maior é a necessidade por energia disponível. Devido à dificuldade na transmissão de energia ou pela distância ou devido o não uso de cabeamento para o qual essa energia tenha que ser enviada, utiliza-se um grande número de acumuladores.

Neste contexto, o uso de acumuladores de energia é imprescindível para a manutenção da nossa forma de vida atual. Eles permitem que esta energia seja gerada em um dado momento e/ou local e possa ser utilizada em outro momento ou situação. Para se ter uma idéia da importância dos acumuladores basta-se lembrar que praticamente todos os veículos automotores que conhecemos, fazem uso de acumuladores de energia, ou como fonte efetiva de energia, ou para ignição de motores à combustão interna.

Além disto, existe um crescimento no uso de acumuladores, devido ao aumento crescente no número de equipamentos que os utilizam, mesmo em momento de crise o número de acumuladores requeridos pela população vem aumentando e se difundindo para outros fins como o uso em telecomunicações.

Por outro lado, nos últimos anos, a necessidade do deslocamento da matriz energética verificando ser necessário pensar em utilizar algo diferente das fontes tradicionais, baseadas nos hidrocarbonetos, para as denominadas fontes renováveis, passou de uma perspectiva de longo prazo para uma realidade que já está sendo discutida no dia a dia do planejamento energético da maioria dos países. E nesta área os acumuladores de energia têm um papel vital. O uso de fontes de energia renováveis, por exemplo a geração eólica e através da recepção fotovoltaica sempre está sempre relacionadas com o uso de banco de baterias.

A interrupção no fornecimento de energia por falhas nos sistemas de transmissão e distribuição também favorecem um interessante o uso para os acumuladores de energia, que são utilizados em *no-breaks*. Existem alguns casos na indústria onde

determinados equipamentos utilizam alimentação direta por baterias, isso ocorre quando estes equipamentos não podem de maneira nenhuma estar sujeitos a paradas devido a cortes no fornecimento de energia. Por exemplo, nas próprias usinas geradoras de energia elétrica as bombas que fazem a injeção de óleo nos mancais das turbinas são energizadas por um banco de baterias.

Muitos outros exemplos podem ser citados, onde fica claro que os acumuladores de energia são uma componente vital para o normal funcionamento do sistema de fornecimento de energia. Mas, a análise se restringirá aos veículos automotores, sua alimentação e principalmente o carregamento dos elementos de acúmulo da energia utilizada para tração elétrica.

Devido à grande quantidade de problemas que vêm acompanhando os combustíveis fósseis nos últimos anos, é crescente o interesse pelo uso de fontes de alimentação utilizando fontes alternativas e renováveis. Como exemplos, temos um aumento significativo no uso do etanol e biodiesel. Com isso veio à necessidade de se desenvolver novas fontes de energia para concorrer com as já tradicionais, e o estudo da propulsão para automóveis com várias possibilidades de alimentação de energia, como os veículos com combustíveis alternativos e motores elétricos. Estes vêm a ser os prováveis substitutos dos carros movidos a gasolina e diesel.

Para se conseguir guardar a energia necessária utilizamos baterias, sendo que a mais comum delas é a chumbo ácido. Os outros acumuladores evoluíram bastante com o tempo. Os tipos de baterias que concorrem com a bateria chumbo ácido evoluíram consideravelmente durante os últimos anos, principalmente melhorando o seu desempenho e diminuindo seus custos (que, juntamente com a possibilidade de reciclar, é a principal vantagem da bateria chumbo ácido sobre suas concorrentes). Mas ainda assim a viabilidade econômica, em larga escala, dos veículos elétricos, sejam eles Veículos Elétricos ou Veículos Híbridos, passa pela utilização de baterias de chumbo ácido.

Mas para que este tipo de bateria possa ser utilizada nos motores elétricos de automóveis, algumas barreiras tecnológicas ainda têm que ser vencidas, como, por exemplo, trabalhar em estado parcial de carga, aumentar a sua confiabilidade contra falhas, aceitar elevadas correntes de carga e de descarga, aumentar a sua densidade de energia, entre outras. E ainda que todos estes objetivos sejam atingidos, resta à necessidade de que a bateria seja recarregada de maneira eficiente e com maior velocidade.

Vários são os fatores que produzem um melhor carregamento do acumulador, pois para o usuário é interessante que esse processo ocorra de maneira rápida e com a maior qualidade possível. É de conhecimento que a qualidade e os tipos dos elementos constitutivos, bem como o perfil utilizado modificam esta eficiência.

É com essa idéia que foi desenvolvido o trabalho de conclusão de curso, mostrando desde os aspectos constitutivos de carregadores de bateria tracionaria utilizados no Brasil e o estudo de perfis ideais ao carregamento de baterias tracionaria.

## 2.0- Objetivos Gerais

### 2.1-Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar um estudo sobre carregadores de bateria tracionária, verificando os tipos de carregadores e os tipos de possíveis curvas para uma melhor aceitação da carga.

### 2.2-Objetivos específicos

Neste relatório é realizada uma abordagem sobre bateria tracionária, seu projeto, materiais utilizados, modo de operação e com ênfase em na CARGA E DESCARGA. Considerando vários tipos de baterias e realizando recarga para diferentes estados de descargas.

### 2.3-Metodologia

Foi seguido neste trabalho de conclusão de curso as seguintes etapas:

- **Etapa 1:** Pesquisa bibliográfica sobre o tema do TCC;
- **Etapa 2:** Análise de aspectos referentes ao projeto e a materiais de baterias tracionárias;
- **Etapa 3:** Análise de aspectos relativos à operação de baterias tracionárias;
- **Etapa 4:** Análise de aspectos relativos à operação de baterias tracionárias;
- **Etapa 5:** Preparação e elaboração do Relatório Final do TCC.

## 3.0- Terminologia

A seguir é mostrada a terminologia para alguns elementos que compõem a bateria tracionária:

- **Célula:** também chamada de elemento, trata-se da unidade estrutural básica da bateria, capaz de fornecer uma tensão de aproximadamente 2V, sendo assim , para construir uma bateria de 12V, por exemplo, é preciso conectar seis células em série.
- **Material ativo:** massa presente no interior da célula capaz de reagir com o ácido sulfúrico presente no eletrólito, gerando assim uma corrente elétrica.
- **Placa:** consiste em uma superfície plana ao longo da qual se encontra o material ativo da célula.

- **Grade:** espécie de esqueleto interno da placa, tendo como função sustentar o material ativo da mesma além de também de servir como meio condutor da corrente elétrica na placa.
- **Filete:** é cada haste vertical e horizontal que compõe a estrutura da grade.
- **Orelha:** parte superior da placa, por onde toda a corrente que circula em cada filete que compõe a grade será escoada.
- **Separador:** Elemento produzido a base de Polipropileno, com a função principal de evitar contatos entre as placas positiva e negativa;
- **Elemento:** Unidade básica de 2V para formação da bateria;
- **Perfil de carregamento:** Comportamento da corrente contínua para o carregamento do acumulador;
- **Gaseificação do eletrólito:** Devido à grande quantidade de calor na região interna dos elementos que formam os elementos ocorre a evaporação do eletrólito ou a chamada gaseificação;
- **Queda de massa:** Fenômeno que ocorre nas baterias devido aos problemas de envelhecimento, aumento excessivo de temperatura e má fixação do material ativo na placa positiva
- **Regiões "sulfatadas" ou com sulfato de chumbo não mais reverso:** São regiões da placa positiva onde são formados aglomerados de sulfatos de chumbo. Nestas regiões pode ocorrer de a estrutura atômica ser tal que dificilmente irá retornar a formar óxido de chumbo;
- **Morssing:** Aparece devido a regiões de campo magnético intenso no interior do acumulador, pode ocorrer de o material positivo tender a formar moléculas que tendam a se aproximar do material negativo, este fenômeno é potencializado quando ocorrem altas descargas em períodos longos de tempo(mais de 3 horas);
- **Corrosão de grade:** Este fenômeno ocorre principalmente no final da vida útil de um acumulador. Pode ocorrer pelo contato direto da grade com o ácido ou imperfeições da placa.

#### 4.0- Histórico

Não há como realizar a separação de sistemas de carregamento e mostrar um histórico das maneiras utilizadas e as datas prováveis em que isso ocorreu. Isso é

praticamente impossível, mas a história do acumulador ajuda a explicar o surgimento e a realização do carregamento de acumuladores.

É interessante, mas os primeiros experimentos a respeito das fontes eletroquímicas foram através de observações feitas em rãs, onde o médico italiano Luigi Galvani no ano de 1786 verificou em células nervosas a passagem de uma corrente elétrica.

- Em 1800, Volta desenvolveu a célula galvânica inicialmente em uma linha de pesquisa.
- Em 1802, o francês Gautherot descobriu a polarização da prata e produziu uma corrente elétrica passando através de uma célula utilizado na decomposição da água.
- 1803 – o cientista alemão Ritter observou que a passagem de corrente elétrica por dois eletrodos iguais imersos em um eletrólito produzia uma polarização, e após a fonte externa de corrente ser removida havia uma produção de corrente no sentido inverso àquele inicialmente imposto;
- 1836 – o inglês John F. Daniel criou a pilha de Daniel, esta utilizava dois eletrodos, um de cobre e o outro de zinco, imersos em solução de sulfato de cobre e de sulfato de zinco, respectivamente. A pilha de Daniel era um tanto quanto mais segura e menos corrosiva que a célula voltaica;
- 1839 – William Robert Grove desenvolveu a primeira célula de bateria a combustível, a qual produzia eletricidade a partir da combinação entre hidrogênio e oxigênio, não é recarregável;
- 1859 – o francês Gaston Planté desenvolveu a primeira bateria de armazenamento chumbo-ácido, esta foi a primeira bateria que podia ser recarregada, diferentemente das outras desenvolvidas até então;
- 1866 – o engenheiro francês Georges Leclanche patenteou a célula de bateria de zinco-carbono, surgindo mais um tipo de acumulador, este não recarregável;
- 1899 – Waldmar Jungner inventou a primeira bateria recarregável de níquel-cádmio, estas baterias de baixo rendimento;
- 1901 – Thomas Alva Edison criou a bateria alcalina;
- 1949 – Lew Urry desenvolveu uma pequena bateria alcalina, com durabilidade de cinco a oito vezes maior que as baterias zinco-carbono;

- 1954 – Gerald Pearson, Calvin Fuller e Daryl Chapin criaram a primeira bateria solar.

## 5.0- Reações Eletroquímicas dos Acumuladores Chumbo

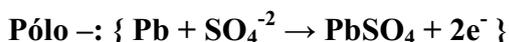
### Ácidos

Segundo *Vinal*, surgiram vários questionamentos sobre a teoria que dá nome a reação em baterias chumbo ácida. Todos os nomes ligados ao tipo de reação que ocorre, mas na realidade muitos autores chamam de reação de duplo sulfato, ou *double-sulfate*. O que ocorre na realidade é uma reação química que envolve o sulfato de chumbo e o óxido de chumbo, como principais reagentes. A descrição da teoria ajuda a explicar o início do processo de recarga nas baterias.

#### 5.1-A teoria do Duplo-Sulfato.

Esta teoria foi proposta por Gladstone e Tribe, dois químicos de uma indústria francesa. A teoria foi motivo de muita discussão e haviam vários pesquisadores que eram contra a mesma. Eles descobriram que o sulfato de chumbo era formado nas duas placas através do processo de descarga, verificaram ainda que o eletrólito se apresentava muito diluído quando ocorria a descarga da bateria. Coube a E. Frankland, em 1883, a sugestão da recarga de baterias.

A teoria do Duplo-Sulfato é bastante exemplificada através da reação química de redução:

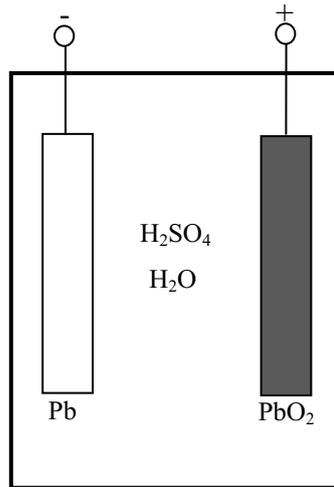


Na reação global mostrada acima, temos a indicação da carga e descarga. É possível verificar que o nome de teoria do Duplo-Sulfato nasceu do fato que o sulfato de chumbo é proveniente da reação na placa positiva(PbO<sub>2</sub>) e negativa(Pb).

#### 5.2-Princípio de funcionamento

Antes de entrar em funcionamento a bateria tracionária precisa ser carregada, isto é feito submetendo-se a mesma a uma corrente DC durante várias horas, sendo este processo de carga inicial chamado de formação.

Após terminado o processo de formação, as reações químicas internas às células estão completas: o material ativo da placa positiva foi convertido em dióxido de chumbo ( $\text{PbO}_2$ ), o da placa negativa foi convertido em chumbo esponjoso ( $\text{Pb}$ ), ambas as placas imersas em solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), conforme ilustrado abaixo [1]:



**Figura 1 – Célula de bateria após a formação**

Depois de formada, a bateria está pronta para ser usada, ou seja, a bateria está apta para ser descarregada, quando então uma corrente elétrica fluirá do terminal positivo para o negativo. É interessante ressaltar que esta corrente também flui no interior da célula entre as placas positivas e negativas através da condução no ácido sulfúrico.

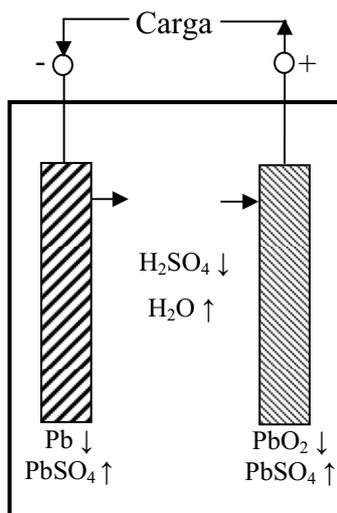
À medida que a bateria vai sendo descarregada, as moléculas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  presentes no eletrólito vão sendo dissociadas em um íon sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) e dois íons de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ).

A migração destes íons para as placas imersas no eletrólito que faz com que haja circulação de corrente por dentro da célula. A maioria das reações químicas da célula ocorre junto à superfície das placas em contato com o eletrólito, sendo então justamente nesta superfície onde ocorrem as alterações químicas no material ativo.

Quando nenhum circuito externo está conectado aos terminais da bateria, os dois tipos de íons presentes no eletrólito estão em equilíbrio, não se movimentando em direção às placas.

Ao conectarmos uma carga aos terminais da bateria, os íons  $\text{SO}_4^{-2}$  reagem com o Pb da placa negativa, resultando na formação de sulfato de chumbo ( $\text{PbSO}_4$ ) além de dois elétrons que irão para o terminal positivo da bateria.

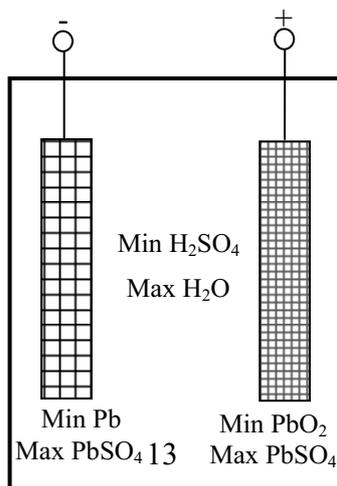
À medida que chegam elétrons da placa negativa na positiva, o oxigênio do  $\text{PbO}_2$  presente na placa positiva, reage com os íons  $\text{H}^+$  do eletrólito formando assim água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). A retirada do oxigênio da placa positiva deixa íons de chumbo livres na mesma, sendo assim, estes também reagem com o sulfato do eletrólito, formando  $\text{PbSO}_4$ . A seguir é ilustrado o que ocorre na célula da bateria durante uma descarga:



**Figura 2 - Célula de bateria durante descarga**

À medida que a descarga procede, mais  $\text{PbSO}_4$  é formado em ambas as placas e menos moléculas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  encontram-se presentes no eletrólito, sendo assim, a quantidade de ácido sulfúrico presente no eletrólito é um bom indicador do estado de carga da bateria, o que comumente é aferido através da análise da densidade do eletrólito, quanto maior este valor mais carregada encontra-se a bateria.

Quando uma bateria está completamente descarregada, a mesma apresenta a maior concentração possível de  $\text{PbSO}_4$  em ambas as placas, além de também ter a maior e a menor concentração possível de  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , respectivamente, no eletrólito. A seguir é ilustrada tal situação:



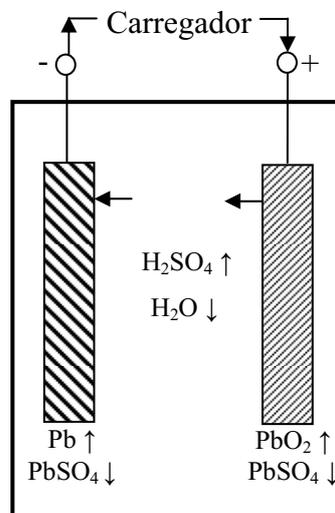
**Figura 3 - Célula de bateria completamente descarregada**

Para recarregar a bateria, deve-se ligá-la a um gerador de corrente contínua que movimente corrente elétrica em sentido contrário ao seu funcionamento normal, com isso todas as reações químicas serão invertidas.

Durante a recarga o carregador envia um excesso de elétrons para a placa negativa, isto faz com que os íons  $H^+$ , sejam atraídos para placa negativa, possibilitando assim que estes reajam com o  $PbSO_4$  e forme novamente chumbo esponjoso (Pb) nas placas negativas e ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) no eletrólito [1]. Quando a maioria do sulfato de chumbo tiver sido convertida para chumbo esponjoso na placa negativa, bolhas de hidrogênio serão liberadas a partir desta placa.

Já na placa positiva, íons  $SO_4^{2-}$  são atraídos e acabam reagindo com a água do eletrólito, formando  $H_2SO_4$  e liberando íons de oxigênio que se combinará com o  $PbSO_4$  formando assim novamente dióxido de chumbo ( $PbO_2$ ).

A seqüência de reações químicas que ocorrem durante a recarga da bateria é ilustrada a seguir:



**Figura 1 - Célula de bateria durante recarga**

A reação na placa positiva prossegue até que a maioria do  $PbSO_4$  tenha sido convertida em  $PbO_2$ , quando então começa a emissão de gás oxigênio na placa em questão. A formação de oxigênio e hidrogênio nas placas positiva e negativa, respectivamente, é um sinal que a célula está carregada.

O processo de recarga faz com que íons de sulfato presentes nas placas saiam destas e formem ácido sulfúrico no eletrólito, o que aumenta a densidade do mesmo,

sendo assim, conforme foi dito anteriormente, a densidade do eletrólito indicará o quanto a bateria estará carregada.

Leituras da densidade do eletrólito só são válidas após ser iniciada a emissão de gás hidrogênio e oxigênio, processo esse chamado de gaseificação. A gaseificação fará com que diferentes partes do eletrólito com diferentes concentrações de ácido se misturem, afinal na parte superior do eletrólito a concentração de ácido é menor que em sua parte inferior, isto devido ao maior contato com o material ativo que ocorre neste último caso.

Embora o processo de gaseificação seja importante para a mistura do eletrólito, gaseificação em acesso não é bom para bateria, pois pode diminuir sua vida útil por queda do material ativo devido à emissão destas bolhas.

A gaseificação também representa perda de água no eletrólito e à medida que avançam os ciclos da bateria é preciso repor essa água perdida. Aproximadamente para cada 100Ah de gaseificação é preciso repor  $34\text{cm}^3$  de água [1].

Caso a bateria seja descarregada muito acima do permitido, haverá uma concentração muito alta de  $\text{PbSO}_4$  nas placas, e a bateria é dita está sulfatada. Quando uma bateria encontra-se sulfatada, o excesso de sulfato faz com que as placas apresentem pouca porosidade, o que dificultará a reação do material ativo destas com o eletrólito, fazendo com que a bateria não consiga aceitar carga durante o processo de recarga.

### **5.3-Componentes de baterias tracionárias**

Uma bateria tracionária possui tamanho e peso bastante e elevados, é comum encontrarmos baterias deste tipo pesando mais de uma tonelada, quanto maior sua capacidade maiores são suas dimensões. A seguir é mostrada uma bateria tracionária totalmente montada e pronta para ser usada:

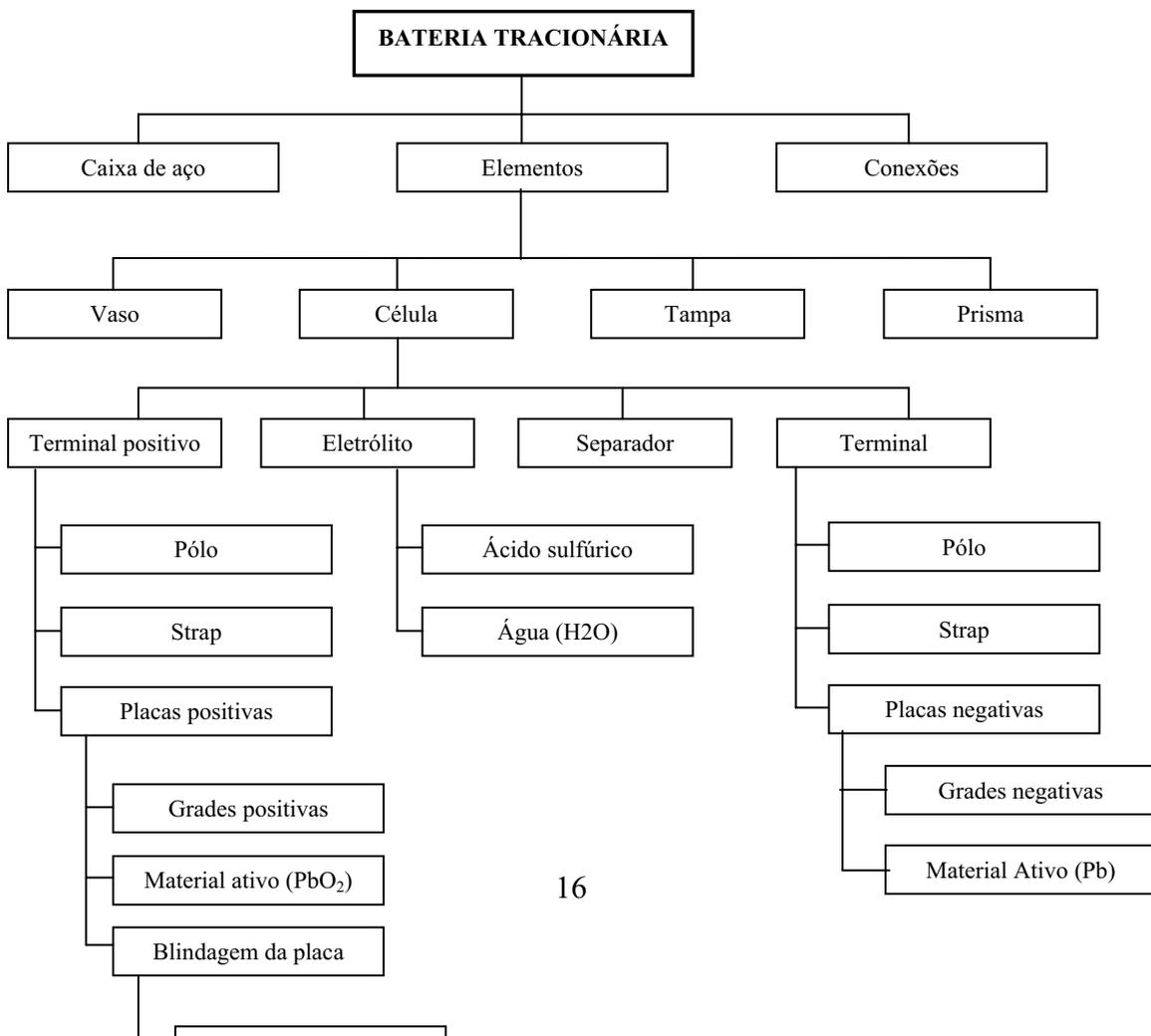


**Figura 5 - Bateria tracionária**

Até chegar à montagem mostrada acima, uma série de processos fabris é necessária, manipulando um conjunto amplo de materiais essenciais para da bateria.

São muitos os materiais necessários para fazer uma bateia tracionária, este processo envolve um grande número de fornecedores de materiais distintos, afinal é preciso desde a caixa de aço para agrupar os elementos, até os cabos elétricos para conectá-los em série.

A seguir é mostrada uma árvore estrutural que resume os principais componentes de uma bateria tracionária:



### **Figura 6 - Diagrama dos componentes de uma bateria tracionária**

Conforme ilustrado acima, uma bateria tracionária é composta basicamente por uma caixa de aço, conexões e alguns elementos, cuja quantidade depende da tensão da bateria.

A função da caixa de aço é manter protegido e agrupado o conjunto de elementos usados na montagem da bateria. Quando os elementos são postos dentro da caixa de aço, a compressão exercida por esta sobre as paredes dos vasos dos elementos, faz com que o nível interno do eletrólito eleve-se, além de também favorecer a sustentação do material ativo nas placas. É muito importante que a caixa de aço tenha uma isolamento ôhmica bastante elevada, acima de  $2000M\Omega$ , pois caso contrário pode haver alguma fuga de corrente para a carcaça do veículo onde a bateria está instalada.

As conexões utilizadas na bateria servem para conectar em série os elementos que fornecem aproximadamente 2V cada, sendo assim, para montar uma bateria de 12V são necessários 6 elementos e 5 conexões para ligá-los em série.

A conexão comumente utilizada é feita através de uma barra de chumbo que é formada por um processo de soldagem entre dois pólos. Também é possível não utilizar soldagem para conectar os elementos, podem-se utilizar cabos de cobre conectados aos pólos através de parafusos, estes devem ser bem apertados de forma a não deixar folgas entre as conexões e os pólos.

O componente mais importante da bateria é o elemento, na verdade a bateria é formada por um conjunto destes. Cada elemento é formado por um vaso, uma tampa, um prisma e uma célula.

O vaso nada mais é do que um recipiente plástico onde fica retido todo o eletrólito onde se encontra imerso o material ativo para reação da bateria, conforme ilustrado abaixo:



**Figura 7 - Vaso de um elemento tracionário**

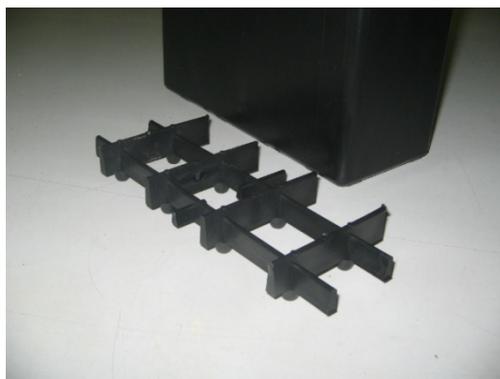
Para tornar mais seguro a operação de baterias tracionárias, é preciso isolar o eletrólito da possibilidade de contato com o meio ambiente, sendo assim, uma tampa é selada na parte superior do vaso. Esta tampa também é feita em material plástico e contém apenas os orifícios para os pólos do elemento e também para uma válvula que é utilizada para medição da densidade do eletrólito e reposição de água.



**Figura 8 - Tampa de um elemento**

À medida que os ciclos de uso da bateria avançam, pode haver queda de seu material ativo, este vai então se acumulando na base inferior do vaso. Caso as placas estivessem diretamente apoiadas no fundo do vaso, esta queda de material ativo fecharia um curto-circuito entre placas positivas e negativas, fazendo com que o elemento entrasse em auto-descarga.

Desta forma, para evitar, ou pelo menos diminuir o risco de auto-descarga, utiliza-se no fundo do vaso uma espécie de grade, que eleva a altura das placas com relação ao fundo do vaso, o que evita o contato do material ativo solto com as placas, dado que estarão respectivamente, abaixo e acima do nível desta grade. A esta grade damos o nome de prisma.



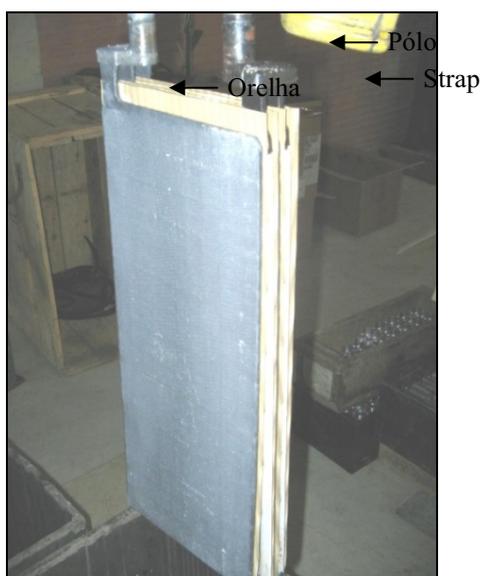
**Figura 9- Prisma**

Os componentes citados até este momento, têm apenas importância estrutural para a bateria, diferentemente da célula que representa a parte mais importante da mesma, apresentando total importância funcional para a bateria.

A célula é formada por um terminal positivo e outro negativo, separadores e o eletrólito. Este último é formado por uma mistura de água e ácido sulfúrico, e quando a bateria encontra-se plenamente carregada apresenta densidade de 1300g/L.

O terminal positivo tem uma formação parecida com o terminal negativo, a diferença encontra-se no material ativo ( $\text{PbO}_2$  nas placas positivas e Pb nas negativas) e nas camadas de proteção, presentes apenas nas placas positivas.

Cada terminal tem um conjunto de placas, que são conectadas em paralelo através de soldagem, sendo o produto dessa solda chamado de strap. Junto ao strap é soldado o pólo, que tem função de escoar a corrente que circula pelo conjunto de placas do terminal em questão.



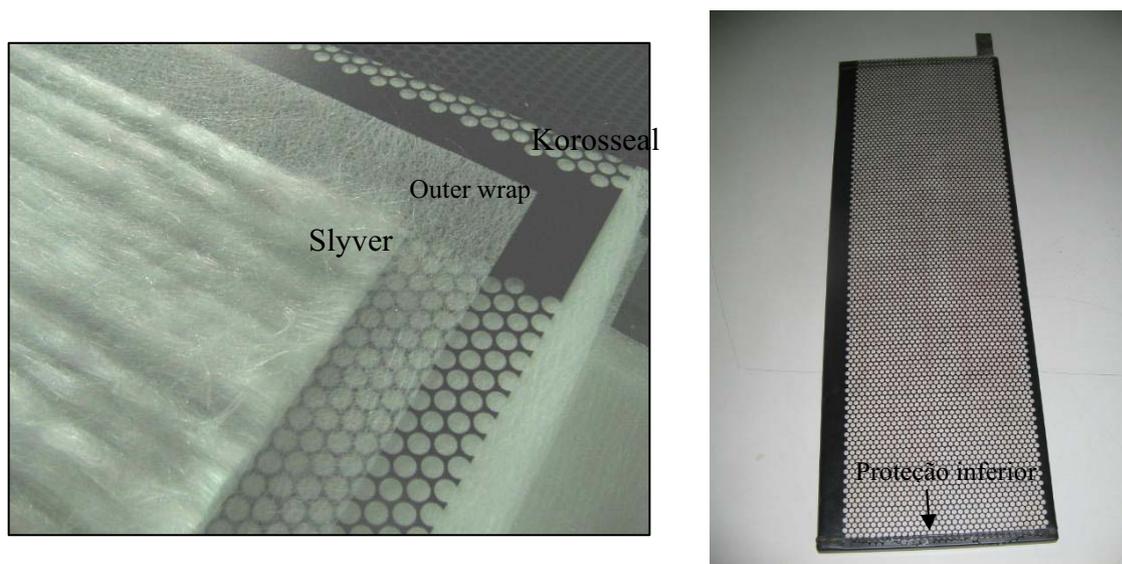
**Figura 10 - Célula de um elemento**

Cada placa, seja ela positiva ou negativa, é formada por um material ativo empastado em uma grade de chumbo. Estas grades têm o mesmo comprimento e largura, porém a grade positiva é mais espessa que a negativa.

Além de ser mais espessa que a placa negativa, a placa positiva apresenta um conjunto de blindagens que visa diminuir o risco de queda de material ativo. Basicamente são quatro proteções: *slyver*, *outer wrap*, *korosseal* e um protetor inferior, em ordem do mais interno para o mais externo.

O *slyver* e o *outer wrap* são mantas de fibra de vidro que envelopam toda a placa positiva, exceto a orelha, que encontra-se localizada na parte superior da placa sendo por onde a corrente que circula pelos filetes da placa será escoada para o *strap*.

O *korosseal* é uma espécie de manta perfurada em PVC que é colocada por sobre a camada do *outer wrap*. Por fim, após a colocação do *korosseal*, uma proteção na parte inferior da placa é anexada, conforme ilustrado abaixo.



**Figura 11 – Blindagens da placa positiva**

Entre cada placa positiva e negativa existe um separador que evita que estas entrem em contato direto, o que faria com que o elemento entra-se em auto-descarga, sendo assim, este separador isola as placas de diferentes polaridades, permitindo apenas a passagem de íons.

## **6.0- Descarregamento de Acumuladores Chumbo Ácido**

O descarregamento dos acumuladores chumbo ácido tracionários é algo bastante importante, pois dependendo de sua descarga é possível determinar quanto de energia a bateria pode ainda fornecer, seu estado de carga e o quanto é necessário carregar.

Além disso, o seu estado de descarga é um dos fatores mais importantes para determinação da vida útil de um acumulador, pois o seu estado de descarga pode causar uma série de problemas como a formação de **regiões com sulfato de chumbo em estado (não mais reverso)**, como a **queda de massa, formação de *morssing*** ou até mesmo a **corrosão de grade**. Na figura 12, temos a representação gráfica da curva da corrente fornecida pelo acumulador em função do tempo.

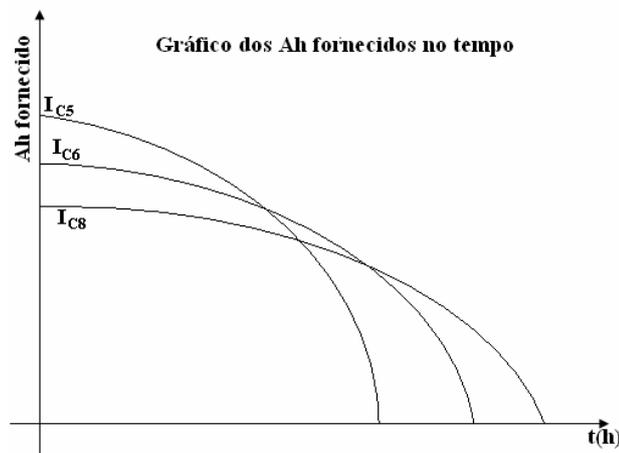


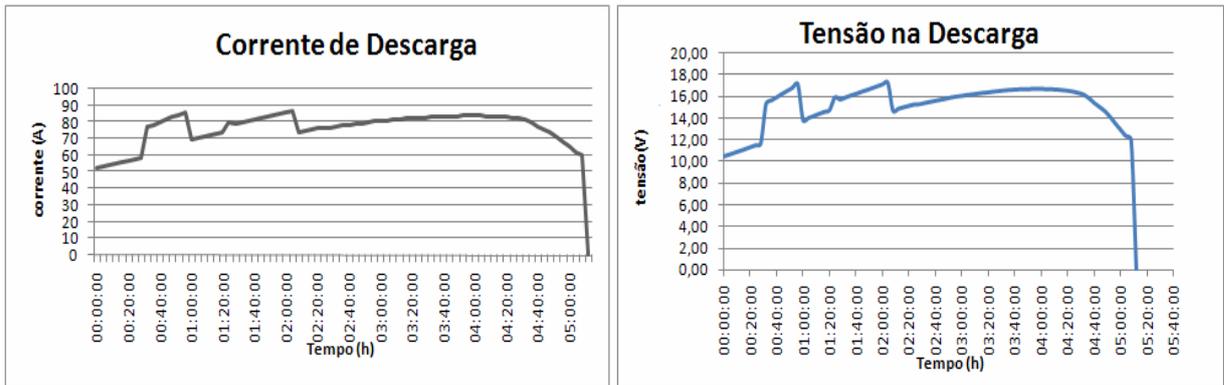
Figura 12 - Gráfico da corrente de descarga no tempo

Pode ser percebido na figura 12, que com o crescimento da corrente há uma diminuição enorme no fornecimento de energia. Por exemplo, para uma bateria de 608Ah, temos o fornecimento desta quantidade de corrente para uma corrente de descarga de 8h, 560Ah em 6h e 540Ah em 5h. Com isso, é recomendada para o consumidor uma bateria que venha a depender da quantidade de corrente do equipamento e do tipo de atividade que se irá realizar com o mesmo.

É recomendado a consumidores de baterias tracionárias que a utilizem até aproximadamente 80% de sua capacidade, visando não causar aumento a vida do acumulador e não causar problemas precoces. A tensão limite para a bateria tracionária utilizada é de 1,7V por elemento, então, para uma bateria de 24V deve-se possuir a tensão de no mínimo 20,4V na sua descarga. Isto também é indicado no visor do equipamento alimentado pela bateria.

### 6.1- Descargas realizadas durante os experimentos

É mostrada na figura 13, a seguir uma curva de descarga para bateria no período de 5h, este período de descarga é usado com maior frequência, pois expressa uma descarga forte nos elementos, imaginando-se o uso da bateria de maneira agressiva. Outro fator determinante para realização deste tipo de descarga é que o tempo é relativamente curto sem prejuízos ao produto em teste.



**Figura 13 – Corrente e Tensão de Descarga para Elementos Tracionários**

Na descarga utilizamos dois multímetros um com a função de corrente e outro indicando a leitura de tensão, estes são capazes de memorizar os dados. É importante perceber que a descarga neste caso foi realizada com uma cuba contendo água e a regulação da corrente foi de tal forma a conseguir chegar às 5h de maneira aproximada. Não foi conseguido no tempo exato de 5h devido aos ajustes manuais. Na figura 14 é mostrada cuba que servia de carga para descarga da bateria.



**Figura 14 - Cuba para descarga de elementos**

Como o ajuste das barras de chumbo foi realizado através da observação dos valores de corrente no multímetro, a forma de onda da curva anterior não foi constante como esperávamos.

No mês de agosto de 2008, foi adquirido pela unidade um descarregador eletrônico, para realizar a descarga com maior precisão na corrente de descarga, pois estas descargas eram utilizadas tanto para testes de carregamento, como de aceitação de carga em geral, e este é um parâmetro de extrema importância para a observação das condições do produto, portanto o resultado tem que passar confiança. Na figura 15, temos uma curva de descarregamento de uma bateria **9HDP560**, utilizando o descarregador eletrônico com o intervalo de aquisição do tempo é de 4 minutos por aquisição.

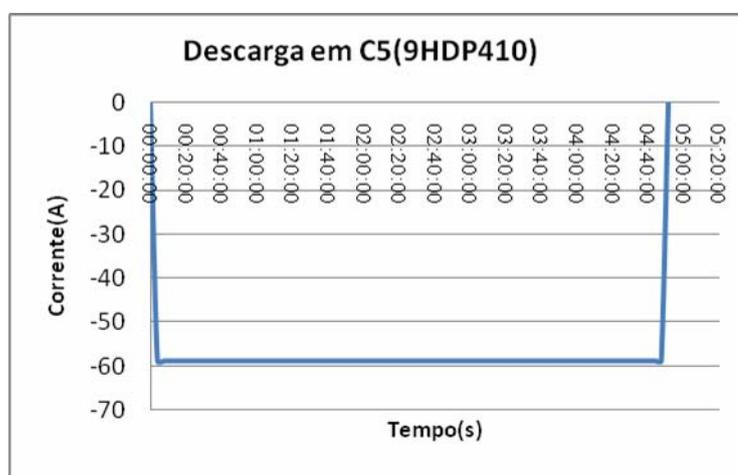


Figura 15 - Descarga em C5 da bateria 9HDP410

Como é visto na figura 15, a curva é negativa indicando o caminho contrário da corrente e a descarga ocorreu em menos de 5h. Este valor é preciso, pois a corrente tem valor praticamente constante neste tipo de descarga e com seu valor igual a 58,8A, mostrando o que realmente foi descarregado. A intenção de uma descarga deste tipo é levar a bateria até 80% de sua capacidade nominal, evitando a passagem deste valor, pois como já foi exposto o eletrólito fica pouco denso e a temperatura bastante elevada, causando gaseificação, queda de massa e sulfatação.

Após a realização das descargas é recomendado que no máximo em 30 minutos deve-se realizar o processo de carga, pois a baixa densidade do eletrólito causa formação de sulfatos na placa positiva.

## **7.0- Testes Observação de Perfis**

### **7.1- Introdução ao uso e carregamento de acumuladores**

A sociedade moderna tem uma necessidade crescente pelo uso da energia elétrica. A quantidade de equipamentos e dispositivos utilizados diariamente é enorme e muito maior é a necessidade por energia disponível. Devido à dificuldade na transmissão de energia ou pela distância ou devido o não uso de cabeamento para o qual essa energia tenha que ser enviada, utiliza-se um grande número de acumuladores.

Existem acumuladores formados por vários tipos de elementos químicos, a tentativa maior é de aumentar a capacidade de fornecimento de energia e minimizar os custos com o produto. Nos últimos anos é crescente as pesquisas por acumuladores que venham a fornecer energia limpa e com baixo custo.

### **7.2- Carregadores de Bateria Tractionária Utilizados no Brasil**

No Brasil são utilizados vários tipos de carregadores, para as baterias tracionárias todos eles seguem perfil semelhante de carregamento, conhecido como tradicional. Isto ocorre devido a vários fatores, dentre eles a falta de conhecimento por parte dos desenvolvedores do produto (utilizando um perfil com mais de trinta anos), a pouca importância dada a questão, bem como a falta de investimento realizada pelos fabricantes de carregadores.

Diante disto os fabricantes de bateria, ou melhor, a Acumuladores Moura S.A., decidiu colocar como projeto desde o ano de 2007, o estudo de aceitação de carga para bateria tracionária e um destes pontos que gerou polêmica entre consumidores, fabricantes de baterias e indústrias de carregadores foi o fato de que a bateria não apresentava um carregamento adequado.

Um dos pontos de melhoria foi a análise dos carregadores existentes no mercado nacional. A configuração física da maioria dos carregadores é bastante semelhante, o que torna um diferente do outro é a maneira no qual são sinalizados a mudança da corrente que é injetada na bateria, acessório de agito de eletrólito, potência dos componentes e a maneira com que são ajustados seus dados.

Na figura 16 abaixo é mostrado o diagrama esquemático de um carregador típico de bateria tracionária:

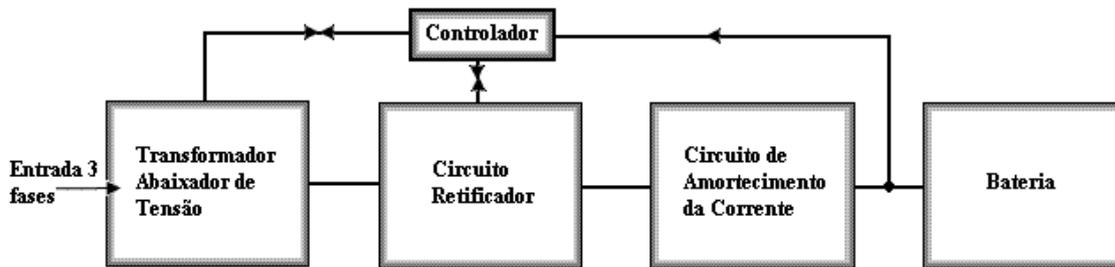


Figura 16 – Diagrama esquemático de um carregador para bateria tracionária

Onde conforme temos o sinal de tensão da entrada trifásica, entra a esquerda da figura 16 e é reduzido por um dos vários **Taps** existentes, em seguida temos um circuito de retificação que normalmente é constituído por diodos e tiristores. Estes dois blocos de entrada são ligados ao circuito de controle que, normalmente é formado por um circuito de alimentação e dispositivos necessários para o funcionamento de um microcontrolador que normalmente o utilizado é o Pic.

O circuito de controle realiza vários testes, para o início do processo de carga, onde podem ser percebidas algumas falhas e estas são indicadas nos visores digitais existentes. Normalmente as falhas mais comuns que são possíveis de indicação nos equipamentos são as seguintes:

- **Problemas na rede elétrica**

Sub-tensão ou sobre tensão, nestes casos, por segurança, o carregador desligará automaticamente. Como solução, deve-se verificar se a rede elétrica é compatível com o carregador;

- **Falta de fase**

Neste caso o carregador normalmente indica no seu visor qual a fase que está faltando(R,S,T). Como solução, deve-se verificar se os disjuntores estão todos ligados, contactores funcionando corretamente e os fios da tomada de alimentação do carregador;

- **Inversão de polaridade**

O visor normalmente indica quando isso ocorre. Como solução, deve-se modificar os cabos de ligação na bateria;

- **Sub carga**

Pode ocorrer do carregador desligar antes da tensão de 2,45V por elemento, mesmo no período de 8h, mesmo assim os carregadores já percebem esta falha e indicará no visor o defeito. Como solução, pode-se

verificar se a bateria apresenta curto, caso não seja isso observar problemas em um dos tiristores.

As setas na figura 16 indicam o fluxo da informação entre os blocos. Após a retificação do sinal, temos o circuito de amortecimento da corrente, que serve para tornar o sinal ainda pulsante em um sinal contínuo, servindo ainda de filtro para o sinal. Finalmente após este bloco temos a bateria, que possui ligação com o circuito de controle para informar como o sinal está se comportando, isto é feito através de um shunt que está entre os dois blocos finais.

O diagrama unifilar de um carregador típico é mostrado na figura 17 abaixo:

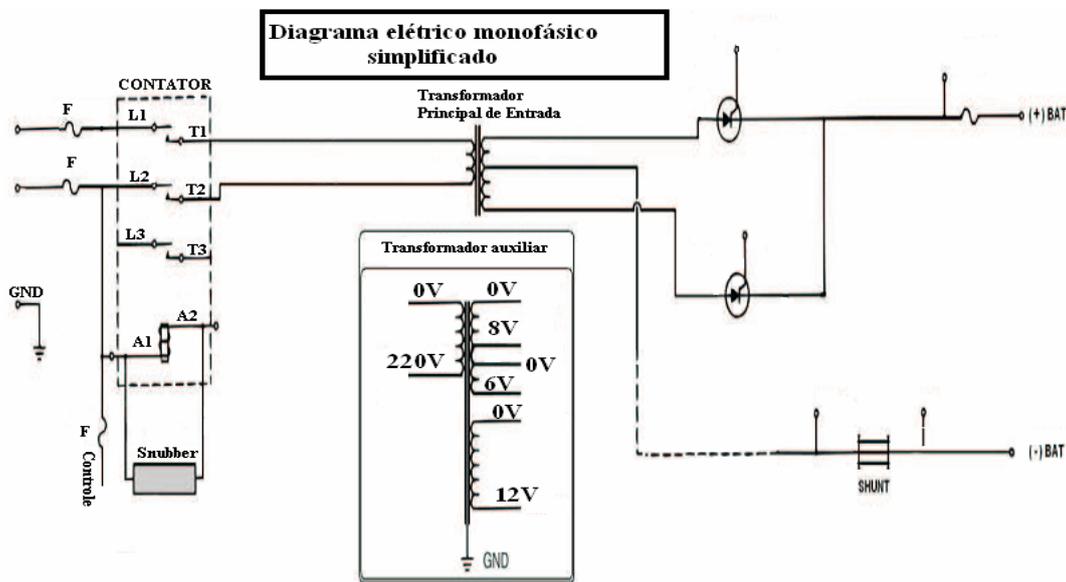


Figura 17 – Diagrama Elétrico Monofásico Simplificado para Bateria Tracionária

Neste trabalho são apresentados os três principais carregadores de bateria tracionária existentes no Brasil: A JLW, a Dieletro e a KM.

### 7.2.1 - Carregadores JLW

Os carregadores JLW são produzidos no Brasil há 20 anos, localizada na cidade de São Paulo-SP. Na figura 18 abaixo temos o carregador JLW.

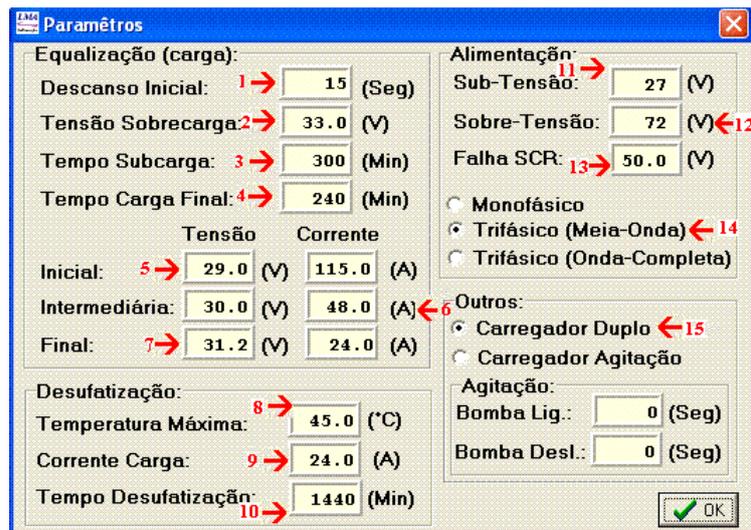


Figura 18 – Carregador JLW

O carregador que foi utilizado na fábrica é o modelo NC 24/120, série 26624, de 120A e suporta uma bateria de 24V de tensão. Possui interface com o computador através da RS-232 e o próprio fabricante fornece um software que serve para realização dos ajustes de parâmetros utilizados para melhor curva na bateria. No seu visor é possível verificar algumas falhas no processo de carregamento.

Para realizar modificações no perfil de carregamento é necessário conectar ao carregador um cabo de rede com ligação para RS232 e ainda ter no PC o software de modificação dos parâmetros.

Foi realizada a descrição de algumas das telas deste software, pois não existe manual de uso e só foi percebido o funcionamento quando foram realizados experimentos e pelo conhecimento em baterias adquirido durante o estágio. Na figura 19 abaixo temos a descrição de cada um dos botões existentes no software.



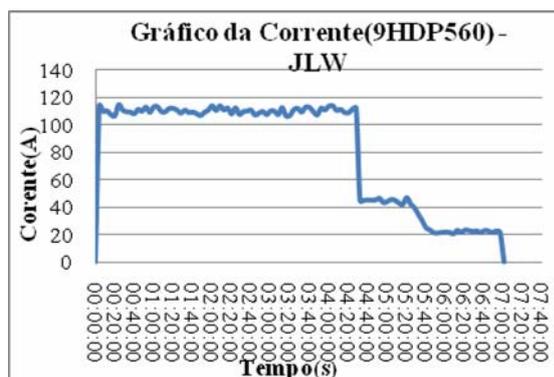
- 1-Descanso inicial(antes de começar a carga);
- 2-Máxima tensão fornecida pelo carregador;
- 3-Tempo do 1ºestágio de carga;
- 4-Tempo do último da última etapa de carga;
- 5-Tensão de passagem e corrente de passagem;
- 6-Tensão de passagem e corrente de passagem;
- 7-Tensão de passagem e corrente de passagem;
- 8-Máxima temperatura na bateria;
- 9-Corrente máxima que o carregador pode fornecer na dessulfatização do acumulador;
- 10-O tempo de equalização no caso 24h;
- 11-Alimentação para carga(bateria);
- 12-Máxima tensão admissível na carga, ou seja, 72V;
- 13- Se a tensão no SCR for acima de 50V, mostra falha do SCR;
- 14-Tipo de carregador(nosso caso é trifásico);
- 15-O tipo de carregador "sem agitação".

**Figura 19 - Configuração do carregador JLW**

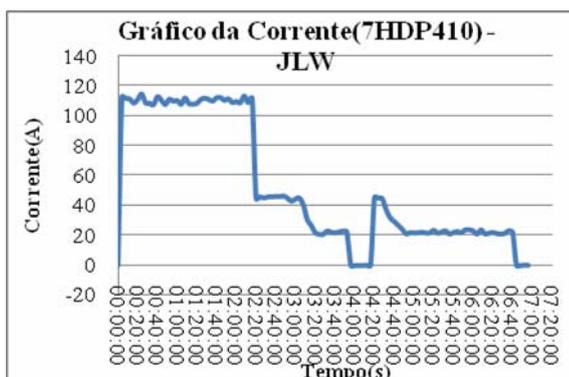
Onde, na figura 19, temos a configuração dos parâmetros para a curva dos pontos 3 ao ponto 7, isto é uma vantagem do carregador sobre os outros.

Com a modificação destes parâmetros foram conseguidas várias curvas, para alguns tipos de bateria. A descarga foi realizada nos períodos de 5, 6 e 8 horas e como é de conhecimento dependendo do estado de descarga, é necessária uma forma de carga.

Foram testadas várias curvas de carregamento, observando quais seriam os parâmetros para um o melhor carregamento. São mostrados nas figuras 20 e 21 estas curvas.



**Figura 20 – corrente de carregamento da bateria 9HDP560 (12º Ciclo)**



**Figura 21 – Corrente de carga para da bateria 9HDP441 (11º ciclo)**

Como é visto na figura 20, a corrente tem um comportamento de 3 estágios. Nesta figura foi carregada uma bateria 9HDP560 com a corrente de primeiro estágio de 20%, com uma corrente de segundo estágio de 7,6% e com uma corrente de terceiro estágio de 3,7% da corrente nominal.

Na figura 21, é mostrada uma curva de carregamento de uma bateria 9HDP441, com o mesmo carregador, tendo somente os seus parâmetros ajustados. É interessante notar que não houve 3 estágios como anteriormente mostrado, ou seja, o carregador parou de fornecer corrente para o acumulador durante um intervalo pequeno de

tempo(16min), a corrente de primeiro estágio ajustada para a bateria foi de 23% da nominal em C8 no primeiro estágio, 10% da nominal em C8 no segundo estágio segundo [3], já no terceiro estágio temos uma corrente de 4,8% da corrente nominal em C8.

Sendo comprovado que não é interessante ultrapassar o limite de 5%  $I_n$  após o primeiro estágio de carga, para o caso de um perfil supostamente semelhante ao tradicional.

Outro parâmetro bastante importante para a observação da aceitação da carga de um acumulador é a temperatura do eletrólito, pois a elevação da temperatura do eletrólito pode causar problemas que levam a degradação do acumulador, além de ser indicador da dissipação de energia por efeito joule. Isto ocorre porque com a elevação de temperatura é dificultada a reação reversa de transformação do sulfato de chumbo em chumbo metálico e óxido de chumbo. A temperatura ideal neste caso é de cerca de 45°C.

Na figura 22 e 23 são mostrados os gráficos de temperatura para o carregamento das baterias 9HDP560 e 9HDP441.

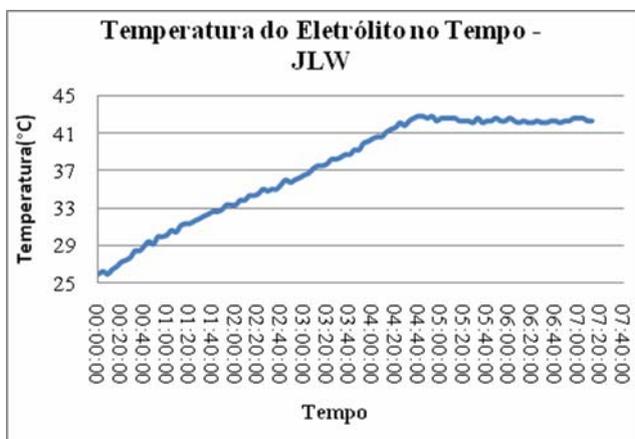


Figura 22 –Temperatura do eletrólito no tempo para bateria 9HDP560

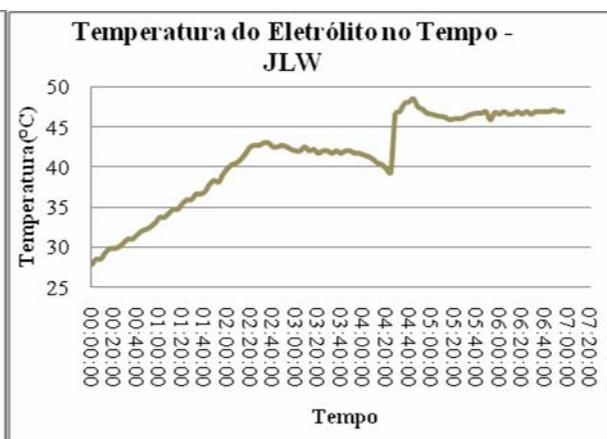


Figura 23 –Temperatura do eletrólito no tempo para bateria 9HDP441

Na figura 22 é possível observar que a temperatura não passou dos 43°C, o que facilita a aceitação de carga. Fica evidente que no segundo estágio, com uma corrente bem inferior a de primeiro estágio e a tendência de aumento da temperatura é interrompido. Para este caso o **fator de sobrecarga** foi de -6%, isto devido ao pequeno intervalo de tempo de carga, este tempo pode ser aumentado de várias maneiras, que

vêm desde a diminuição das correntes, até mesmo a modificação da tensão de mudança de estágio.

A diminuição da corrente de primeiro estágio é um fator determinante para este fim, mas ela deve ser ajustada de maneira precisa, pois do contrário pode fazer com que o segundo estágio se torne bastante curto o que não é interessante.

Já o aumento da tensão de mudança de estado, deve ser realizado tal que não ocorra uma ultrapassagem do valor de 2,65V por elemento, pois caso ultrapasse este valor pode ocorrer um aumento na temperatura do eletrólito, gerando a evaporação do eletrólito.

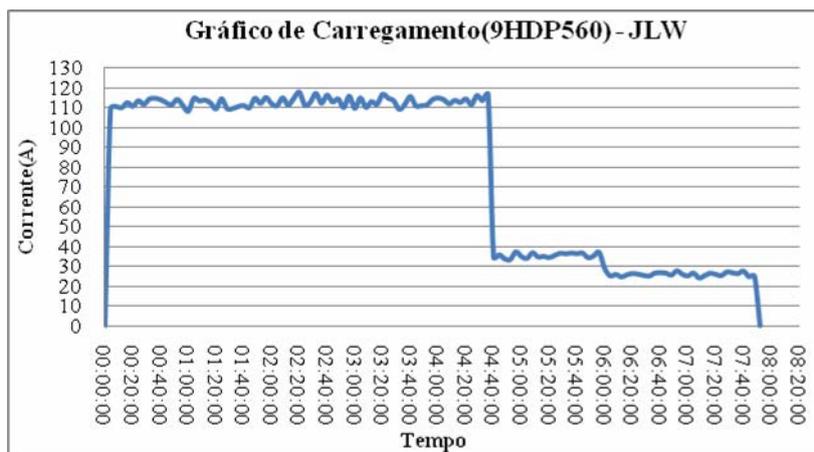
Na carga realizada com a bateria 9HDP441 pode ser percebida como o aumento da corrente de primeiro e segundo estágio pode prejudicar uma recarga. Neste caso houve uma mudança rápida do primeiro para o segundo estágio de carga(2h20min), o interessante é um primeiro estágio com aproximadamente 5 horas.

Da mesma forma que o primeiro estágio se mostrou curto, temos um segundo estágio com corrente bem acima do que é necessário, fazendo com que a carga neste estágio aconteça em baixo tempo(1h).

Já a interrupção no fornecimento de corrente ocorreu devido um aumento repentino na resistência interna da bateria, fazendo com que o circuito de carregamento entendesse que ali existia um circuito aberto e parando o carregamento.

Fazendo a observação das figuras 22 e 23, é possível perceber que um aumento brusco na passagem da corrente pelo acumulador, irá fazer com que a temperatura aumente de maneira brusca em pouco tempo, neste caso isto é percebido em aproximadamente 4 horas e 20 minutos do início da carga.

Os testes realizados com o carregador JLW apresentaram desempenho satisfatório quando descarregada a bateria em cinco horas e neste elemento foi introduzida uma corrente de primeiro estágio de 18%, de segundo estágio em torno de 5,5% e de terceiro estágio de 4,11% da corrente nominal. Foi conseguido um fator de sobrecarga de 8% e a descarga apresentou 95% da capacidade nominal para C8 em Ah. Veja na figura 24 a representação gráfica deste carregamento:



**Figura 24 –Carregamento da bateria 9HDP560(perfil recomendado)**

A bateria neste caso foi a 9HDP560 e a temperatura máxima na recarga foi de 47°C, dentro de limites de tolerância do instrumento de medição.

### 7.2.2 - Carregadores KM

A KM está firmada no ramo de carregadores de baterias a quase duas décadas. Sua sede própria está localizada na cidade de Vinhedo-SP, região de Campinas, às margens da Rodovia Anhanguera. Na figura 25, é mostrado o carregador KM.



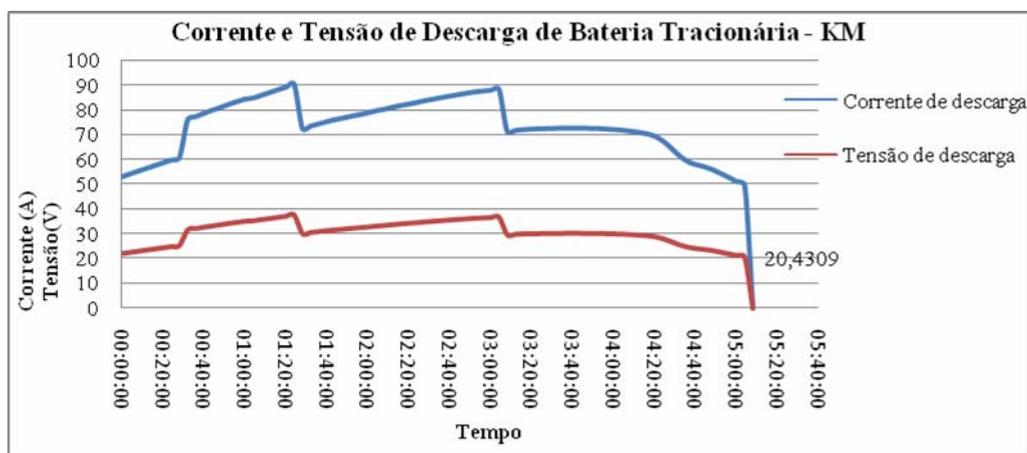
**Figura 25- Carregador KM**

O carregador KM utilizado na fábrica é o modelo KM8075, de 75A e suporta uma bateria de 24V de tensão. Possui interface com o computador através da RS-232 e o ajuste é realizado por meio de um conversor, o *Rent Set*, como os técnicos dizem se chamar. Para modificar os parâmetros deste carregador é necessário ligar o equipamento e conectar o conversor, aumentando e diminuindo a corrente e tensão.

Não foi realizada a modificação de parâmetros para este tipo de carregador, procurou-se enfatizar os carregadores de maior potência e na comparação de curvas,

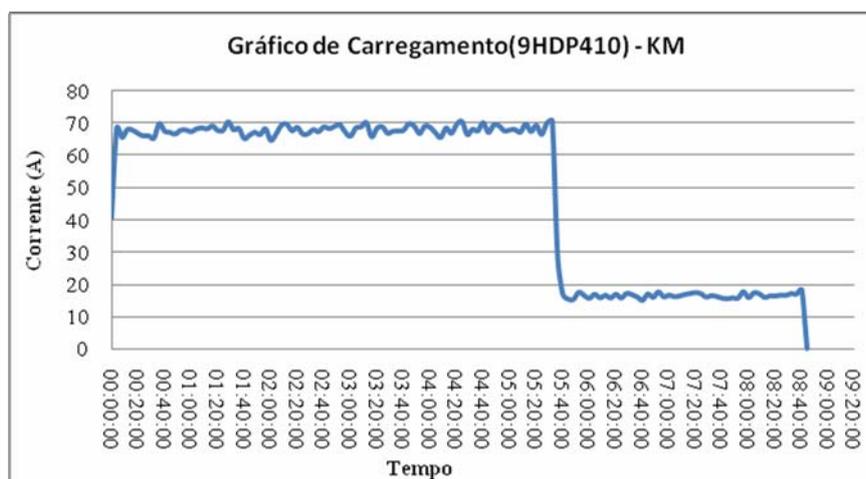
observou-se a proporcionalidade de parâmetros, já que alguns elementos foram produzidos de maneira semelhante em todo o seu processo de fabricação.

Temos na figura 26 a curva de descarga de uma bateria 9HDP410 de 392Ah, com uma descarga realizada em uma cuba contendo água e barrilha.



**Figura 26– Curva de descarga da bateria 9HDP410**

O ponto de observação utilizado no fim do descarregamento da bateria é de 20,4V na bateria, ou seja, 1,7V por elemento. Este ponto é representado na figura, mas a verificação de cerca 375Ah na bateria, isto devido a problemas existentes de aceitação de carga por parte da própria composição da placa. Na figura 26, é mostrada a curva de recarga utilizando-se o carregador KM após a descarga representada na figura anterior.



**Figura 27 – Curva de carga da bateria 9HDP410**

A carga realizada com o carregador KM possui apenas dois estágios, sendo que no primeiro estágio foi fornecida ao acumulador uma corrente de 70A, ou seja, 18% da corrente nominal para C8 e 16,2A, ou seja, 4,13% da corrente nominal em C8.

Pode-se perceber que o tempo solicitado para o fim da carga na bateria foi superior às 8h, o que representa um problema, pois o consumidor deseja utilizar a bateria em um intervalo de tempo menor possível. Além disso, esta carga forneceu 430,4Ah para a bateria, fazendo com que o fator de sobrecarga fosse negativo em 13%, a temperatura máxima do eletrólito neste caso foi de 45°C. Isto foi um dos motivos que levou a empresa a investir em pesquisas para melhorar a aceitação de carga na modificação de pontos do produto.

Foram realizados alguns outros testes com o carregador KM, mas devido sua baixa potência, ele foi o que pior se apresentou no carregamento. Com isso, a KM é a empresa que mais tem investido no desenvolvimento do produto, tendo grande interesse em inovações para satisfação do cliente.

### 7.2.3-Carregadores Dieleto

A KM está firmada no ramo de carregadores de baterias a quase duas décadas. Sua sede própria está localizada na cidade de Vinhedo-SP. Na figura 28, é mostrado o carregador Dieleto.



**Figura 28 – Carregador Dieleto**

O Carregador Dieleto utilizado é um modelo que fornece no máximo uma corrente de 85A contínua, da série 16022. A tensão de utilização deste carregador é de 24V e é possível aumentar sua corrente máxima em 10% segundo fabricante.

A modificação dos seus parâmetros é feita através de ajustes internos de potenciômetros, pois o equipamento doado a Ac. Moura não possuía interface com o computador, segundo fabricante, os novos equipamentos já possuem tal artifício. Para conseguir tais ajustes devemos realizar as seguintes atividades:

### ***Ajuste de corrente***

1º passo: Utilizar uma bateria descarregada para ajuste;

2º passo: Ligar o carregador;

3º passo: Modificar a regulação do trimpot(P6), em sentido horário para elevar a corrente de saída e anti-horário para diminuir a mesma. Este trimpot se encontra na parte interna na região central, para ter acesso se deve remover a tampa frontal.

### ***Ajuste de tensão de primeiro estágio***

1º passo: Desconectar a bateria do carregador;

2º passo: Observa se realmente o carregador se encontra em circuito aberto;

3º passo: Ajusta-se trimpot(P8), verificando em sentido horário o aumento da tensão e em sentido anti-horário a diminuição da mesma. Este trimpot se encontra em uma região próxima ao de ajuste de corrente, a tensão pode ser ajustada de 26 a 35V contínua.

### ***Ajuste da tensão de segundo estágio***

1º passo: Deve-se ligar o carregador;

2º passo: Conecta-se a uma bateria descarregada;

3º passo: Observa-se a curva de carregamento por meio de um multímetro conectado ao shunt do carregador e quando houver a modificação da curva, aguarda cerca de uma hora e desconectar a bateria se ajustando a tensão no trimpot(P7).

Com o carregador Dieletro foram realizados vários carregamentos, em vários tipos de bateria. É mostrada abaixo na figura 29 o gráfico de corrente da carga com o carregador Dieletro.



**Figura 29 – Carga Utilizando o Carregador Dieletro**

O Perfil do carregador Dieletro é semelhante ao apresentado pelo KM, mas o carregador possui maior capacidade de fornecimento de corrente. A carga foi de 437Ah, ou seja, com um fator de sobrecarga positivo de 1,3%, a temperatura máxima durante a carga foi de 44°C.

Na descarga da bateria foi observada uma descarga de 378,13Ah, ou seja, 95% da sua capacidade em Ah. Temos na figura 30 a descarga deste elemento.

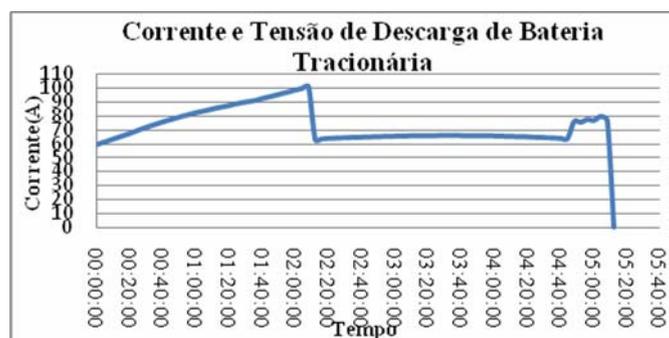


Figura 30 – Curva de descarga da bateria 9HDP410

Como já havia sido exposto, a bateria não conseguia fornecer a capacidade máxima, pois quando fornece cerca de 95% do máximo, há uma queda brusca na tensão da mesma. O carregador dielétrico, mesmo sendo de difícil ajuste, é bastante robusto e com bom fornecimento de energia.

#### 7.2.4 – Testes realizados com o módulo

Verificando a necessidade de se realizar testes com baterias, houve a necessidade de se conseguir módulos de tensão e corrente. Estes módulos são fontes de tensão e corrente controladas, com fácil programação, carregando, descarregando e trabalhando de acordo com a sensibilidade do usuário.

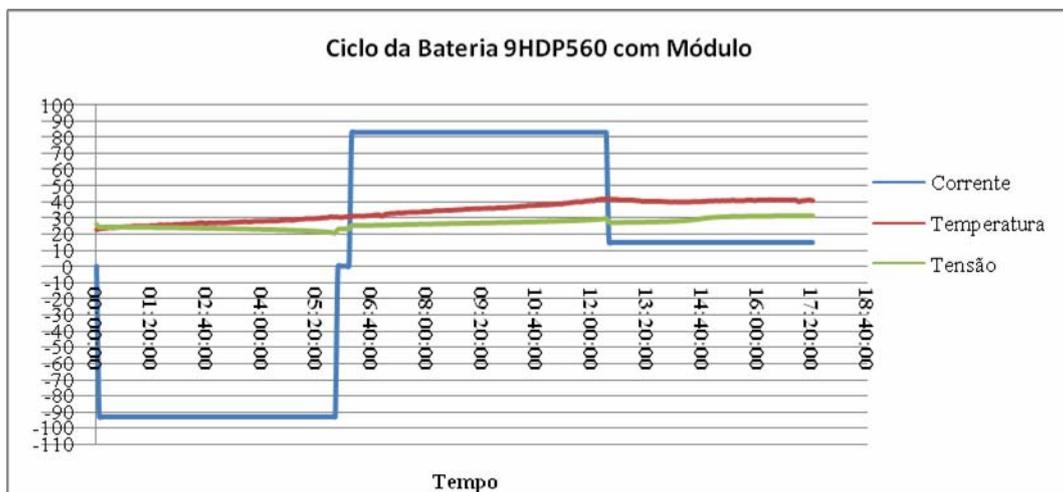
A partir do uso destes módulos, foi notável o avanço nas pesquisas de perfis, já que os perfis utilizados pelos carregadores haviam sido testados e observados. Então veio a necessidade de se testar as mais variadas curvas, sem a preocupação de quando os testes seriam interrompidos. Isto devido ao fato de ter alguma pessoa (geralmente um operador) observando os resultados e como a descarga geralmente ocorre durante um intervalo de tempo em torno de 5h, sendo a recarga com um tempo ainda maior, média de 8h, o que se torna para ter alguém com a atenção devida para tal experimento e a falta de conhecimento e responsabilidade do mesmo pode ser ponto de falha para o resultado final. Na figura 31, temos a imagem dos módulos utilizados, sendo estes fabricados pela A&C automação, com interface realizada através do LABVIEW.



Figura 31 – Módulo de teste

Foi comprovado que dependendo do tipo da forma de onda a reação pode ocorrer de maneira melhor. Ou seja, a quantidade de energia injetada é proporcional a reação reversa desde que esta não seja dissipada no acumulador. O cuidado com a elevação de temperatura é cada vez maior quando se usa o módulo, pois como existe a possibilidade de se injetar uma maior quantidade de energia, pode-se favorecer a avalanche térmica e a evaporação do eletrólito.

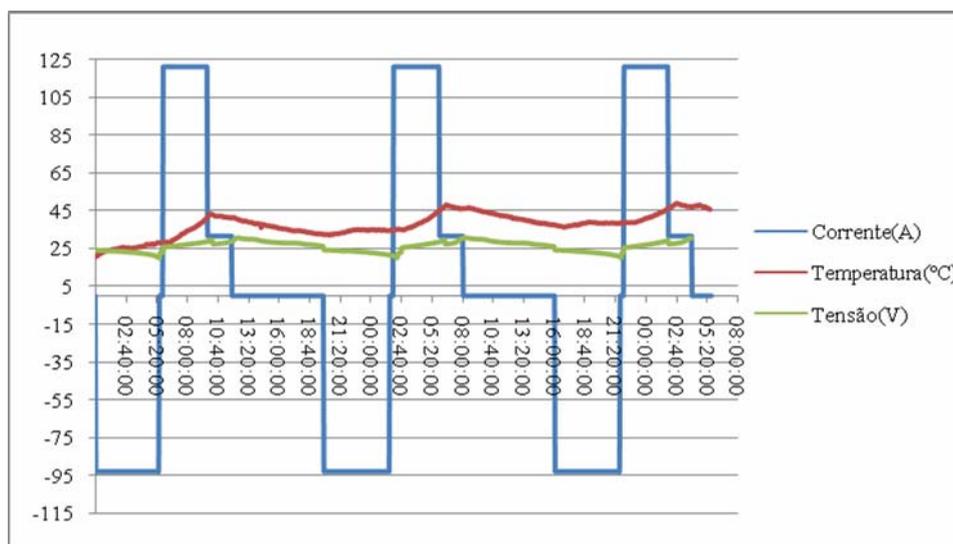
A realização dos experimentos com o módulo ocorreu de várias formas visando por experiências realizadas no passado fazendo com que se abordem algumas outras formas possíveis de serem testadas. Na figura 33, são mostrados três ciclos de carga e descarga da bateria 9HDP560, dando ênfase a corrente e temperatura durante o ciclo.



**Figura 32– Teste de perfil utilizando o módulo na bateria 9HDP560**

Podemos ver na figura 32 que a tensão muda de maneira instantânea a mudança da corrente. Ocorre também à variação na impedância total devido a variação brusca de corrente, mas a parcela da resistência interna da bateria varia de maneira crescente pelo efeito da variação da temperatura e decrescente com a variação de densidade do eletrólito, pois quando a densidade do eletrólito é baixa, aumenta a resistência interna da bateria e se quando carregamos ocorre o aumento no número de íons diminuindo a resistência interna da bateria.

A mesma bateria ainda foi submetida a 3 ciclos, visando observar a ocorrência da mudança de temperatura e se a aceitação de carga estava sendo adequada.



**Figura 33 – Ciclagem de bateria tracionária**

A descrição dos três ciclos de carga e das duas recargas está detalhado na tabela 1, que é mostrada a seguir.

**Tabela 1 – Descrição de ciclagem da bateria(9HDP560)**

Primeira descarga	522,302 Ah	Capacidade <sup>(*)</sup>
Primeira carga	1º Estágio: 464,422 Ah	94%
	2º Estágio: 61,768 Ah	
Segunda descarga	535,298 Ah	96,7%
Segunda carga	1º Estágio: 477,79 Ah	
	2º Estágio: 63,673 Ah	
Terceira descarga	511 Ah	94,7%
Terceira recarga	1º Estágio: 466,42 Ah	
	2º Estágio: 64,013 Ah	

(\*) O fator de sobrecarga utilizado foi em relação à capacidade da bateria de 560Ah em C5.

O que se pode ver na tabela 1, é que quando foi conseguido um segundo estágio mais lento, há aumento na capacidade em Ah para o fornecimento e, portanto mais energia. Esta energia tem que ser dosada, pois pode ocorrer aumento de temperatura e com o incremento no valor da corrente proposadamente causado pelo operador de carregamento.

Pode-se agir de modo a aumentar a tensão de mudança de estágio, entre o primeiro e segundo estágio e manter a corrente constante. Ou ainda, diminuir a corrente de primeiro estágio, ou ainda os dois casos. No caso acima exemplificado a baixa temperatura pode ter favorecido a aceitação de carga do primeiro carregamento.

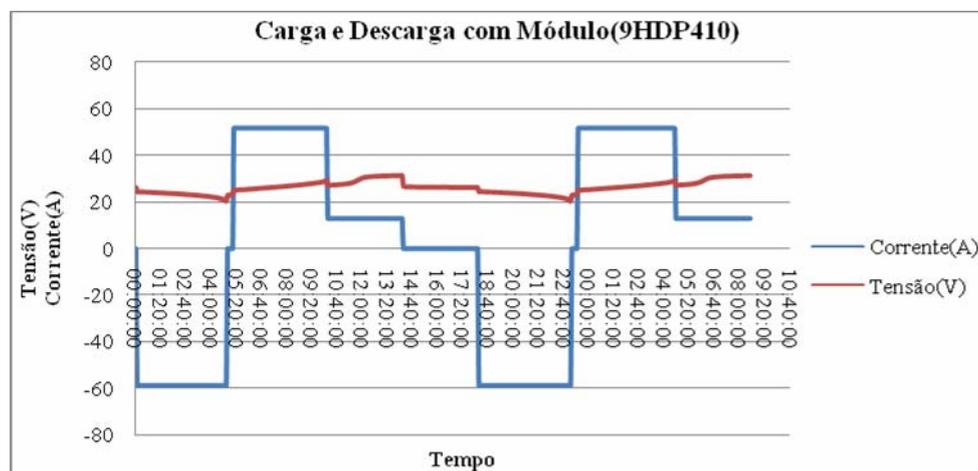


Figura 34 – Carga e descarga com módulo para bateria(9HDP410)

Na figura 34, é mostrado a diminuição da corrente de carregamento de uma bateria. Isto devido a utilização na figura 33 uma corrente alta, 20,5% da corrente nominal de C5 no primeiro estágio e 5,6% da corrente nominal de C5. Já neste último caso, foi utilizada uma corrente de apenas 16% da corrente nominal de C5 no primeiro estágio e 4% da corrente nominal de C5 no segundo estágio. Foram conseguidos outros resultados, mostrados de maneira resumida na tabela 2:

Tabela 2 – Comparativo de carregamento

Nº	Bateria	I <sub>1</sub> ºEstágio	Tempo	I <sub>2</sub> ºEstágio	Tempo	Fator de sobrecarga	Capacidade
1	9HDP410	13,3% I <sub>nominal-C8</sub>	5:00:00	2,8% I <sub>nominal-C8</sub>	3:56:00	-21%	72%
2	9HDP441	16,1% I <sub>nominal-C8</sub>	5:32:00	4% I <sub>nominal-C8</sub>	4:56:00	10,3%	112%
3	9HDP560	19,9% I <sub>nominal-C8</sub>	3:49:00	5,1% I <sub>nominal-C8</sub>	2:00:00	0,7%	87%
4	9HDP441	17,5% I <sub>nominal-C8</sub>	5:12:00	4,5% I <sub>nominal-C8</sub>	3:31:00	7,6%	97%

No comparativo mostrado na tabela 2 é possível verificar que o perfil mais próximo da necessidade exigida pelo mercado é o 4. Pois, a pesar do tempo ser de um pouco mais do que 8 horas, mas foi conseguido com uma boa aceitação por parte da bateria e um baixo fator de sobrecarga 8%. É possível aumentar um pouco mais da

corrente de primeiro estágio, diminuindo um pouco mais o primeiro estágio e aumentando a quantidade de energia injetada nos elementos, e assim, diminuir o tempo do segundo estágio.

Para o teste de número 2, conseguimos um fator de sobrecarga maior, mas a quantidade de injetada no acumulador também foi muito maior. Foi verificado um aumento excessivo de temperatura, chegando a 60°C.

Para o experimento de número 1, foi utilizada uma corrente muito baixa, mesmo assim o tempo de carregamento no primeiro estágio foi de 5 horas, o que era esperado para este caso seria um tempo maior para a mudança de primeiro para segundo estágio, ou seja, na tensão de 2,45 V por elemento. Já o segundo estágio ocorreu em um tempo superior às três horas, mas mesmo assim, com baixa injeção de energia.

A quantidade de testes a serem realizados com o módulo é bastante elevado, tendo em vista que podia ter ocorrido mais tentativas caso os equipamentos não apresentassem defeitos. Existe a simulação de carga rápida que é algo atual e deve ser o próximo passo do projeto.

## 8.0- Conclusão

Para o bom entendimento do problema foi necessário realizar descargas, em diferentes intervalos de tempo, procurando simular a agressividade no uso de algumas destas baterias por consumidores e máquinas com maior necessidade de corrente em pouco tempo. A observação da descarga é um dos fatores fundamentais para a escolha do tipo de acumulador, seria interessante conhecer o consumidor final e indicar o melhor acumulador por razões de custo. Com esses conhecimentos, pode-se definir um perfil que melhor atenda ao carregamento do acumulador, com o ajuste correto dos parâmetros reduzindo a ineficiência do carregamento.

Foi verificado que os carregadores existentes no mercado têm estrutura interna semelhante e que o investimento na melhoria destes produtos pode ocorrer com o conhecimento e desenvolvimento de perfis que melhorem a aceitação de carga e não dissipem tanta energia. Com a melhoria nos perfis pode ocorrer a necessidade de se utilizar novos dispositivos como IGBT's, já utilizados em carregadores utilizados para carregamento rápido.

Na comparação dos três tipos de carregadores, pode-se dizer que quanto à estrutura física, todos utilizam os mesmos tipos de componentes, mas a facilidade no ajuste de seus perfis não é tão visível entre eles. O carregador Dieletro, possui perfil tradicional, mas o seu ajuste requer que o usuário entre em contato direto com o circuito podendo inclusive sofrer algum tipo de acidente. Já os outros dois carregadores, o KM e o JLW têm uma facilidade maior para esse ajuste, sendo que o primeiro com o perfil semelhante ao Dieletro, necessita de um conversor específico da KM. O carregador JLW, possui um espaço para um conector de telefone, que pode ser ligado a um cabo simples deste tipo, com ligação RS232 para o computador. A JLW ainda fornece o software de acesso a mudança de parâmetros, verificando uma evolução na sua curva de três estados. Esta curva tenta aproveitar o estado de baixa resistência da bateria, portanto não pode se elevar muito a correte do seu estado intermediário, pois isto pode ocasionar um aumento excessivo da temperatura.

Os testes realizados com o módulo foram importantes servindo para justificar hipóteses já identificadas. A curva de carregamento que apresentou o melhor resultado de aceitação foi aquela que utilizou 17,5% da corrente nominal(em 8 horas) de

carregamento no primeiro estágio e 4,5% da corrente nominal(em 8 horas) no segundo estágio, conseguindo um fator de sobrecarga de 7,6% e obtendo uma capacidade de 97% em um pouco mais de 8 horas de carregamento. Este teste foi realizado com o módulo e a bateria utilizada foi a 9HDP441(dados retirados da tabela 2).

O conhecimento do assunto, carregamento de acumuladores chumbo ácidos tracionários e de seus perfis, faz com que exista a possibilidade de realização de novos testes, pois o aprofundamento de questões podem ser realizadas. A indicação de um perfil adequado a maioria dos consumidores já pode ser justificada e a procura de melhores perfis é algo que já realidade no mundo. Assim, este trabalho procurou mostrar o tema bastante carente de estudo no Brasil e com grande interesse do mercado.

## **9.0- Bibliografia**

Andrade, Juliano de; *Estudo do Mecanismo da Carga Pulsada em Eletrodos Planos de Pb e em Eletrodos Porosos de Baterias Chumbo Ácido*, 2005;

Zvei:(Instituto Alemão), *Charger Assignments for traction batteries in vented(PZs) and in valve regulated(PZv)*, 2004;

Smith, G., *Storage Batteries – Including Operation, Charging, Maintenance and Repair*, 3ª Edição, Pitman, 1980;

Bode, H., *Lead Acid Batteries*, John Wiley & Sons, 1977;

Vinal, G. W., *Storage Batteries – A General Treatise on the Physics and Chemistry of Secondary Batteries and their Engineering Applications*, 4ª Edição, John Wiley & Sons, 1955;

Curtis Instruments, *Battery Book One – Lead Acid Traction Batteries*, Curtis Instruments, 1981;

Bellis, Mary; *Battery History*, Disponível em <http://inventors.about.com/library/inventors/blbattery.htm> (acesso em 02/12/07);

Bibliografia de Luigi Galvani, Disponível em <http://www.saladefisica.cjb.net> (acesso em 02/12/07).