

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

ANDRÉ LUIS BIANCHI

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR DE CARGA E DESCARGA PARA
ACUMULADORES ELETROQUÍMICOS DE ENERGIA**

Canoas

2004

ANDRÉ LUIS BIANCHI

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR DE CARGA E DESCARGA PARA
ACUMULADORES ELETROQUÍMICOS DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para a obtenção do grau de
Engenheiro Eletricista; Universidade Luterana
do Brasil; Curso de Engenharia de Elétrica.

Canoas

2004

ANDRÉ LUIS BIANCHI

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR DE CARGA E DESCARGA
PARA ACUMULADORES ELETROQUÍMICOS DE ENERGIA**

BANCA EXAMINADORA

Dr. Alexandre Balbinot

Msc. Augusto Alexandre Durganti de Mattos

Dr. Valner João Brusamarello

Orientador: Dr. João Carlos Verneti dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em: 13 / 12 / 2004.

A minha família.

Agradeço, antes de mais nada, aos meus pais Milton e Cleuza, pelo empenho, apoio e compreensão. Muito obrigado.

Agradeço as minhas irmãs, pela camaradagem e compreensão.

Agradeço a Carol, pelo amor e paciência.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Verneti, pela ajuda e ensinamentos.

Agradeço aos professores Gilnei, Nelson, Valner, Bernardo, Augusto, Dalton, Cocian e todos os outros que me auxiliaram neste longo caminho.

RESUMO

Devido à necessidade eminente da utilização de novas fontes de energia, as baterias e, por conseguinte, controladores de carga e descarga, vêm ganhando destaque em função de sua aplicação em sistemas isolados. Atualmente, os controladores de carga e descarga de baterias tratam os bancos de acumuladores como um bloco único, não levando em conta as heterogeneidades das baterias que compõem o banco. Neste sentido, o presente projeto implementa um novo conceito quanto ao controle de carga de baterias, ou seja, cada unidade do banco é controlada separadamente, além da utilização de mais de uma fonte supridora de energia. O equipamento desenvolvido controla seis baterias de capacidade máxima de 115Ah/unidade e tensão de 12V. Um microcontrolador faz o controle das funções de avaliação das fontes, avaliação e controle de carga e descarga das baterias do banco.

Palavras-chave: Bateria; controlador de carga; fotovoltaica.

ABSTRACT

Since the eminent need of new power plants, the batteries and therefore, the use of charge controllers play an important role in applications of isolated systems. Usually, charge controllers of batteries deal with banks accumulators as an unique block and they do not take in account the heterogeneities of the batteries that compose the bank. In this work a battery charge controller was developed and each unit of the bank is controlled individually also more than a power supply source are applied. The equipment controls six batteries with maximum capacity of 115Ah per unit and 12V voltage. A microcontroller makes the control of the functions of evaluation of the sources, evaluation and control of the charge/discharge of the batteries of the bank.

Key-words: batteries; load controllers; photovoltaic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa	12
1.2. Objetivo.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Energia	16
2.2. Sistema de Geração de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis	18
2.3. Baterias.....	21
2.3.1. Sobrecarga.....	23
2.3.2. Descarga profunda.....	24
2.3.3. Estratificação.....	26
2.4. Controlador de Carga de Baterias	28
3. CONTROLADOR DE CARGA E DESCARGA DE UM BANCO DE BATERIAS COM CONTROLE INDIVIDUAL SOBRE CADA UNIDADE DO BANCO	30
3.1. Descrição do Funcionamento	32
3.2. Software de Controle	35
3.3. Hardware Implementado.....	40
3.3.1. Controle das Fontes Supridoras de Energia	41

3.3.2. Controle Geral – Microcontrolador	43
3.3.3. Atuador: carga e descarga	48
3.4. Montagem e Testes	52
3.4.1. Montagem	52
3.4.2. Testes	55
4. CONCLUSÃO.....	66
5. BIBLIOGRAFIA	69
ANEXOS	72
Anexo 1 – Software principal	73
Anexo 2 – Sub-Rotina Monitora Fonte.....	75
Anexo 3 – Sub-rotina Monitora Bateria.....	76
Anexo 4 – Sub-rotina Carrega Bateria.....	77
Anexo 5 – Sub-rotina Re-conecta Bateria.....	78
Anexo 6 – Demais Sub-rotinas utilizadas no programa	79
Anexo 7 – Esquema Elétrico do Controlador de Carga e Descarga de Baterias ...	82
Anexo 8 – Gráficos de tensão nas baterias no período de testes.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Caracterização geral da conexão de turbinas eólicas à rede convencional.	
.....	19
Figura 2 – Esquema de um sistema autônomo de geração de energia a partir painéis fotovoltaicos.	20
Figura 3 – Curvas de tensão (U) e corrente (I) em função do tempo características de carga de baterias de chumbo ácido.	24
Figura 4 – Número de ciclos de carga de baterias estacionárias em função da profundidade de descarga.....	25
Figura 5 – Curvas de carga de uma bateria de 115Ah (DF2000) em função da corrente aplicada.....	27
Figura 6 – Controlador de carga com PWM.....	29
Figura 7 – Regulador de carga para baterias tipo paralelo.	29
Figura 8 – Esquema simplificado do controlador aplicado em um sistema fotovoltaico.	32
Figura 9 – Curva característica de tensão na operação de carga e descarga da bateria.	33
Figura 10 – Algoritmo do Programa Principal de controle do banco de baterias.....	37

Figura 11 – Algoritmos das sub-rotinas Monitora Fontes (a) e Monitora Bateria (b).	38
Figura 12 – Algoritmos das sub-rotinas Carrega Bateria (a) e Re-conecta Bateria (b).	40
Figura 13 – Controle das fontes de energia e exemplo de circuito retificador.	42
Figura 14 – Microcontrolador PIC 16F877, diagrama de pinos.	44
Figura 15 – Componentes acoplados as portas do microprocessador.	44
Figura 16 – divisor de tensão para entrada do sinal nos conversores A/D.	46
Figura 17 – LCD utilizado.	49
Figura 18 – Esquemático do atuador de carga e descarga das baterias.	51
Figura 19 – Montagem do protótipo do controlador de carga de bateria.	52
Figura 20 – Montagem no protboard do LCD e Led de monitoramento das baterias.	53
Figura 21 – Protótipo do controlador de carga e descarga de baterias.	54
Figura 22 – Bancada de testes.	56
Figura 23 – Teste do controlador com cargas consumidoras e baterias.	57
Figura 24 – Tensão aplicada à carga consumidora.	60
Figura 25 – Curva de carga das baterias do banco num intervalo de 30 min.	61
Figura 26 – Curva de carga da bateria 1.	62
Figura 27 – Curva de carga da bateria 2.	63
Figura 28 – Curva de carga da bateria 3.	63
Figura 29 – Curva de carga da bateria 4.	64
Figura 30 – Curva de potência nos acumuladores.	65

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, são ofertados no mercado controladores de carga e descarga de baterias, na sua maioria produtos importados, que apenas controlam a tensão do banco de baterias, ou seja, tratam o conjunto de baterias que formam o banco como um todo ou um bloco único. Apesar das baterias destes bancos serem de um determinado valor comercial, isto não quer dizer que todas tenham exatamente as mesmas características, por não serem clones perfeitos. Estas diferenças são condicionadas através de tolerância, fazendo com que comercialmente todas sejam consideradas iguais.

Neste sentido, propõe-se no presente projeto o desenvolvimento de um controlador que monitore e atue não só no banco total como também individualmente em cada unidade do conjunto.

1.1. Justificativa

A utilização de bancos de baterias tem se tornado bastante comum, seja para sistemas de fornecimento ininterrupto de energia, no-breaks, ou em sistemas de geração de energia a partir de fontes renováveis, especialmente, solar e eólica.

Devido ao eminente risco do “apagão”, que volta a assombrar o país com a possibilidade de ocorrer em 2007, e à obrigatoriedade da universalização por parte das concessionárias de energia, ou seja, o fornecimento de energia a todos que desejarem até 31/12/2004 (ANEEL, 2004) e, sabendo que para distâncias maiores que 6km da rede convencional o fornecimento a um consumidor se torna economicamente deficitário, a melhor opção é a utilização de uma fonte local, na maioria dos casos fonte renovável, eólica ou solar. Para utilização destas últimas de forma autônoma ou isolada, é necessário armazenar a energia em baterias a fim de suprir a demanda em períodos sem geração, especialmente à noite. Assim, a utilização de acumuladores de energia assume crescente importância nestas aplicações.

Apesar da utilização de baterias ser de indiscutível importância no contexto mundial atual, existem intrínsecos a elas alguns problemas de ordem ambiental. A bateria, quando esgotada a sua vida útil, não apenas na primeira vez em que for descartada, pois poderá ser recondicionada por mais algumas vezes, mas quando for realmente considerada inutilizada, será um lixo altamente agressivo ao meio-ambiente devido aos elementos que compõem sua estrutura. Como os acumuladores ou baterias, de grande capacidade disponíveis no mercado nacional, com custos razoáveis, são de chumbo-ácido, no projeto optou-se por trabalhar apenas com este tipo de bateria. Assim, qualquer referência a baterias neste trabalho diz respeito às de chumbo-ácido ($\text{Pb-H}_2\text{SO}_4$) estacionárias.

De modo geral, as baterias de chumbo-ácido apresentam deficiências técnicas cuja consequência é uma redução significativa da vida útil prevista, repercutindo na elevação dos custos de reposição, além de aumentar o problema ambiental comentado anteriormente.

Existe muita pesquisa e desenvolvimento em torno das baterias, buscando produzir acumuladores mais leves, baratos e capazes de suportar milhares de recargas, porém os avanços são lentos. Só a indústria automobilística investiu mais de 150 milhões de dólares na pesquisa de carros elétricos nos anos 90, entretanto ainda aguardam maiores avanços na tecnologia de baterias (HINRICHS e KLEINBACH. 2003).

Obviamente, o problema quanto ao descarte final das baterias, não se pode evitar, pelo menos atualmente. Porém, a implantação de sistemas mais eficientes, no que diz respeito à carga e descarga das baterias, é uma saída para aumentar o tempo de vida dos acumuladores e atenuar o problema ambiental. Outro fato, é o problema econômico que o descarte prematuro dos acumuladores eletroquímicos de energia elétrica acarreta, pois o Brasil não é produtor de Chumbo primário, dependendo 100 % de importações para suprir sua demanda (CEMPRE, 2004).

Outro ponto importante é que uma unidade de controle de carga e descarga do banco de acumuladores que monitore e atue individualmente sobre cada bateria do banco, procurando mantê-las permanentemente com cargas equalizadas, contornará o surgimento de possíveis heterogeneidades entre as baterias que compõem o banco. Tendo estas considerações como justificativas, o presente projeto examina e implementa um controle de carga de bancos de baterias de forma individual, conforme descrito a seguir.

1.2. Objetivo

Implementar um controlador de carga e descarga microprocessado, que faça o controle de carga e descarga individual do banco de baterias, para dois tipos de fonte de alimentação em corrente contínua com tensão de 24V, sendo a tensão dos acumuladores de 12V e capacidade indicada de no máximo 115Ah.

Espera-se com a realização deste projeto que a utilização do controlador desenvolvido possibilite o prolongamento da vida útil de acumuladores e, por conseguinte, proporcione benefício tanto no âmbito econômico como ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia

Energia é a capacidade de realização de trabalho. Ela pode se apresentar de diversas formas, seja mecânica, química ou elétrica. Não é destruída ou consumida, apenas transformada em outro tipo, como por exemplo, a energia elétrica se transforma em mecânica em um motor elétrico. Há muito tempo o homem deixou de utilizar a sua própria energia, ou de animais, para trabalhos repetitivos ou de grande esforço físico e passou a utilizar a energia mecanizada para suprir suas necessidades e, hoje, é quase que totalmente dependente dela (DOEBBER, 1999).

Devido à eminente crise energética em função da escassez de petróleo que se prenuncia, o homem vem procurando intensamente suprir a falta dele com outras tecnologias e formas de energia proveniente de fontes renováveis. Tendo em vista esta situação, as fontes de energia solar e eólica vêm ganhando enorme importância no contexto mundial por serem formas de geração que não causam grande impacto no meio ambiente e são renováveis.

A energia solar é uma energia limpa, não poluente, confiável, racional, que não requer manutenção e não consome nenhum combustível durante sua utilização. Por essas razões, pode ser utilizada em inúmeras aplicações. A conversão de energia solar em energia elétrica pode ser feita através de células fotovoltaicas (células de material semicondutor que fazem conversão direta de energia luminosa em energia elétrica). No entanto, a produção de energia elétrica a partir da energia solar é cara e o Brasil ainda não detém tecnologia própria para fabricação das placas fotovoltaicas, ainda hoje importadas, e também não há um consumo suficiente para que o preço delas reduza em função da escala (DOEBBER, 1999).

Proveniente dos ventos a geração eólica, vem sendo apontada como saída mais imediata para sanar os problemas da falta de energia elétrica e, no caso do Brasil, para atenuar as deficiências do sistema elétrico nacional. Esta forma de energia existe em todo lugar, porém com potencial de aproveitamento variado, muitas vezes devido à característica aleatória da fonte de energia. O seu aproveitamento é ambientalmente correto, pois tem algumas vantagens que não se pode deixar de observar, como não emitem gases ou particulados, não há consumo de combustível, o processo de instalação é relativamente simples e não utiliza materiais radioativos (EWEA, 1991).

Ainda é grande o número de pessoas que desconhecem as vantagens do emprego das fontes renováveis, notadamente aquelas que habitam as áreas rurais do país. Isso se deve a uma insuficiência de informações dirigidas às grandes massas e a ausência de uma campanha de esclarecimentos dirigidos à comunidade rural, onde os recursos energéticos alternativos são mais abundantes (DOEBBER, 1999). Também é nestes locais onde se encontram as propriedades que ainda não são atendidas pelas concessionárias de energia. Conforme SEMC (2004), existem

no Brasil 2484,7 mil propriedades sem energia elétrica, sendo 75% destas localizadas na zona rural. No Rio Grande do Sul, 101.396 domicílios não são atendidos pela rede elétrica, o percentual destas habitações localizadas na zona rural é o mesmo do país, 75%.

2.2. Sistema de Geração de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis

Os sistemas de geração de energia a partir de fontes renováveis são implantados basicamente de duas formas: interligados ao sistema de fornecimento convencional de energia, ou seja, a rede da concessionária, ou sistemas isolados autônomos que visam um aproveitamento da fonte local de maior abundância.

Os sistemas interligados diretamente às redes das concessionárias utilizam, normalmente, a fonte eólica ou hídrica como supridoras e o parâmetro para instalação é a caracterização do recurso e a rede elétrica de conexão (ROSAS e ESTANQUEIRO, 2003). Como exemplo, os equipamentos utilizados para que a energia gerada a partir da fonte eólica seja compatível com a da rede são:

- Aerogeradores;
- Transformadores com regulação de carga;
- Bancos de Capacitores reguláveis;
- Condutores de reforço na rede elétrica;
- Sistema de controle e proteção.

Este tipo de sistema serve como uma fonte adicional de energia a um sistema elétrico já existente, ou seja, uma usina acrescida ao sistema interligado. A figura 1

apresenta o esquema de um sistema de geração a partir de fonte eólica interligado à rede elétrica convencional.

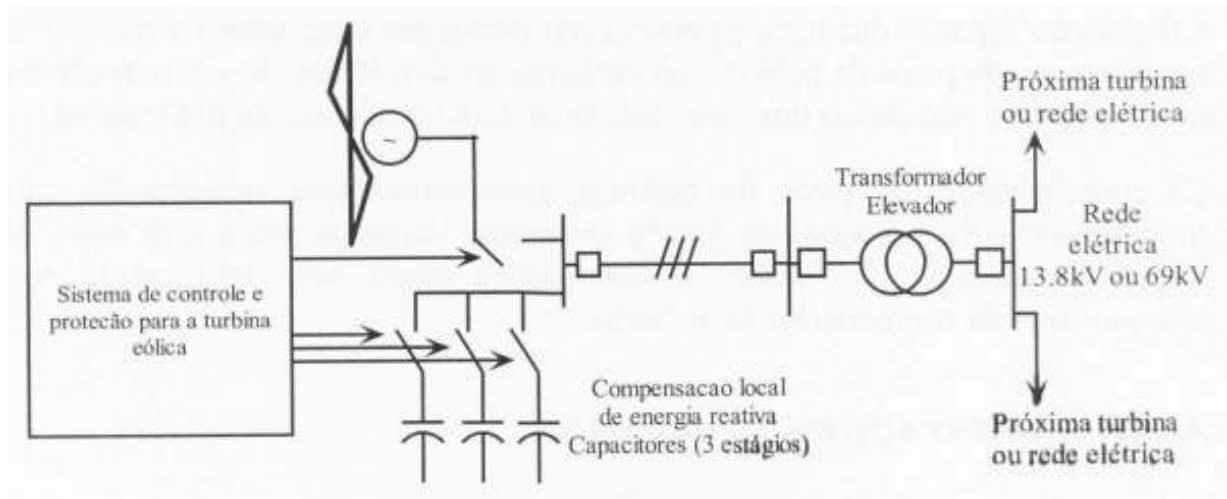


Figura 1 – Caracterização geral da conexão de turbinas eólicas à rede convencional.

Fonte: Rosas e Estanqueiro, 2003.

Já os sistemas isolados têm o objetivo de suprir necessidades pontuais, normalmente em locais distantes da rede convencional, onde é inviável financeiramente a concessionária levar energia elétrica através de uma rede convencional. Em geral, são sistemas de pequeno porte destinados ao fornecimento de um pequeno grupo ou de apenas um consumidor. A energia elétrica gerada pode ser proveniente de fonte eólica, solar, hídrica ou biomassa. Atualmente, as três primeiras são as mais comumente aplicadas.

Normalmente, são compostos de equipamentos de pequena potência e para seu funcionamento há necessidade do consumidor ter um certo cuidado com o sistema que tem intrínseco ao fato de ser isolado uma certa fragilidade.

As fontes eólica e solar estão cada vez mais difundidas para este tipo de aplicação, pois os sistemas são relativamente fáceis de serem instalados e não acarretam grandes impactos ou mudanças no ambiente.

Os equipamentos para a configuração de um sistema isolado são em alguns casos diferenciados em relação à fonte supridora, eólica ou solar. A seguir, estão listados os equipamentos básicos para um sistema isolado utilizando:

- Gerador (Eólico ou Solar);
- Banco de baterias;
- Controlador de carga para baterias¹;
- Inversor de tensão cc para ac.

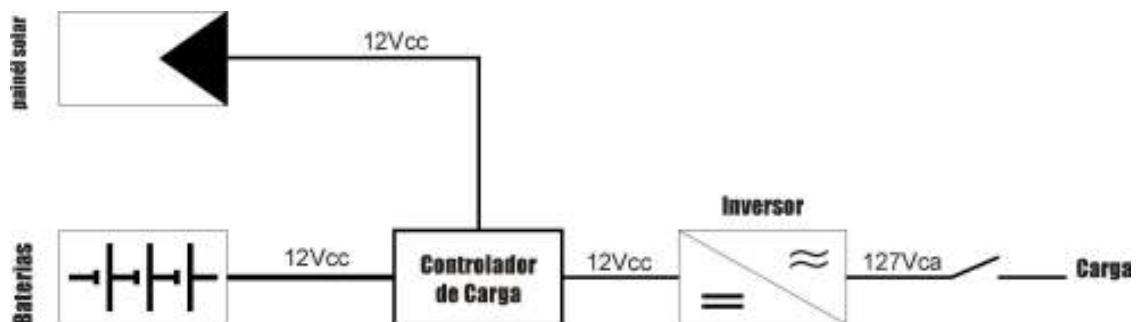


Figura 2 – Esquema de um sistema autônomo de geração de energia a partir painéis fotovoltaicos.

¹ A aplicação de um controlador de carga para as baterias para alguns geradores eólicos pode ser dispensada.

2.3. Baterias

Inventadas por Alessandro Volta em 1800, as baterias ou acumuladores eletroquímicos tem seu uso bastante difundido nos dias de hoje. Sendo dispositivo básico para funcionamento de equipamentos eletroeletrônicos e automóveis, faz parte da vida do homem e tem uma importância relevante no avanço tecnológico da humanidade.

Atualmente, os tipos de baterias disponíveis comercialmente são de chumbo - ácido ($\text{Pb-H}_2\text{SO}_4$), níquel - cádmio (Ni-Cd), níquel metal H (Ni-MH), alcalina (Zn-MnO_2), lítio (Li-MnO_2 e Li-SO_2), entre outros. Porém, as mais encontradas no mercado nacional são dos três primeiros tipos, ou seja, baterias recarregáveis empregadas em sistemas nos quais se faz uso de Controladores de Carga. As alcalinas e de lítio são utilizadas em aplicações que requerem longo tempo de operação com baixa corrente, por exemplo: brinquedos, controles remoto, etc. O presente trabalho utiliza especificamente as baterias de chumbo-ácido.

Idealizadas por Siemens e Sinsteden em 1860, as baterias de chumbo-ácido ganharam, dez anos depois através de Gaston Planté, a forma construtiva e características semelhantes às de hoje. Porém, só em 1965 Shepherd publicou a primeira equação que caracterizou a tensão em função do tempo e da corrente de descarga (BOTTURA e BARRETO, 1989).

Entre vários modelamentos já existentes, não encontramos um único modelo capaz de descrever todos os fenômenos da bateria para qualquer condição (BOTTURA e BARRETO, 1989).

Segundo a ABNT, baterias de chumbo ácido são conjuntos de acumuladores elétricos recarregáveis, interligados convenientemente, construídos e utilizados para receber, armazenar e liberar energia elétrica por meio de reações químicas envolvendo chumbo e ácido sulfúrico (CEMPRE, 2004).

Apesar do uso cada vez mais amplo dos acumuladores e um considerável investimento por parte da indústria para se obter um rendimento maior das baterias, elas ainda apresentam deficiências construtivas. Estas deficiências originaram na Comunidade Européia, em 1992, um amplo exame de sistemas com baterias empregados em carros elétricos, sistemas de fornecimento ininterrupto de energia – no-breaks e sistemas fotovoltaicos autônomos. Os resultados da análise de diversos sistemas indicaram diferenças no estado de carga de células ou baterias individuais do banco de acumuladores como a principal causa do descarte prematuro das baterias.

As baterias, assim como os geradores fotovoltaicos, trabalham com tensão contínua. Entretanto, os dois componentes não devem ser conectados diretamente, pois as baterias apresentam problemas operacionais (além do problema da equalização de carga das baterias individuais), contra os quais precisam ser protegidas, sobretudo contra dois estados críticos de operação: sobrecarga e descarga profunda. Adicionalmente, dependendo da frequência de uso das baterias, pode ocorrer um fenômeno conhecido como estratificação (ou sulfatação), o qual

provoca também a redução da capacidade das mesmas. A seguir, as causas para estes problemas e as possíveis soluções a serem examinadas no presente projeto são brevemente descritas.

2.3.1. Sobrecarga

Se a tensão da bateria, durante a fase de carga, ultrapassar um determinado nível de tensão (chamado tensão final de carga, U_{FC}), tem início um processo de intensa formação de gás, em virtude da dissociação da água contida no eletrólito em oxigênio e hidrogênio. Este processo ocasiona dois efeitos: de um lado, o oxigênio no eletrodo positivo pode provocar a corrosão da grade; de outro lado, se a sobrecarga permanece por tempo prolongado, ocorre uma perda de água do eletrólito, podendo escapar também neste processo partículas das placas porosas dos eletrodos. Em consequência, a quantidade de eletrólito (a massa ativa do acumulador) é reduzida, conduzindo a uma perda de capacidade da bateria. Por isso, em muitas baterias é necessário repor água de tempos em tempos.

Portanto, a tensão na fase de carga da bateria não deveria, em princípio, ultrapassar a chamada tensão final de carga. Contudo, o processo de carga não deveria ser totalmente interrompido, já que, no momento em que a tensão alcança o nível U_{FC} , a bateria não está ainda totalmente carregada. Há, então, a necessidade de fazer circular uma pequena corrente elétrica, sem deixar que a tensão ultrapasse o nível U_{FC} , até a bateria alcançar a plena carga. Este processo é chamado de método de carga IU, onde a corrente não é controlada apenas limitada a um nível máximo e existe controle somente para manter a tensão de flutuação, assim o acumulador trabalha de forma não prejudicial e pode ser carregado mais

rapidamente. As curvas de corrente (I) e tensão (U) na bateria, deste método de carga são apresentadas na figura 3.

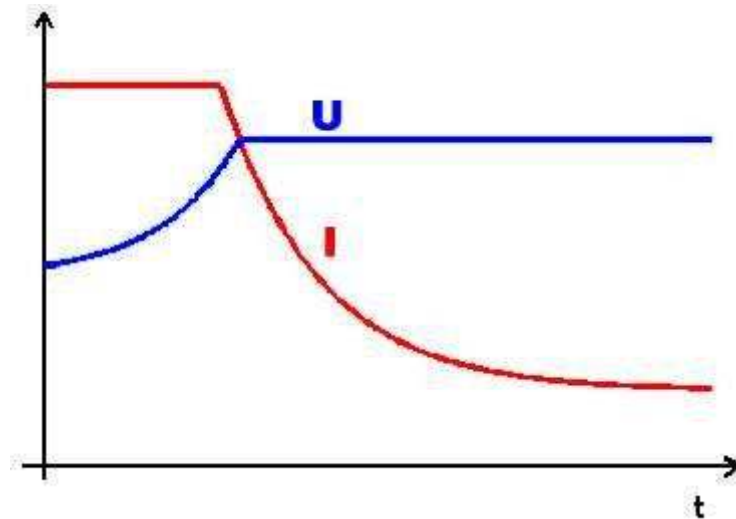


Figura 3 – Curvas de tensão (U) e corrente (I) em função do tempo características de carga de baterias de chumbo ácido.

Fonte: Palz, 1995.

A tensão final de carga da bateria depende da temperatura e do tipo de fabricação da bateria. Em muitos casos, contudo, é suficiente considerar um valor em torno de 2,3 volts por célula da bateria (nível de tensão final de carga U_{FC}).

2.3.2. Descarga profunda

Se a bateria é descarregada, ocorre a formação de sulfato de chumbo tanto na placa positiva (composta de dióxido de chumbo) como na placa negativa (composta de chumbo). O sulfato de chumbo ocupa um volume 1,5 vez maior do que o volume ocupado pelo dióxido de chumbo e três vezes maior do que o volume de chumbo na bateria. Isto significa que as placas tornam-se maiores e, na realidade, tanto mais quanto mais profunda for a descarga. Com o tempo, a estrutura das placas é destruída em virtude desta expansão. O número de ciclos possíveis, isto é,

o número de cargas e descargas, é fortemente reduzido com a ocorrência de descargas profundas. Se a bateria é descarregada apenas parcialmente, o número de ciclos e a quantidade total de energia que pode ser armazenada durante a vida útil da bateria aumentam (figura 4).



Figura 4 – Número de ciclos de carga de baterias estacionárias em função da profundidade de descarga.

Fonte: Delphi, 2002.

Por esta razão, a maioria dos fabricantes de baterias aconselham a descarga das baterias somente até um determinado percentual da sua capacidade, no caso do fabricante Moura, 25% (MOURA, 2004). De acordo com Bottura e Barreto (1989), o fim da vida útil de uma bateria se dá quando esta não consegue atingir 80% de sua capacidade de carga nominal, ou seja, a tensão medida nos pólos do acumulador em repouso não ultrapassa 10,5V.

A profundidade de descarga de uma bateria depende da sua tensão interna. Porém, somente a tensão nos terminais da bateria pode ser medida. Esta última

será igual à tensão interna, somente se o acumulador permanecer em repouso (sem ser carregado ou descarregado) durante algumas horas. Sob operação de carga ou descarga, a tensão nos terminais e a tensão interna são diferentes e esta diferença é representada através da queda de tensão na resistência interna da bateria. Além disso, diferentes concentrações de ácido dentro e fora das placas distorcem o valor da tensão interna. Como estas distorções dependem de diversos fatores (como por exemplo, a corrente de descarga, o tipo de construção, a idade e a capacidade da bateria), não é feita usualmente uma investigação mais apurada da tensão interna. Na prática, a tensão final de descarga, a partir da qual o consumidor deveria ser desconectado da bateria, situa-se em torno de 11 Volts, para um sistema de 12 Volts (DELPHI, 2002).

2.3.3. Estratificação

Um período de tempo prolongado sem a formação de gás também pode prejudicar a performance da bateria, pois se os ácidos da mesma permanecem em repouso, ocorre o fenômeno chamado estratificação: os ácidos mais densos depositam-se na região inferior das células e os de menor densidade, na parte superior das mesmas. Em virtude das diferentes densidades surgem também diferentes tensões nas partes inferiores e superiores das células. Esta diferença de potencial provoca o surgimento de correntes de compensação no interior das placas e conduz a sulfatação nas partes inferiores das mesmas. A consequência é uma perda de capacidade da bateria.

A formação controlada de gás durante o carregamento da bateria, devido a aplicação de uma tensão ligeiramente superior a de flutuação, proporciona o

revolvimento do eletrólito contribuindo para reduzir a sulfatação. Esta regulação traz mais uma vantagem: a energia elétrica adicional, envolvida no processo de formação de gás, é utilizada em parte na dissociação da água, causando o carregamento mais rápido da bateria.

Entretanto, o carregamento acelerado da bateria, ou seja, o carregamento com corrente muito elevada pode ocasionar uma falsa estimativa do estado de carga, que pode estar bem abaixo da capacidade nominal da bateria. Em outras palavras, o carregamento deve ser lento com corrente de 5 a 10% da capacidade nominal da bateria para que se obtenha a carga desejada, como mostra a figura 5.

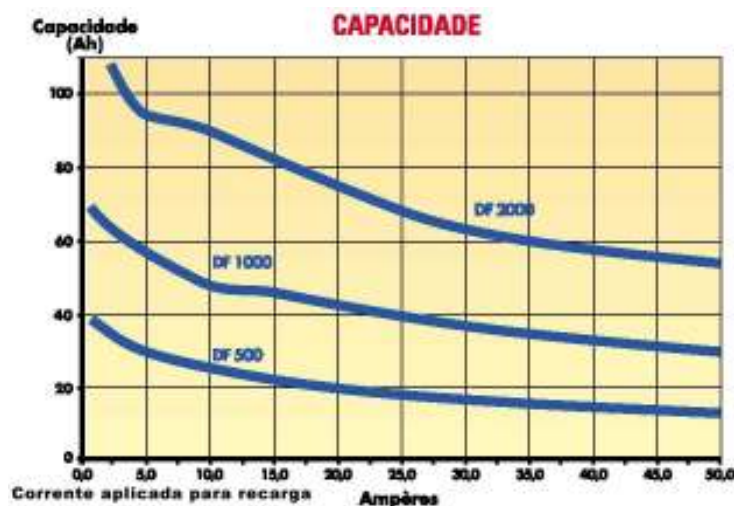


Figura 5 – Curvas de carga de uma bateria de 115Ah (DF2000) em função da corrente aplicada.

Fonte: Delphi, 2002.

2.4. Controlador de Carga de Baterias

Controladores de carga são dispositivos responsáveis por gerenciar o fluxo de energia que entra e sai do banco de baterias.

Em sistemas que utilizam baterias, os controladores são de suma importância pois, sem eles a vida útil dos acumuladores seria drasticamente reduzida. Conforme anteriormente exposto, o tempo de vida útil de baterias reduz caso não sejam minimizados os problemas operacionais de sobrecarga, profundidade de descarga e estratificação, os quais são resolvidos com a utilização de controladores de carga.

Os controladores são acoplados entre o gerador e as baterias, controlam a tensão do banco evitando a sobrecarga e descarga profunda. Atualmente, os equipamentos produzidos fazem a carga através de chaveamento liga/desliga e em estado de flutuação. Os controladores mais simples utilizam também chaveamento liga/desliga e os mais sofisticados utilizam um PWM (exemplo: figura 6) para manter a tensão de flutuação que deve ser três volts acima da tensão nominal da bateria. O uso do PWM ainda não teve sua total eficácia comprovada mas, estima-se que possibilite um aumento considerável do tempo de vida útil (MORNINGSTAR, 2004). Segundo a fabricante de baterias Moura (2004), atualmente, para aplicações como a que se propõe o tempo de vida útil das baterias em torno de quatro anos.

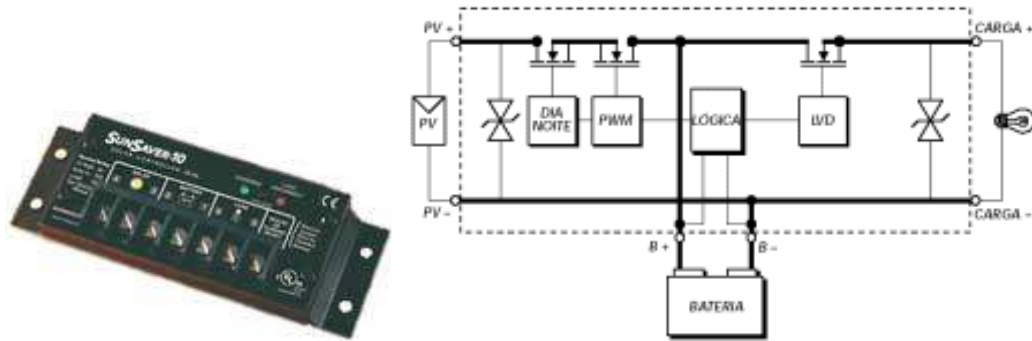


Figura 6 – Controlador de carga com PWM.

Fonte: Morningstar, 2004.

Basicamente existem dois tipos de controladores, série e paralelo. Em geral, encontra-se no mercado os do tipo série, os quais servem para qualquer tipo de gerador e sistema. Um exemplo deste tipo de controlador é apresentado na figura 6.

Os controladores do tipo paralelo são mais encontrados em sistemas de geração com fonte solar, ou seja, com painéis fotovoltaicos. O motivo da restrição quanto ao seu uso é o fato de a desconexão das baterias dos painéis ser feita com a colocação do gerador em curto-circuito, uma vez que os painéis solares são os únicos geradores de energia que podem ficar nesta condição sem que haja dano. Neste caso específico, o regulador paralelo (figura 7) apresenta a vantagem de que a dissipação de potência na chave ocorre quando a energia é descartada.

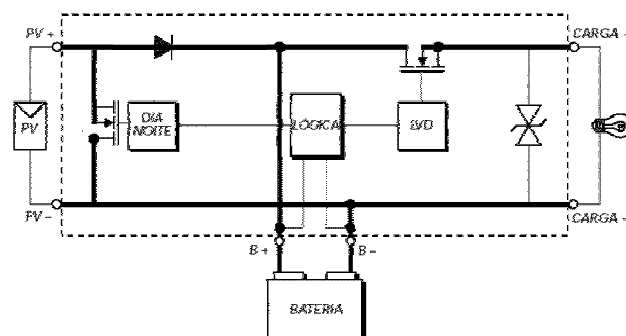


Figura 7 – Regulador de carga para baterias tipo paralelo.

Fonte: Morningstar, 2004.

3. CONTROLADOR DE CARGA E DESCARGA DE UM BANCO DE BATERIAS COM CONTROLE INDIVIDUAL SOBRE CADA UNIDADE DO BANCO

Controladores de carga e descarga de baterias existentes no mercado têm como função básica o controle do fluxo de potência que entra ou sai do banco de acumuladores. Como mencionado anteriormente, eles não avaliam as diferenças de carga entre os acumuladores de um banco, apenas o estado do conjunto como um todo, além de não terem proteção em relação a baterias que possam ter sofrido algum problema e tenham se tornado uma carga às demais componentes do banco.

Com o intuito de sanar estas deficiências dos controladores hoje comercializados, desenvolveu-se um protótipo de controlador que contempla a análise e controle de cada bateria que compõe o banco de forma individual, incluindo a proteção para que um acumulador não seja carga aos outros elementos do conjunto, além das funções equivalentes aos demais controladores. O desenvolvimento deste equipamento visa o aumento da vida útil das baterias de um determinado banco.

O equipamento desenvolvido proporciona o controle do fluxo de potência que entra ou sai do banco de acumuladores, promove atuação individual sobre cada bateria do banco e, simultaneamente, assume as funções de proteção contra

sobrecarga e descarga profunda das baterias. O controlador possibilita que até duas fontes de alimentação sejam conectadas a ele, fazendo a seleção de qual das duas fontes será retirada a energia para o banco, de acordo com a necessidade e disponibilidade das mesmas.

A tensão de alimentação e trabalho admitida pelo controlador proposto é em corrente contínua. Eventualmente, uma fonte de corrente alternada poderá ser a ele conectada, desde a mesma seja munida de um retificador e um transformador.

O regulador de tensão empregado é do tipo série e todo trabalho de carga e descarga é controlado por um microcontrolador.

Para realizar este projeto, foram seguidas as seguintes etapas:

- Seleção dos componentes eletrônicos utilizados;
- Estruturação em relação à disposição dos componentes na placa;
- Desenvolvimento do software;
- Implementação do hardware;
- Testes sobre as funções executadas pelos componentes e partes do projeto;
- Montagem final e ajustes;
- Avaliação do projeto para verificar se as funções do protótipo estão de acordo com as propostas no projeto;
- Testes para a verificação quanto à energia entregue aos acumuladores e o tempo dos ciclos de carga.

3.1. Descrição do Funcionamento

A figura 8 apresenta um esquema simplificado do controlador de carga com exemplo de aplicação em um sistema fotovoltaico.

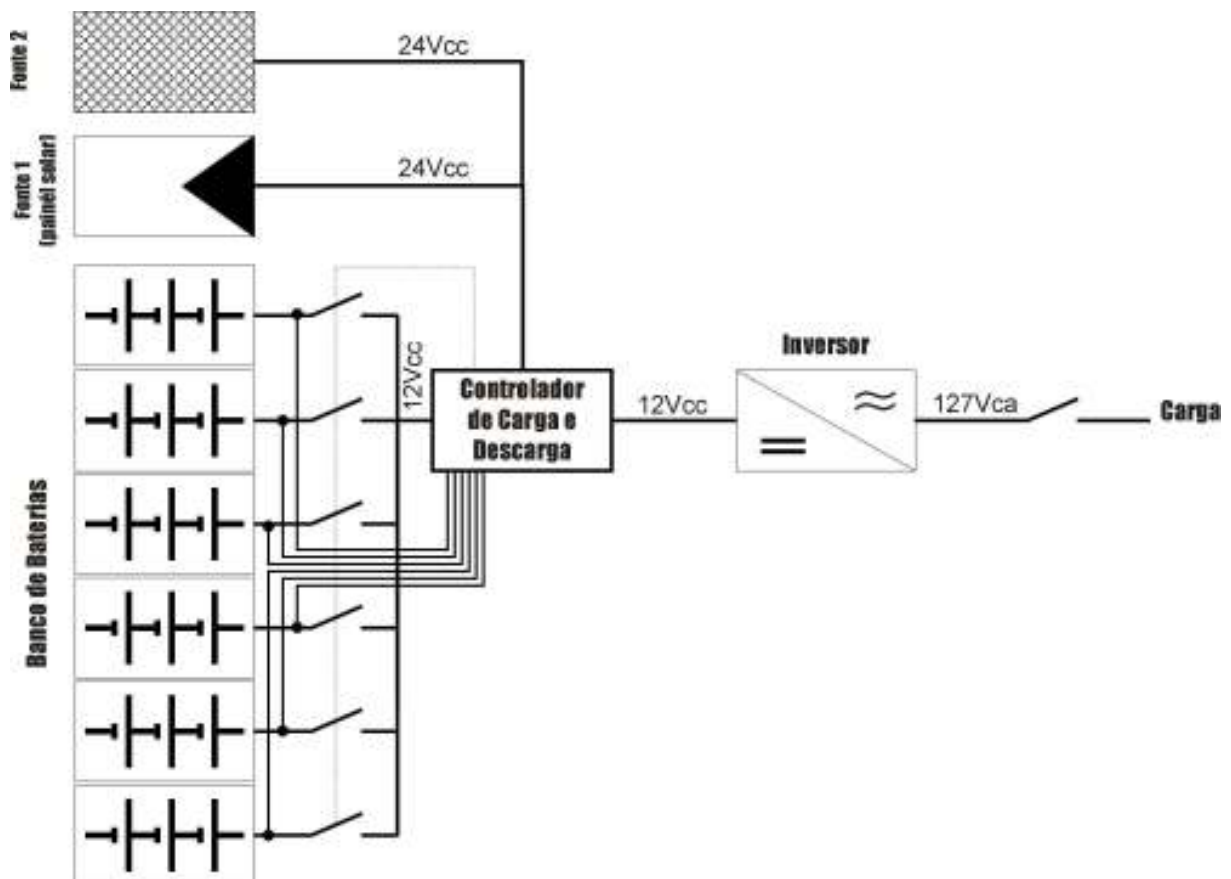


Figura 8 – Esquema simplificado do controlador aplicado em um sistema fotovoltaico.

Basicamente, o sistema funciona da seguinte forma: em operação normal, mantém monitoramento constante da tensão de cada bateria do banco. Mesmo que a tensão da bateria seja mais elevada que a tensão mínima ou inicial de recarga ($U_{IR}=11V$), procede-se o desacoplamento da bateria do circuito e efetua-se a

recarga, durante maior ou menor período de tempo dependendo da necessidade, até que a tensão final de carga ($U_{FC}=14V$) ou de flutuação, seja atingida.

O tempo máximo de carga de cada unidade, previamente e arbitrariamente estabelecido, é dividido em seis períodos de trinta segundos (denominado ciclo de carga da unidade), sendo que ao final de cada período a tensão da bateria é novamente avaliada. A figura 9 apresenta uma curva de tensão da bateria, com modos típicos de operação de carga e descarga.

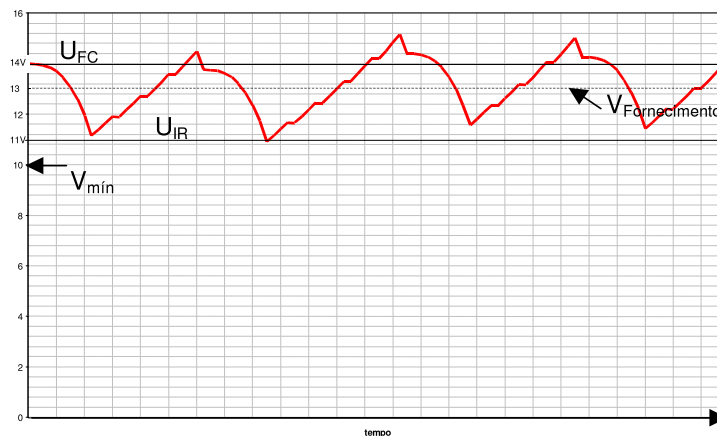


Figura 9 – Curva característica de tensão na operação de carga e descarga da bateria.

Se a tensão final de carga for atingida (14V), o ciclo de carga para a unidade em questão é interrompido, passando a monitorar a próxima bateria. Se a tensão do acumulador cair abaixo de $V_{mín}$ (10V), o controlador não tentará mais recarregá-la e ela será desconectada permanentemente do sistema.

Não havendo nova descarga e estando o nível de tensão do acumulador, ao ser avaliado, acima de 14V não haverá recarga. Caso a tensão esteja abaixo de 14V o controlador atuará durante 30s de uma a seis vezes, para fornecer uma carga de flutuação ou recarregar a bateria, conforme mostra a figura 9. O número de seis

ciclos de carga foi determinado arbitrariamente como valor de referência, com os testes de eficiência se poderá determinar o valor de forma concreta.

A rotina de carga se iniciará fazendo uma comparação entre a tensão da fonte com a referência, de 15V. Se a tensão da fonte for inferior a de referência, a fonte não será conectada para a recarga dos acumuladores, caso contrário ela será habilitada ao fornecimento.

Avaliada a tensão das fontes, inicia-se o processo de avaliação dos acumuladores. Estando a bateria com tensão abaixo do nível mínimo estipulado de 10V, o controlador não tentará recarregá-la e ela também não será habilitada ao fornecimento de energia à carga consumidora. Imediatamente, o controlador passa para a avaliação da próxima bateria. Apresentando tensão entre V_{\min} e U_{FC} , inicia-se o ciclo de recarga da bateria.

Se a fonte estiver apta ao fornecimento de energia à bateria e a tensão desta acima da tensão de fornecimento 13V, a bateria será conectada novamente ao circuito consumidor e o sistema passará para avaliação da próxima bateria. Caso a tensão do acumulador esteja entre os valores de U_{IR} e U_{FC} , este será conectado a fonte supridora durante trinta segundos; a seguir, é feita uma nova medida do nível de tensão. Se a tensão máxima estipulada ($U_{FC}=14V$) não tiver sido atingida o processo se repete por mais cinco vezes, num total de 3 min; se ainda assim o nível não for igual a U_{FC} , mas acima de 13V (tensão mínima de fornecimento), o controlador desacopla a bateria da fonte e faz sua conexão com a carga; a seguir, passa para o próximo acumulador e repete os passos descritos. Se, após os 3 min de carga não houver tensão mínima de fornecimento para carga consumidora no

acumulador, ele fica desconectado e, assim como anteriormente, repete-se o processo na bateria seguinte.

Todo o processo descrito se repete continuamente, são avaliadas e carregadas ou não todas as seis baterias do banco, sendo que o tempo máximo entre uma avaliação e outra é de 15min.

3.2. Software de Controle

O programa de controle estará constantemente avaliando a situação das baterias no chamado Ciclo de Carga. Para isto, cada acumulador é desconectado eletricamente do resto do circuito, avaliado e reconectado ou não ao sistema.

A linguagem de programação C foi utilizada para a elaboração do software, pois as várias ferramentas de programação disponíveis para o microcontrolador utilizado no projeto, que é um modelo da família PIC[®] da empresa Microchip Inc., são em linguagem C, muito embora existam também ferramentas em linguagem Assembly.

O programa é constituído de uma parte principal, arquivos de configuração para o microprocessador (ou arquivos de cabeçalho) e sub-rotinas utilizadas no processo. Como os arquivos de cabeçalho e a sub-rotina de utilização do *display* de cristal líquido utilizado no controlador não foram desenvolvidos neste projeto, utilizou-se, respectivamente, o que foi disponibilizado pelo fabricante do compilador usado PIC C[®] e do material disposto por Pereira (2003) na internet. Eles não serão

descritos, mas a rotina de *display* pode ser visualizada no Anexo 6. O programa principal, em linguagem C, pode ser visto no Anexo 1.

O algoritmo do software principal de controle (ou *main*), que compõe todo programa está disposto na figura 10 e demonstra todas as etapas de avaliação e manobras do controlador.

A denominação de cada variável utilizada no software está a seguir descrita:

V_{BAT}	tensão da bateria (V);
V_{min}	tensão mínima para que a bateria seja recarregada (V);
U_{FC}	tensão final de carga (V);
$V_{forn.}$	tensão mínima de fornecimento à carga consumidora(V);
T	número de tentativas de recarga;
N	número da bateria avaliada.

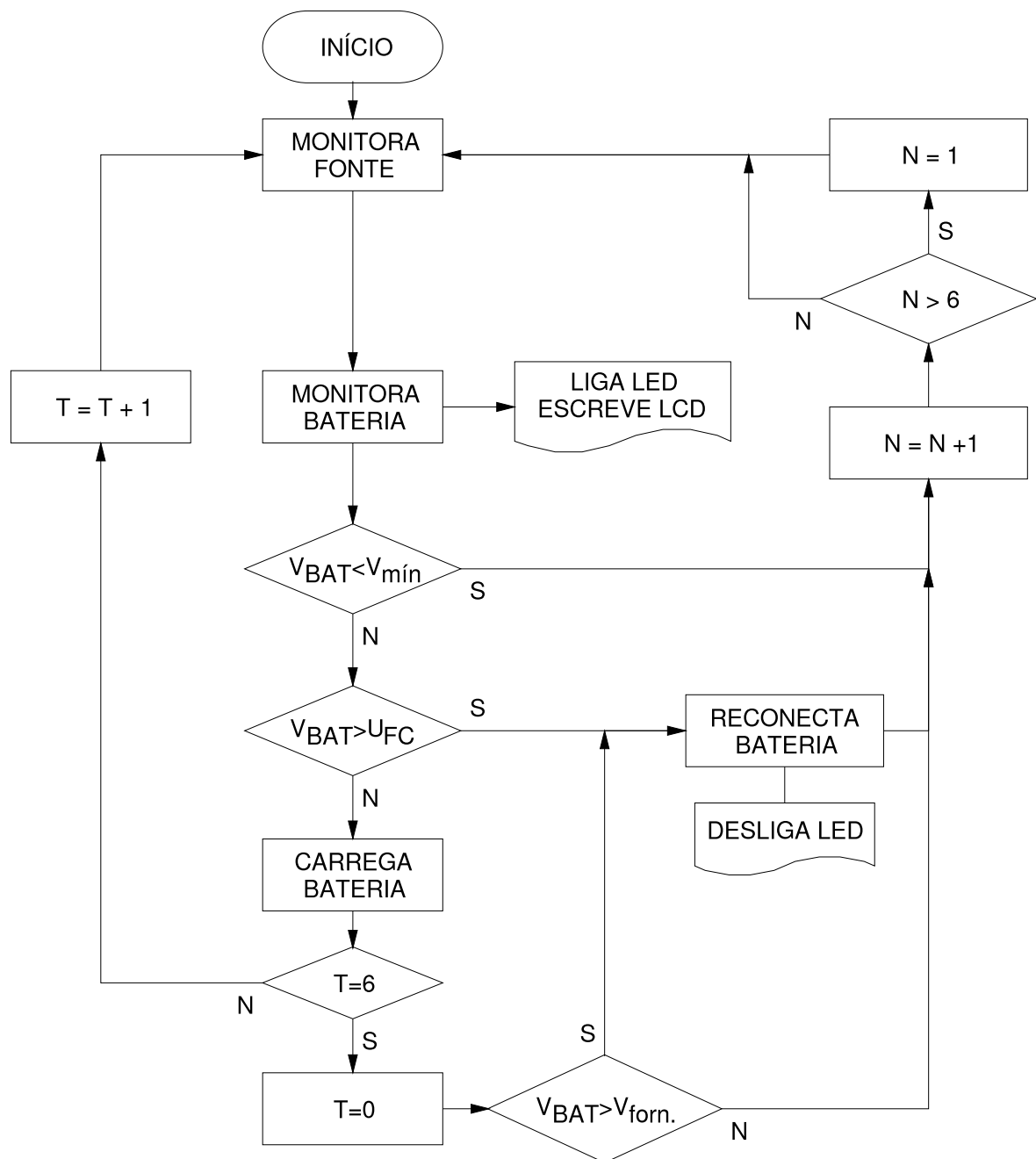


Figura 10 – Algoritmo do Programa Principal de controle do banco de baterias.

Os fluxogramas das sub-rotinas “Monitora Fontes” e “Monitora Bateria” são apresentados na figura 11 e aqueles das sub-rotinas “Carrega Bateria” e “Reconecta Bateria”, na figura 12. As quatro sub-rotinas estão disponíveis, em linguagem C, nos Anexos 2, 3, 4 e 5.

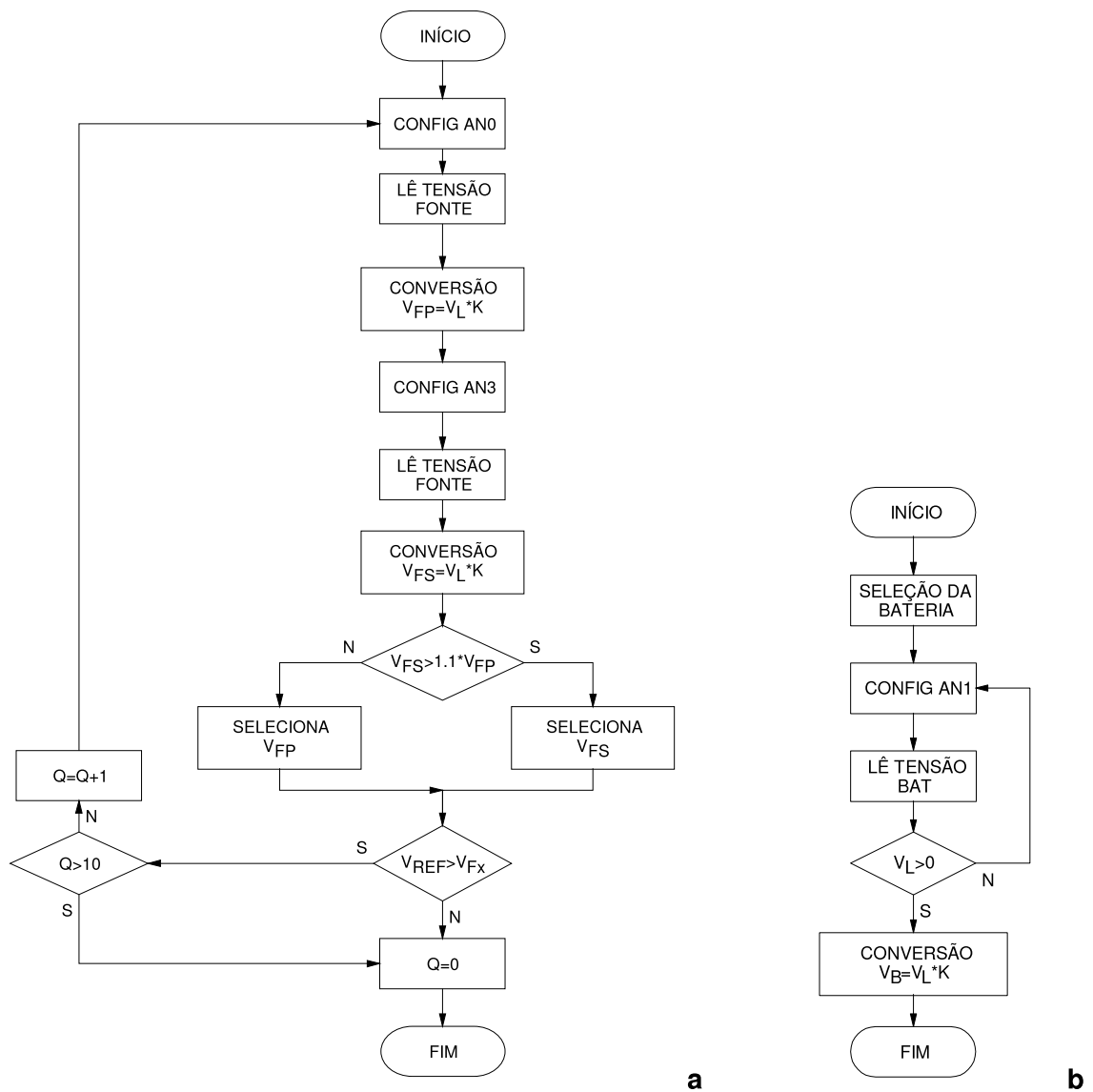


Figura 11 – Algoritmos das sub-rotinas Monitora Fontes (a) e Monitora Bateria (b).

Nos algoritmos da figura 11, as variáveis são:

- AN0 entrada analógica 0 do microprocessador;
- AN1 entrada analógica 1 do microprocessador;
- AN3 entrada analógica 3 do microprocessador;
- V_{FP} tensão da fonte supridora principal, já convertida para valor real;
- V_{FS} tensão da fonte supridora secundária, já convertida para valor real;
- V_B tensão na bateria avaliada, já convertida para valor real;

- V_L tensão lida pelo conversor AD do microprocessador;
- V_{REF} tensão de referência (15V);
- Q número de verificações de tensão satisfatória nas fontes ($V_{Fx} > V_{REF}$);
- K parâmetros de conversão.

Para que os dados lidos nas portas de ADC sejam interpretados corretamente, é necessário que se faça uma conversão, que é representada nos algoritmos da figura 11 por $V_X = V_L \cdot k$.

Devido dos níveis de tensão lidos nas portas conversoras analógico/digital (ANx) estarem condicionados (vide item 3.3.2.) e como a saída do conversor é em forma binária, que não corresponde exatamente ao valor da tensão analógica, é necessário fazer um escalonamento a fim de obter o valor correto, ou bem próximo, da tensão lida (PEREIRA, 2003).

Como a tensão de referência para conversão é a própria alimentação de 5V utilizada no PIC, e o conversor é de 10 bits, cada bit vale:

$$V_{bit} = \frac{VDD}{(2^{10} - 1)} = 4,89mV \quad (1)$$

A tensão interna convertida é o produto da tensão de entrada (V_{in}) pelo valor do bit,

$$V_{conv} = 4,89 \cdot V_{in} = \frac{5000 \cdot V_{in}}{1023} \quad (2)$$

Portanto, a conversão da tensão V_{conv} para o valor real se dá pela aplicação das equações 3 e 4.

$$V_{conv} = \frac{5000 \cdot (V_{in} + 1)}{1024} = 4 \cdot (V_{in} + 1) + \frac{113 \cdot (V_{in} + 1)}{128} \quad (3)$$

$$V_{real} = \frac{19 \cdot V_{conv}}{4} \quad (4)$$

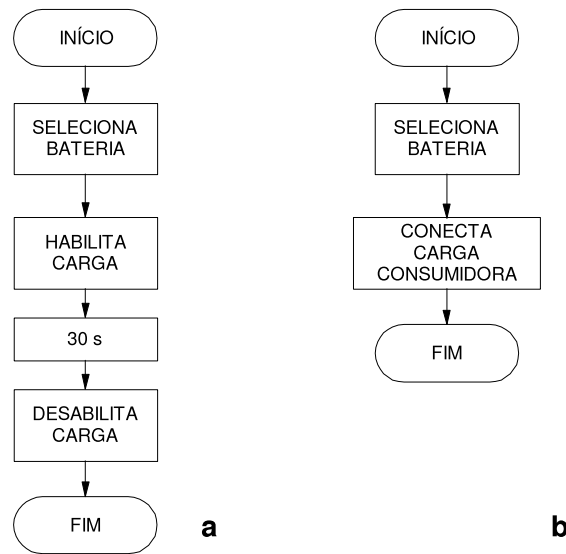


Figura 12 – Algoritmos das sub-rotinas Carrega Bateria (a) e Re-conecta Bateria (b).

3.3. Hardware Implementado

Esta parte do trabalho compreende a montagem física do controlador de carga, suas partes e componentes utilizados.

Para o melhor entendimento do funcionamento do sistema, as etapas de operação do controlador foram divididas como segue:

- Controle das Fontes Supridoras de Energia;
- Controle Geral – Microcontrolador;
- Atuador: carga e descarga.

3.3.1. Controle das Fontes Supridoras de Energia

Conforme anteriormente exposto, o sistema será suprido por duas fontes de energia distintas: Uma será renovável (eólica ou fotovoltaica) em corrente contínua, denominada principal e a secundária será proveniente da rede convencional, um gerador diesel ou um aerogerador que gere energia elétrica em corrente alternada. A tensão de entrada nas baterias será proveniente apenas de uma das duas fontes de energia, por vez, acopladas ao sistema.

O único requisito para a utilização de uma determinada fonte é que ela tenha tensão máxima de 24Vcc e diferencie pelo menos 5 Volts da tensão nominal das baterias. O que se idealizou para este projeto, é que se utilize ao menos uma fonte renovável, tendo em vista que esta aplicação foi, inicialmente, a intenção do projeto. Porém, pode-se conectar qualquer fonte de energia ao sistema desde que ela seja devidamente adequada ao equipamento (24Vcc), ou seja, pode-se utilizá-lo em no-breaks comuns para o gerenciamento das baterias.

Como o controlador deverá trabalhar com baterias de capacidade máxima de 115Ah (10A x 10h de carga + flutuação) e partindo da idéia que para um carregamento satisfatório para este tipo de bateria deve-se aplicar uma corrente menor que 10% da carga máxima (figura 5), então o transformador deverá ter uma potência mínima de 240VA, conforme equação 5.

$$P_{trafo} = 10\%(V \cdot I) = 24V \cdot 10A = 240VA \quad (5)$$

3.3.2. Controle Geral – Microcontrolador

Com o objetivo de obter simplicidade no circuito de controle da carga e descarga das baterias optou-se pela utilização de um microprocessador, o que também repercutirá no tamanho do circuito montado, tornando-o menor do que se fosse todo montado de forma discreta. Para uma programação inicial, ou implantação do controlador, o fato de ter memória flash, que pode ser apagada e reescrita por mais de 1000 vezes, torna o projeto mais flexível e barato minimizando o custo que acarretaria um erro no programa, pois caso o microcontrolador não tivesse memória apagável teria de ser descartado, além da possibilidade de ampliação ou atualização do sistema.

Inicialmente, optou-se por um modelo mais simples de microcontrolador PIC, da Microchip, e a utilização de um conversor analógico digital e portas de I/O externas. Porém, sabendo que um maior número de componentes acarreta ao circuito uma maior suscetibilidade a ruído e eventuais problemas de mau contato, optou-se pela utilização do PIC 16F877 de 8 bits e com quatro portas de I/O de 8 bits cada, bidirecionais e que podem ser configurados individualmente. Nestas portas existem entradas analógicas que facilitarão o trabalho eliminando, assim, os integrados de I/O e conversor analógico digital (figura 14).

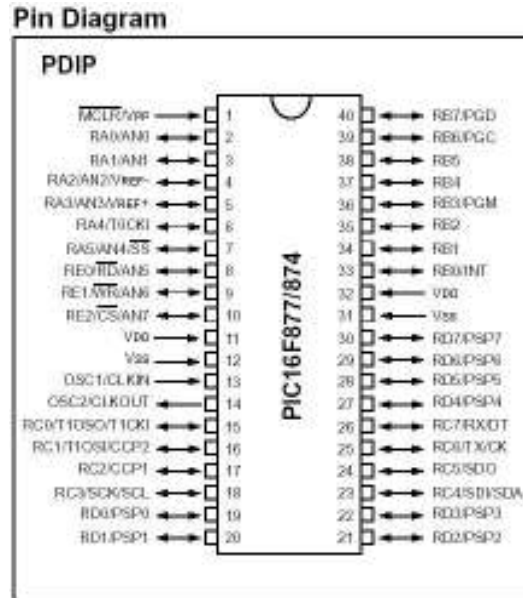


Figura 14 – Microcontrolador PIC 16F877, diagrama de pinos.

Fonte: Microchip Technology, 2001.

As portas do PIC 16F877 são utilizadas da forma apresentada na figura 15:

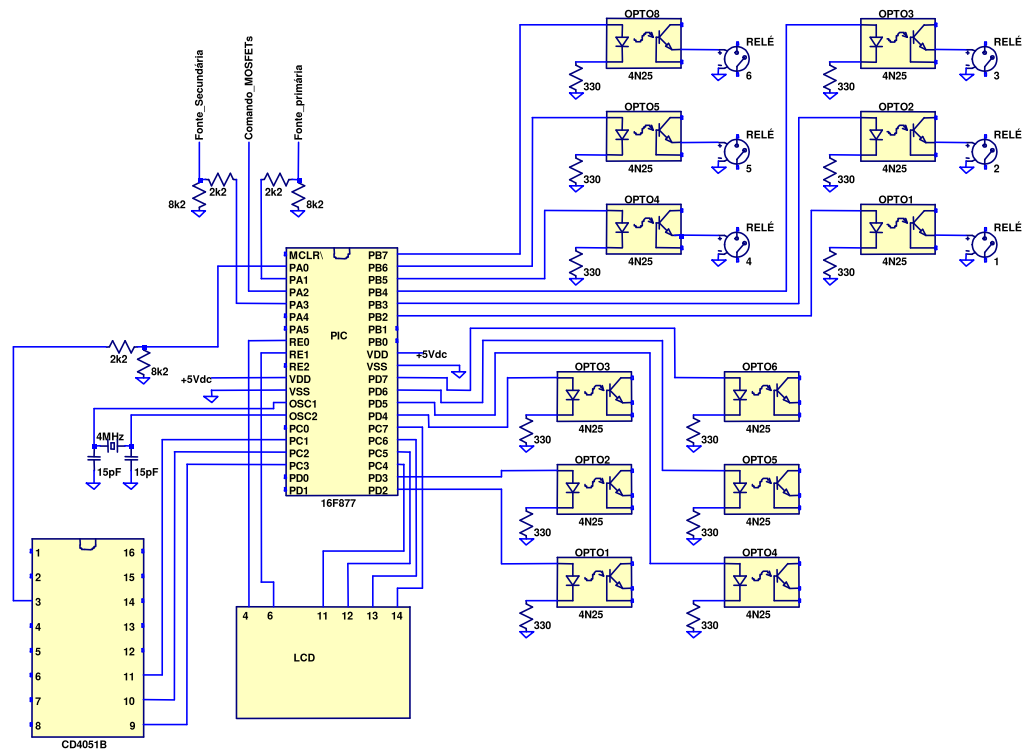


Figura 15 – Componentes acoplados as portas do microprocessador.

Porta A – conectou-se na entrada analógica RA0/AN0 o sinal proveniente dos acumuladores, ou seja, é o ponto que fará a leitura da tensão nas baterias. Este sinal vem através de um multiplexador analógico 4051. Em RA1/AN1 está a medição da tensão da fonte supridora primária. No pino RA3/AN3/Vref+ fica a tensão da fonte secundária e em RA2/AN2 a saída para comando de qual fonte será utilizada para recarga das baterias.

A tensão de referência é imposta via software e tem a função de dar um parâmetro ao microprocessador quanto à capacidade de fornecimento das fontes para as baterias, ou seja, é feita uma comparação entre a referência e a tensão das fontes. Se a segunda não for maior que a referência, as baterias não serão conectadas à fonte; por conseguinte não serão carregadas.

As entradas dos sinais analógicos são condicionadas para que o PIC não seja danificado, uma vez que a tensão de entrada pode chegar a 24V e o padrão é de 5V e para que seja feita a conversão, uma vez que a tensão lida não pode ultrapassar a V_{ref} interna que é a própria alimentação do PIC, $V_{DD}=5V$. A aplicação de divisores de tensão foi uma saída prática e de baixo custo. Segundo a MICROCHIP (2004), na entrada analógica do micro processador não é aconselhado colocar uma impedância Z maior que $10k\Omega$. Este foi o principal cuidado para a aplicação dos divisores.

Os valores aplicados no divisor de tensão foram de $Z = 8,2k\Omega$ e $R2 = 2,2k\Omega$, sendo Z a impedância de entrada; caso esta seja maior que $10k\Omega$, o processo de conversão ficará muito lento. A configuração do divisor está disposta na figura 16.

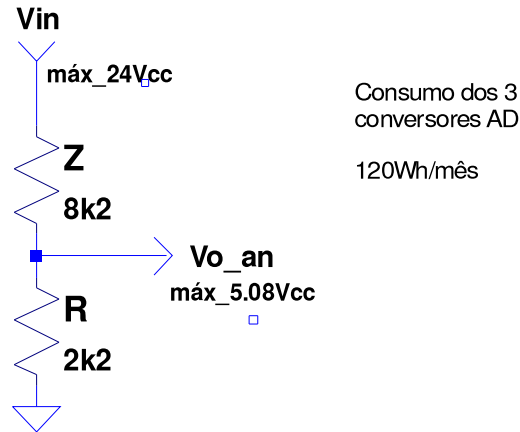


Figura 16 – divisor de tensão para entrada do sinal nos conversores A/D.

Quanto à conversão do sinal, o ADC precisa de um tempo para poder carregar o S/H a fim de fazer a conversão posteriormente. O tempo é estabelecido de acordo com o que sugere a Microchip (2004) conforme as equações a seguir.

$$T_{AQ} = T_{\text{set_amp}} + T_{\text{car.CH}} + \text{Coef.Temp} \quad (6)$$

Onde: T_{AQ} Tempo mínimo de aquisição;

$T_{\text{set_amp}}=2\mu\text{s}$ Tempo de acomodação;

$T_{\text{car.CH}}$ Tempo de carga do capacitor de amostragem;

Coef.Temp Coeficiente de temperatura.

$$T_{\text{car.CH}} = -C_{\text{Hold}} \cdot (R_{\text{IC}} + R_{\text{SS}} + Z) \cdot \ln / 2047 \quad (7)$$

Onde: $C_{\text{Hold}}=120\text{pF}$ Capacitor de amostragem;

$R_{\text{IC}}=1\text{K}\Omega$ Resistência de interconexão;

$R_{SS}=7K\Omega$ Resistência da chave de amostra;

$Z=8K2\Omega$ Resistência da chave de amostra.

$$\ln/_{2047}=7,625$$

Coeficiente de Temperatura ou T_{coff} é,

$$T_{\text{coff}} = (T - 25^{\circ}\text{C}) \cdot 0,05\mu\text{s} / ^{\circ}\text{C} \quad (8)$$

onde T é a temperatura de operação do processador.

Portanto, para uma temperatura de operação de 50°C , por exemplo, o tempo mínimo de aquisição de dados é de $18,1\mu\text{s}$; porém, conforme sugerido por Pereira (2003), adotou-se $25\mu\text{s}$. Este valor está inserido nas sub-rotinas “Monitora Fonte” e “Monitora Bateria” (Anexos 2 e 3).

Porta B – foram ligados os relés Metaltex 12Vcc / 15A que conectam as baterias à carga consumidora; o acoplamento completo é feito quando o sistema é acionado e, iniciando-se o processo de avaliação e recarga, cada bateria é desacoplada separadamente. Os pinos utilizados foram de RB2 até RB7, devidamente isolados eletricamente com optoacopladores por motivo de segurança para o microprocessador.

Porta C – os pinos RC1, RC2 e RC3 são os responsáveis por fazer a seleção do sinal de tensão das baterias para o PIC, ou seja, são os pinos que controlam o multiplexador analógico. Os pinos RC4, RC5, RC6 e RC7 estão conectados ao LCD e enviam o nibble de dados a este.

Porta D – foi utilizada para o acionamento dos optoacopladores que fazem o chaveamento dos mosfets IRFZ44 que, por sua vez, habilitam a recarga do acumulador; assim como nos relés, somente um é chaveado por vez, ou seja, cada acumulador é carregado separadamente. Os pinos utilizados foram do RD2 até o RD7.

Porta E – utilizada para a seleção das funções do LCD, através dos pinos RE0 e RE1.

A ferramenta de programação, ou compilador, utilizada neste projeto foi uma versão de avaliação de 30 dias do software PIC C Compiler IDE (PCWH Compiler) da CCS – Custom Computer Services, Inc, na versão 3.212. O software MPLAB IDE, versão 6.51, de distribuição gratuita e fabricado pela Microchip, Inc, mesma fabricante do PIC, foi usado para os testes preliminares e envio do código ao microcontrolador. O hardware empregado para fazer a gravação do PIC foi o McFlash da empresa Mosaico Engenharia.

3.3.3. Atuador: carga e descarga

Esta é etapa do sistema na qual estão os dispositivos semicondutores de potência que fazem o chaveamento do acumulador a ser carregado e o habilitam à leitura e o controle do nível de tensão. É a parte do controlador que aciona os dispositivos de saída (relés), para conectar as baterias a carga consumidora.

O nível de corrente aplicado a um acumulador, é ajustado por um regulador de corrente a fim de que não ultrapasse 10% da corrente de carga da bateria (no caso de 100Ah=10A) para que haja um carregamento mais efetivo do acumulador (ELEKTOR, 2004). O sistema inicializa retirando a alimentação das baterias,

conectando as mesmas à carga consumidora. Cada bateria é atendida seqüencialmente pelo microcontrolador do seguinte modo: primeiro, a bateria em questão é desconectada da carga consumidora através da abertura do relé o qual é acionado por um acoplador óptico 4N25. A tensão é então avaliada e, se for inferior a 14V, outro acoplador óptico é acionado, chaveando a fonte de alimentação na bateria através de um mosfet. Para a medição da tensão, um multiplexador analógico é acionado (4051), direcionando o sinal da bateria para o ADC, de acordo com as instruções do microprocessador.

Feita a medição, os dados da tensão da fonte e do acumulador são enviados ao LCD e apresentados, respectivamente, nas linhas um e dois. Na última coluna do LCD é apresentado o número de tentativa de carga do acumulador, como demonstra o número “5” na parte inferior direita da figura 17.



Figura 17 – LCD utilizado.

Quando a bateria estiver desconectada do circuito, seja para avaliação e recarga ou permanentemente, um indicador luminoso (Light Emitter Diode – LED) estará ligado demonstrando qual dos acumuladores está desacoplado. Quando a unidade for desconectada para avaliação e recarga, será possível visualizar a tensão

deste acumulador em um *display* de cristal líquido (LCD), mas quando isto não acontecer e o *LED* estiver ligado significa que a bateria tem problema, o *LCD* mostrará a mensagem “Sem Bateria *n*”.

A figura 18 demonstra o circuito atuador como controle de corrente e de chaveamento tanto dos mosfets quanto dos relés.

Vale ressaltar que uma nova unidade a ser acrescida ao banco de acumuladores deve estar com carga plena. Caso contrário, levará muito tempo para que a carga mínima de fornecimento seja estabelecida, ficando o fornecimento interrompido neste período.

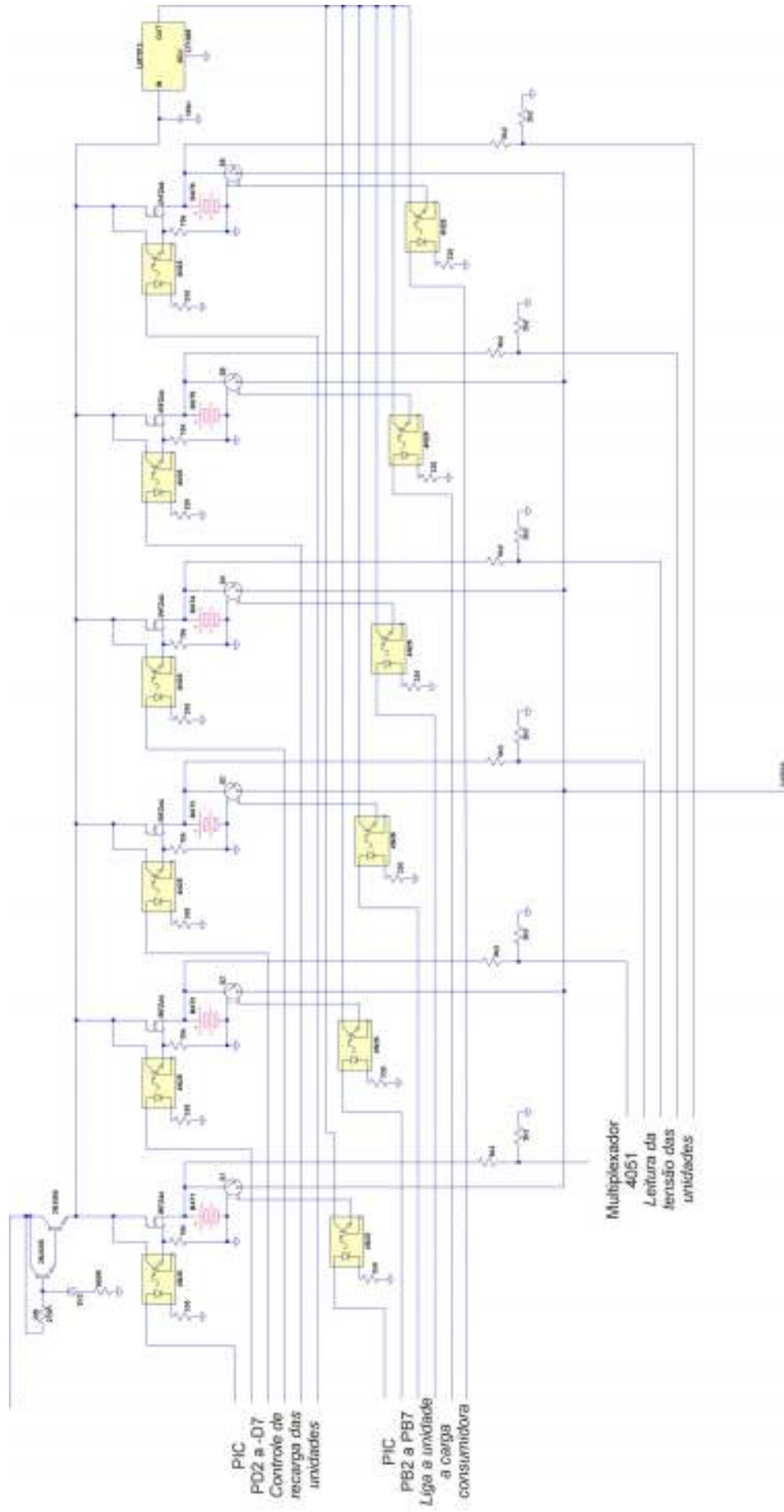


Figura 18 – Esquemático do atuador de carga e descarga das baterias.

3.4. Montagem e Testes

3.4.1. Montagem

A montagem do protótipo foi feita inicialmente parte a parte isoladamente em protboard, a fim de testar o funcionamento do que foi projetado. Em seguida, foi feita a passagem das partes testadas para placas “padrão” de circuito impresso. O controlador foi, então, montado por completo, ficando apenas o LCD e os leds montados ainda em protboard. A figura 19 demonstra o controlador montado nas placas e a figura 20, o protboard com o LCD e os Leds.

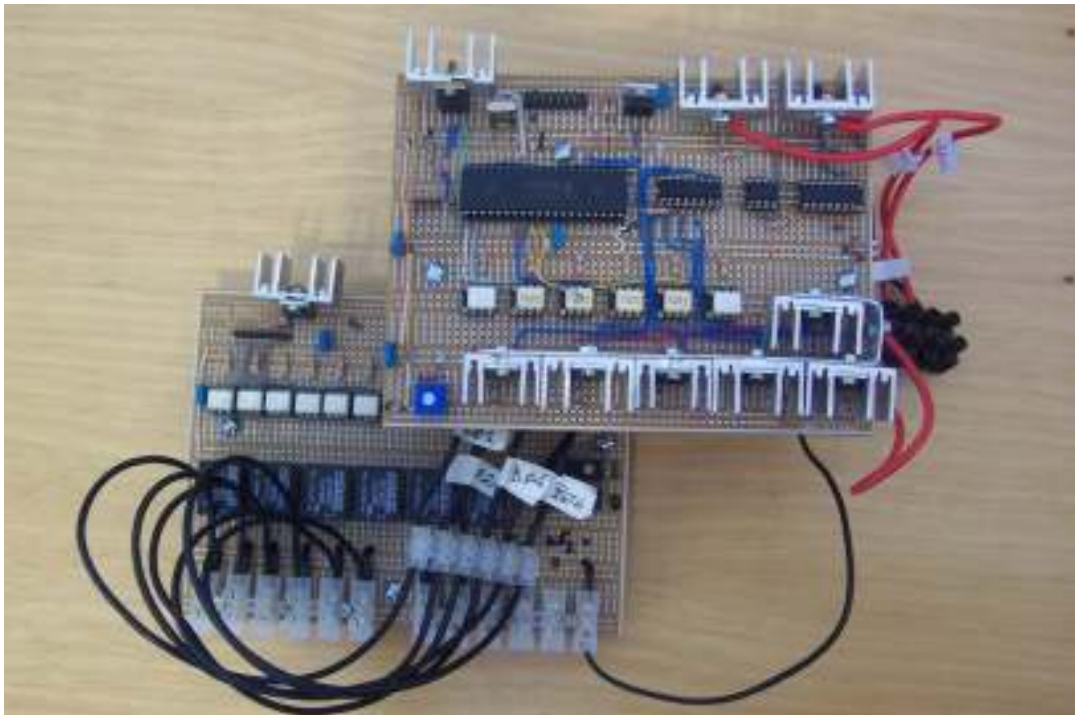


Figura 19 – Montagem do protótipo do controlador de carga de bateria.



Figura 20 – Montagem no protboard do LCD e Led de monitoramento das baterias.

Conforme se observa, o sistema está instalado em duas placas, ficando a parte de controle e monitoramento, os mosfets de conexão de recarga e o controle e chaveamento das fontes na placa superior. Também na parte superior estão os Leds que informam o desligamento das baterias e os pinos de conexão do cabo tipo “flat” (com 17 fios), que serve para alimentação e envio de comando e dados para o LCD e Leds. Na face inferior desta placa, estão os pinos de conexão de um cabo do tipo “flat” com oito fios, que serve para comando e alimentação dos relés.

Na placa inferior, estão os relés que conectam as baterias ao consumidor, o controle de corrente e os bornes de conexão das fontes, baterias e carga.

O protótipo do controlador montado fica conforme ilustra a figura 21.

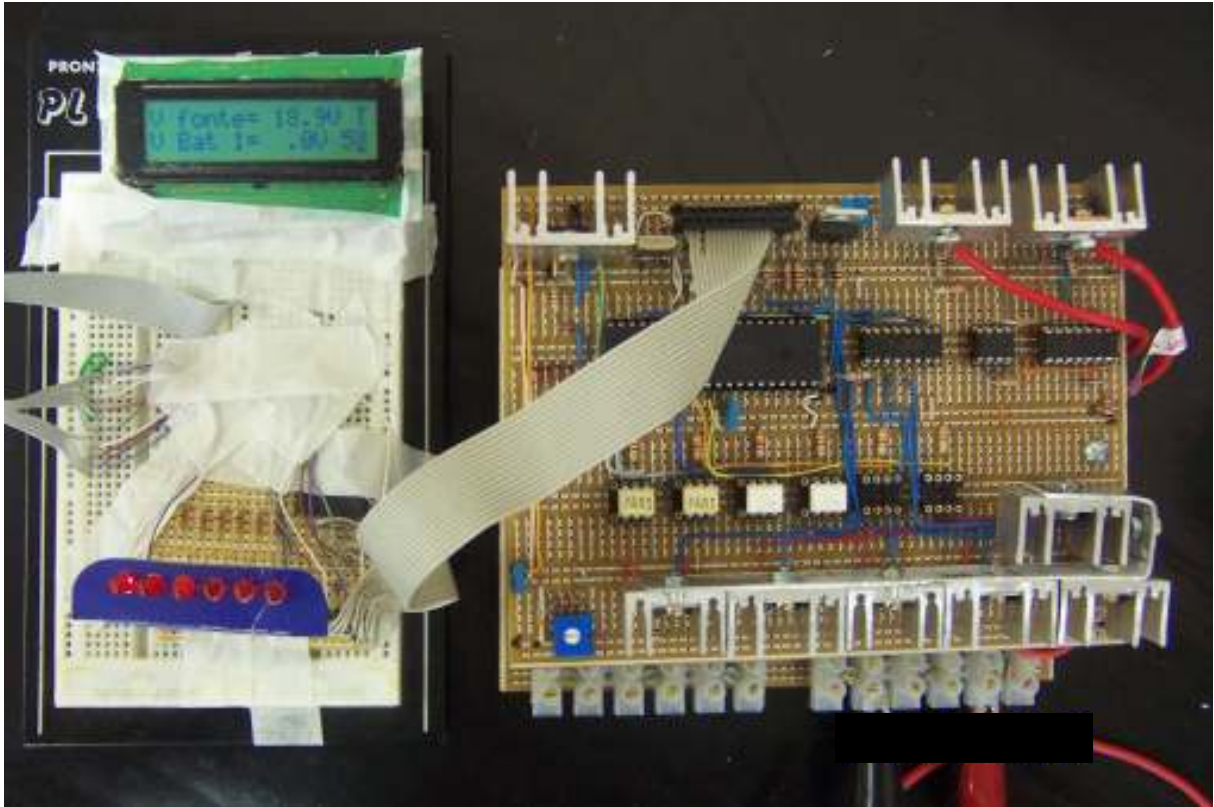


Figura 21 – Protótipo do controlador de carga e descarga de baterias.

Os condutores utilizados para o fornecimento de tensão às baterias são de $1,5\text{mm}^2$, que podem suportar uma corrente de até 17A. Na conexão das baterias com a carga, o fio aplicado é de 4mm^2 , para correntes superiores a 24A. A capacidade de fornecimento máxima através do controlador, considerando os seis relés, seria de 90A ($6 \times 15\text{A}$). Porém, como sempre haverá uma bateria sendo avaliada, no máximo cinco relés estarão simultaneamente habilitados. Desse modo, a capacidade nominal do controlador adotada é de 75A.

3.4.2. Testes

Todas as etapas, como mencionado anteriormente, foram testadas antes da montagem nas placas.

Inicialmente, fez-se a avaliação quanto ao funcionamento do chaveamento dos mosfets, pois estes foram utilizados de uma forma não comum, ou seja, conectando a carga no terminal Source e não no Dreno, como é usualmente aplicado. A preocupação foi basicamente quanto à tensão no Gate, pois estando esta muito próxima a do Source, o mosfet poderia não chavear. Os testes apresentaram resultado positivo, não sendo, portanto, necessária a troca dos semicondutores.

Outro item avaliado nos testes preliminares foi a incidência de ruído e queda de tensão nos circuitos de controle do protótipo. Isto se deu através da medição com osciloscópio nos pinos de alimentação dos semicondutores e alguns pontos internos do circuito. O único problema encontrado foi relativo a ruído, que ocasionou mau funcionamento do microprocessador e do multiplexador analógico (4051). Isto foi resolvido com a inserção de capacitores entre a alimentação dos semicondutores e um ponto com potencial zero, ou seja, a “massa”. Na figura 22, pode-se visualizar a bancada de testes e montagem.

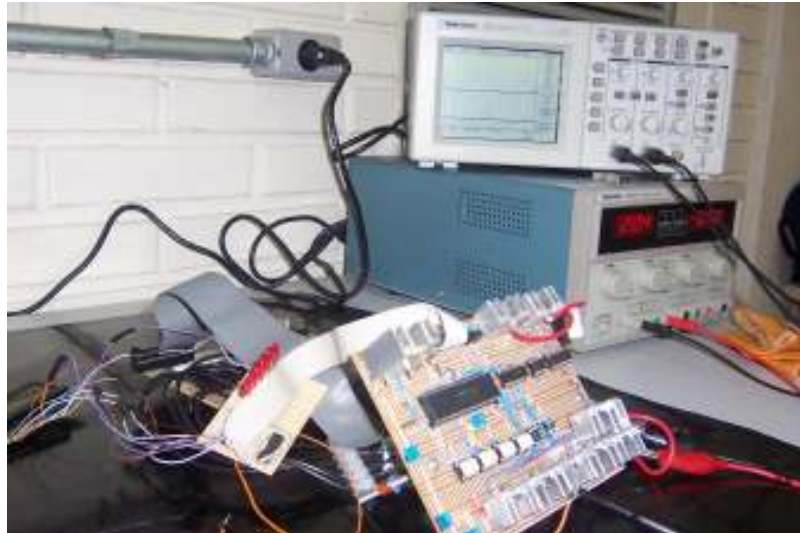


Figura 22 – Bancada de testes.

A última etapa na bancada de testes foi o ajuste do software de controle implantado no microcontrolador. Durante estes testes, foram feitas várias correções no software, no que diz respeito aos tempos de *delay*² para leitura por parte do usuário, nas mensagens escritas no LCD, bem como o ajuste nos tempos de carga a fim de que fossem o mais próximo possível do esperado (30s). Outra correção bastante importante, foi quanto aos valores de conversão das tensões lidas pelos ADCs, uma vez que nestas entradas estão implantados os divisores de tensão, os quais inserem um erro na leitura devido a tolerância dos resistores. O erro relativo à variação da temperatura foi desprezado.

Finalmente, procederam-se os testes com cargas consumidoras e baterias (figura 23). Inicialmente, foram feitos experimentos para aferição dos tempos de carga, seleção da bateria a ser carregada, ou não, e a função de avaliação se o acumulador tem energia suficiente para fornecer a carga consumidora. A seguir, procedeu-se um teste efetivo de funcionamento com quatro baterias, mantendo a

² Referente a tempo de espera até executar outra função.

tensão da fonte e o consumo constantes, a fim de avaliar a funcionalidade do equipamento e, principalmente, se o número de ciclos de carga e os tempos de carga (6 tentativas de 30s), pré-determinados de forma arbitrária, são suficientes para manter as baterias carregadas mediante um consumo estável.



Figura 23 – Teste do controlador com cargas consumidoras e baterias.

Estes testes foram realizados para observar o funcionamento do controlador em um curto espaço de tempo. Tendo em vista a complexidade que envolve a operação de baterias, não foi possível avaliar o verdadeiro desempenho ou eficácia do controlador. Os testes realizados serviram, fundamentalmente, para identificar pontos falhos e experimentar os modos de operação do controlador, principalmente no que diz respeito à energia que é fornecida e aquela solicitada ao acumulador, em relação aos ciclos de carga e descarga.

Nos experimentos, utilizou-se uma fonte retificada controlada como supridora, quatro baterias de chumbo-ácido de 12V/7Ah e como carga, duas lâmpadas incandescentes de 25W e 40W, respectivamente, ambas para 12V, conectadas em série, perfazendo uma potência teórica de 16,25W.

No teste inicial de aferição dos tempos e funções de seleção do acumulador a ser recarregado ou que fornecerá energia à carga consumidora, variou-se a tensão da fonte de 18 a 24V e a aplicação da carga em vários estágios, monitorando-se a corrente e tensão nas baterias e carga. Para o teste, utilizou-se apenas duas baterias e uma lâmpada de 25W. Também foram feitas mudanças no software do PIC, em relação à tensão mínima para fornecimento do acumulador, de 13 para 12V, uma vez que as baterias utilizadas não estavam a plena carga. A fim de não danificar as baterias no teste, substituiu-se o controlador de corrente de 10A da entrada equipamento, por um de 0,7A, mantendo a idéia de carga máxima de 10% da corrente nominal da bateria.

O quadro 1 apresenta os resultados dos testes iniciais feitos com o controlador de carga.

Fonte			Bateria 1			Bateria 2			Lâmpada		
			Situação		Tensão	Situação		Tensão			
U (V)	I (mA)	P (W)	Em Carga	Fornece		Em Carga	Fornece		U (V)	I (A)	P (W)
18	60	1,08	X		16,6		X	12,6	11,9	2,00	23,80
	350	6,30			10,2	X		14,9	0,0	0,00	0,00
19	62	1,18	X		18,0		X	12,6	12,0	2,11	25,32
	342	6,50			10,2	X		15,0	0,0	0,00	0,00
20	68	1,36	X		18,2		X	12,6	12,0	2,09	25,08
	341	6,82			10,2	X		15,4	0,0	0,00	0,00
22	68	1,50	X		18,7		X	12,5	11,9	2,04	24,28
	342	7,52			10,2	X		16,6	0,0	0,00	0,00
24	71	1,70	X		21,0		X	12,5	11,9	2,02	24,04
	340	8,16			10,3	X		18,4	0,0	0,00	0,00

Quadro 1 – Dados dos testes com bateria e carga.

A partir dos dados, pode-se observar que o controlador funcionou corretamente em relação à avaliação da carga da bateria, mantendo a bateria 1 desconectada do fornecimento e a bateria 2, após a avaliação e recarga, tornou a fornecer energia à lâmpada. O fornecimento por parte da fonte também transcorreu sem nenhum problema, apenas a tensão aplicada às baterias, quando a fonte ultrapassa 19V se torna elevada e isto deve ser corrigido.

No segundo teste, no qual vai se verificar o funcionamento do controlador em regime, utilizou-se quatro baterias com capacidade idêntica as anteriores a as cargas ligadas em série conforme acima descrito. A tensão mínima de fornecimento para este teste, foi mantida em 12V.

Os dados de tensão das baterias e aplicada na carga consumidora, foram registrados com o emprego de um *data logger*, mais especificamente o equipamento Field Logger da empresa Novus Prod. Eletrônicos, com oito entradas analógicas, sendo utilizadas apenas cinco nos testes. As entradas foram condicionadas, a fim de não danificar o equipamento, com divisores de tensão para que a tensão de entrada não ultrapassasse 50mV, e a compensação se deu via software, próprio do equipamento.

Juntamente com leitura de tensão foram feitas algumas medidas da corrente nos instantes de recarga e de fornecimento, ou seja, de entrada e saída nas baterias, além da corrente da carga consumidora. Porém, a corrente foi lida de forma manual através de um multímetro e de resistores shunt colocados em série com as baterias e controlador e, também, em série com a carga e controlador.

Os testes apresentaram resultados satisfatórios em relação aos tempos de carga, pois, em nenhum momento do período experimentado a carga consumidora ficou sem energia como se pode ver na figura 24.

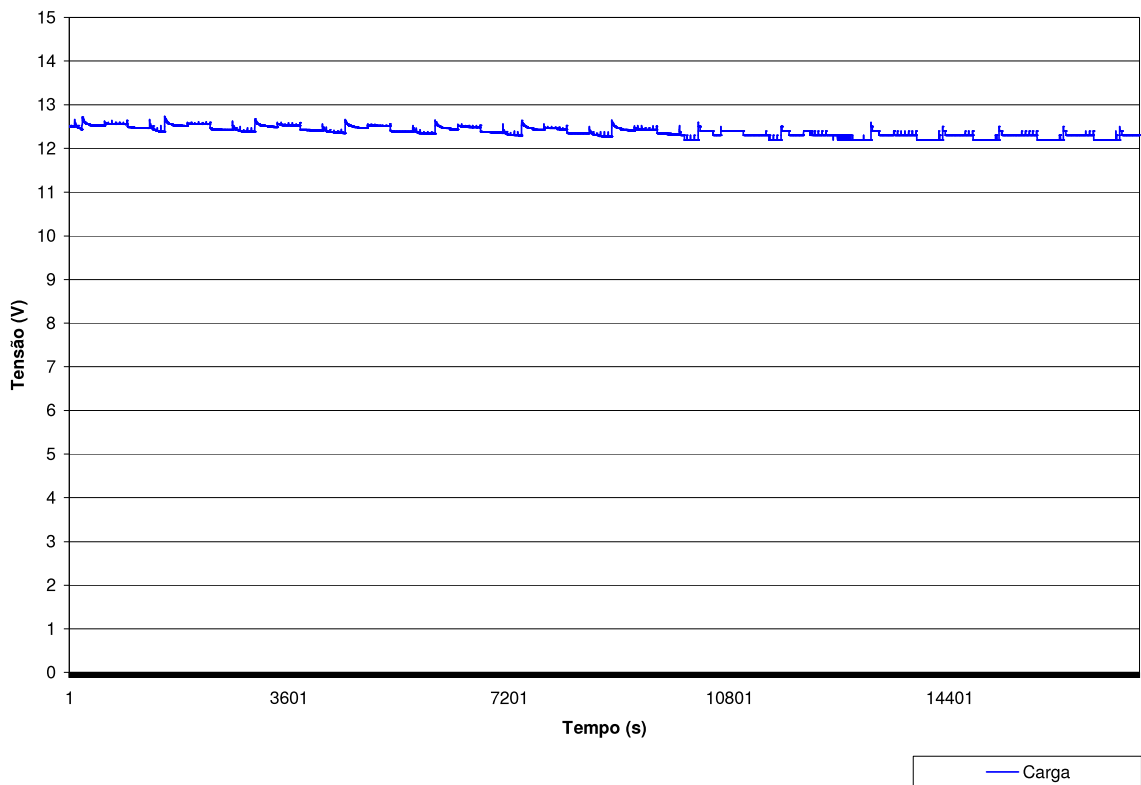


Figura 24 – Tensão aplicada à carga consumidora.

Observando-se a figura acima pode-se ver que a tensão aplicada à carga consumidora tem uma leve queda nas duas primeiras horas (7200s), mas no restante do tempo a tensão permanece constante, em torno de 12,2V. Isto pode ser eventualmente explicado pela heterogeneidade das baterias do banco, sendo requerido um determinado intervalo de tempo para haver a equalização da tensão. A equalização atingida em torno de 12,2V significa que todas as unidades estão com tensão superior. Se alguma bateria apresentar problemas para atingir 12V, a mesma é desconectada do banco até que aquele valor seja atingido.

As baterias, como já era esperado, apresentaram diferentes modos de carga que, além do fato de estarem com valores de tensão diferentes umas das outras também não tinham o mesmo tempo de uso, sendo nova apenas a bateria 3. Isto implica em um banco bastante heterogêneo, sendo isto muito interessante para testar o funcionamento do controlador de carga. Em relação ao suprimento de energia à carga consumidora, todas as baterias do banco tiveram capacidade de fornecimento.

Como pode ser visto na figura 25, os ciclos de recarga dos acumuladores, identificados pelas “cristas” onde a cada trinta segundos é feita uma leitura da tensão na bateria, por isso, observa-se rápidas e repentinas quedas de tensão, foram variados o que é normal e esperado em função de heterogeneidade do banco.

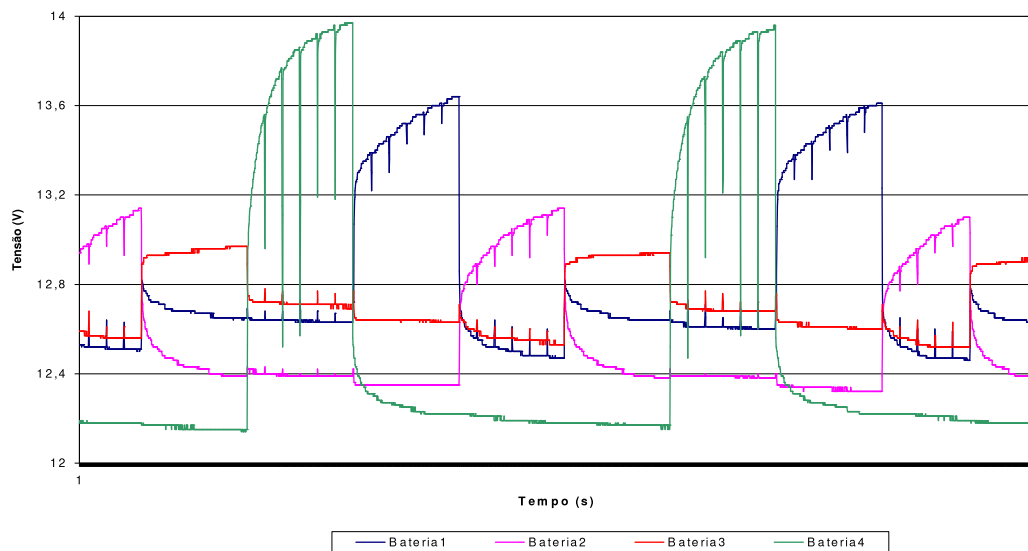


Figura 25 – Curva de carga das baterias do banco num intervalo de 30 min.

As baterias 1 e 4, que são as mais antigas e usadas demonstraram as suas deficiências em relação à alta impedância interna e a rápida descarga, no caso da bateria 4, bem mais acentuada que as demais componentes do banco. Na figura 25,

evidencia-se isto através da tensão aplicada no acumulador pela maior queda de tensão (“crista”), quando bateria 4 deixa de receber energia da fonte sua tensão apresenta-se bem inferior as demais baterias do banco. Já a bateria 2 em bom estado, demonstra uma razoável variação entre a tensão quando carregada e a tensão quando passa a fornecer energia a carga consumidora, a bateria três, por ser nova, não apresenta grande variação entre sua tensão quando na recarga ou no fornecimento, pode-se ver que mesmo quando esta é desconectada da fonte supridora para a avaliação de sua tensão, não ocorrem as rápidas e repentinas quedas de tensão.

Nas figuras 26, 27, 28 e 29 pode-se ver, separadamente, as tensões nos acumuladores 1, 2, 3 e 4.

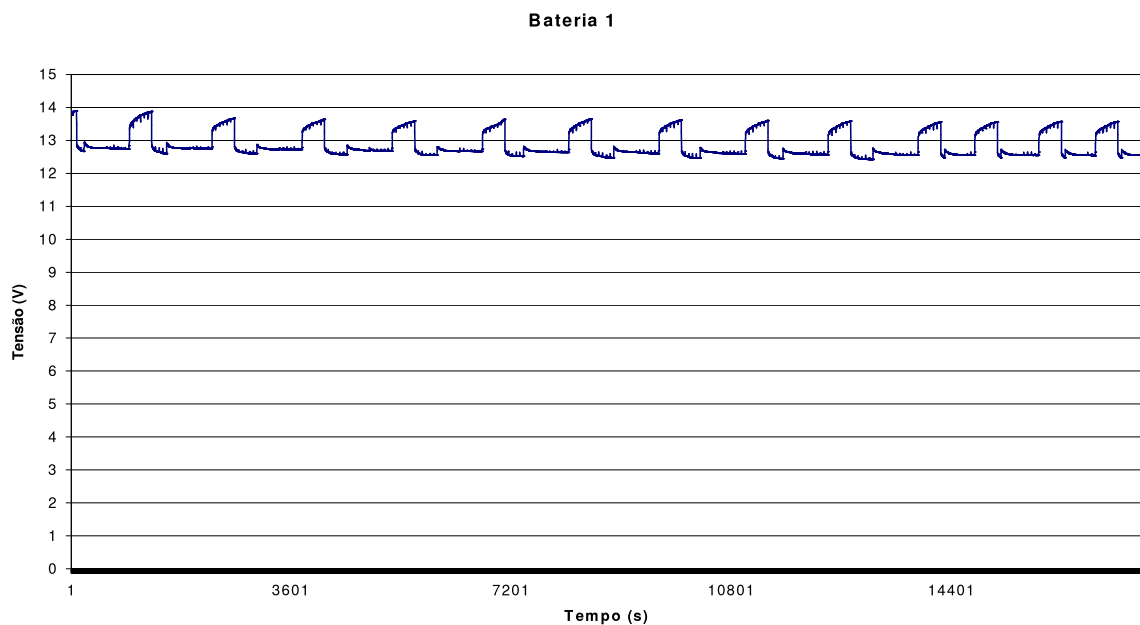


Figura 26 – Curva de carga da bateria 1.

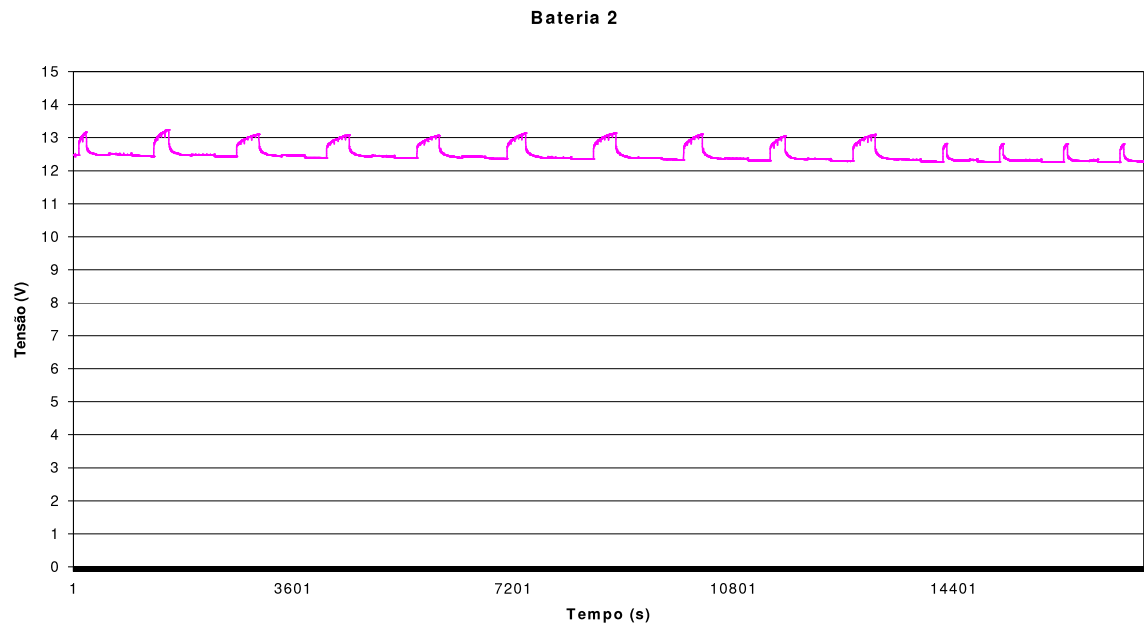


Figura 27 – Curva de carga da bateria 2.

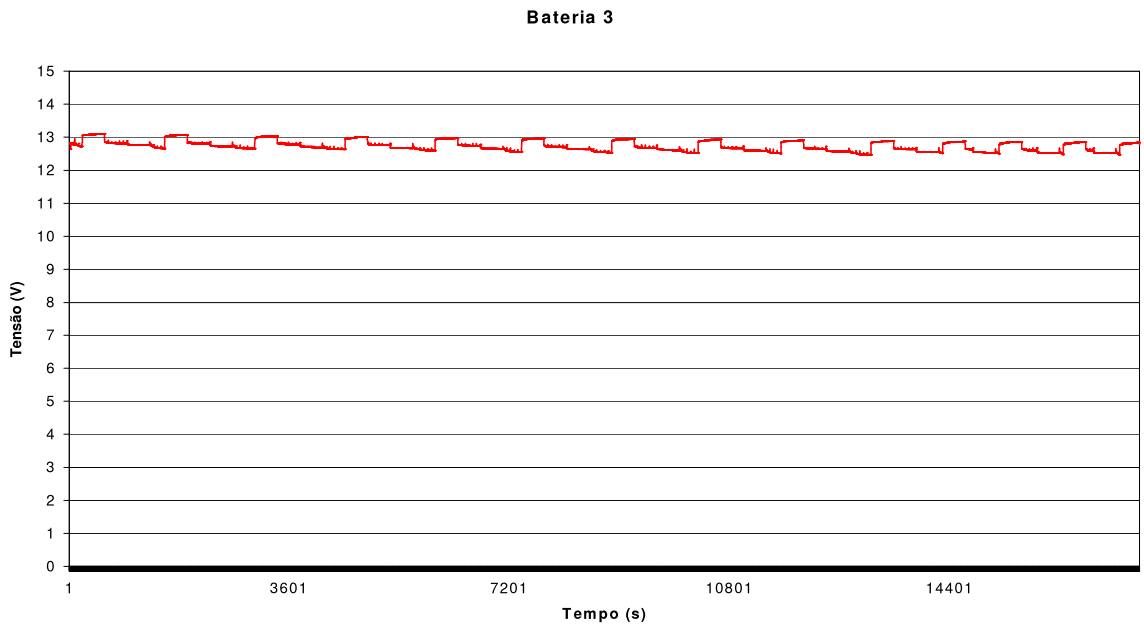


Figura 28 – Curva de carga da bateria 3.

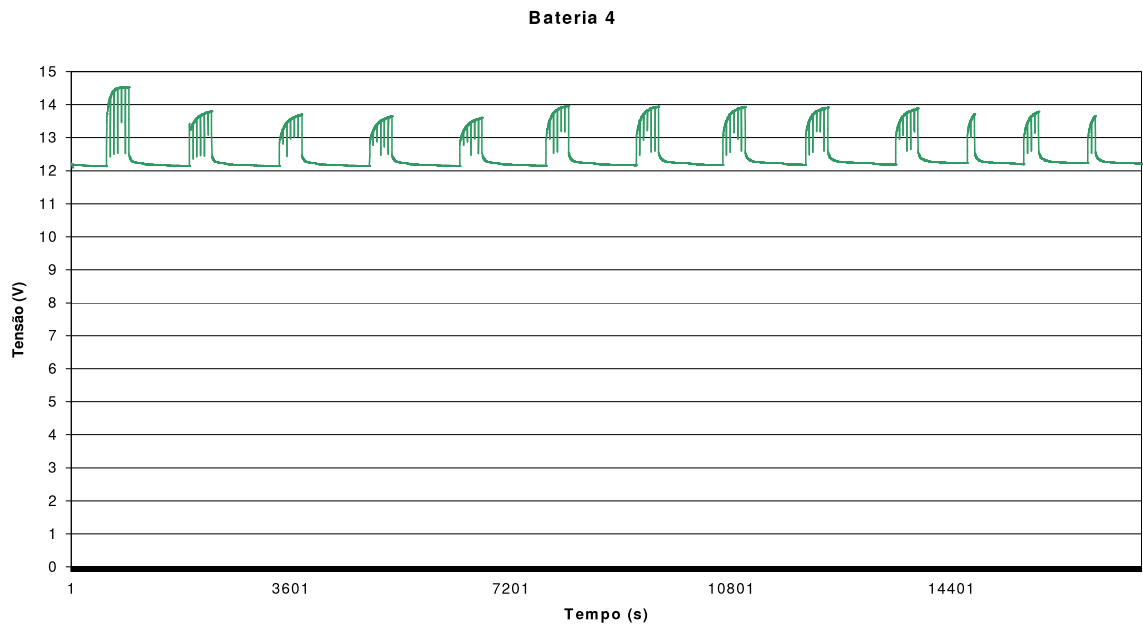


Figura 29 – Curva de carga da bateria 4.

Num panorama geral, demonstrado no gráfico da figura 30, a energia aplicada (parte superior do gráfico) e retirada (parte inferior do gráfico) dos acumuladores do banco monitorado pelo controlador de carga e descarga apresentou o comportamento esperado, sendo, então, isto um indicador de que o controlador realiza o que é proposto em relação ao controle de carga dos acumuladores e o tempo estimado para os ciclos de carga tem capacidade de realizar o que é previsto, ou seja, manter as baterias com carga equalizada, protege-las contra descarga profunda e sobrecarga.

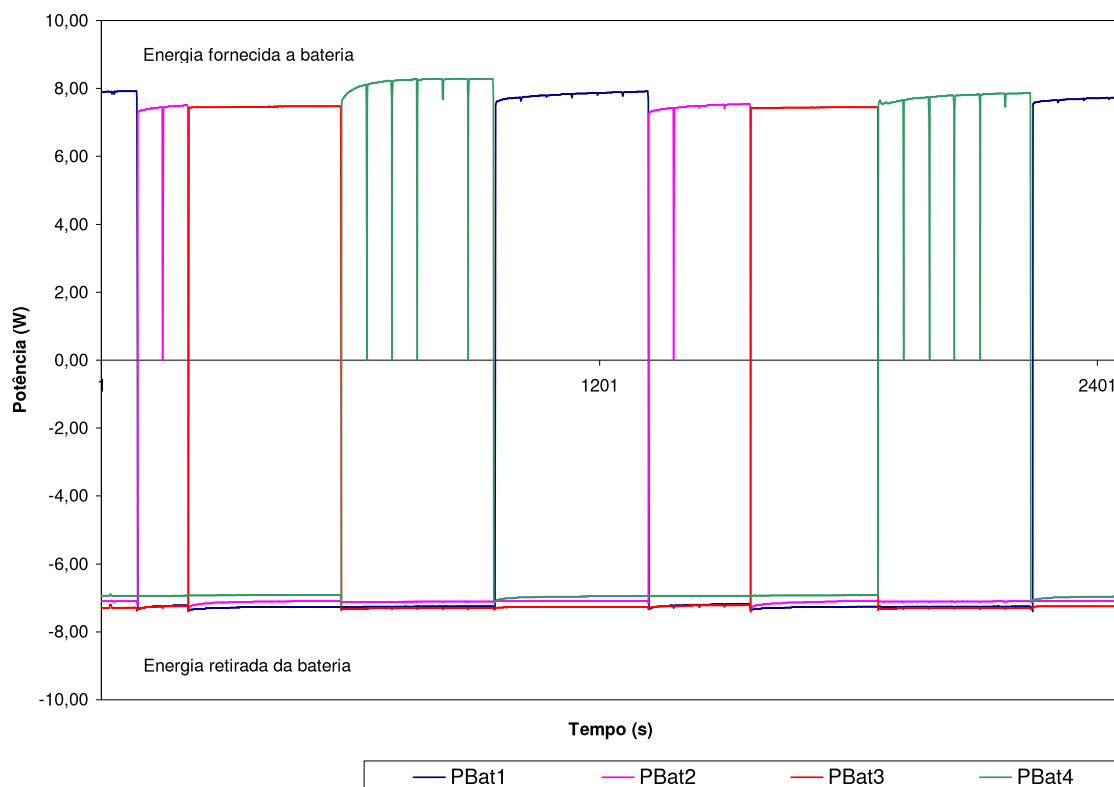


Figura 30 – Curva de potência nos acumuladores.

Na figura 30, pode-se visualizar que as baterias 2 e 3 recebem menos energia que as demais, devido ao seu bom estado de uso os ciclos de carga são menores que as outras duas baterias, que no período de testes não foi inferior a seis tentativas de 30s. Também é possível observar que as baterias em mau estado fornecem menos energia que as em bom estados, ou seja, estão se tornando carga para o sistema. Caso atinjam tensão inferior a 10V, serão desconectadas permanentemente, como aconteceu com posições de baterias 5 e 6, entradas onde não se conectou bateria, o controlador fez uma avaliação de sua tensão e elas não aparecem no ciclo de carga em nenhum momento.

4. CONCLUSÃO

A utilização de novas tecnologias em relação à produção e desenvolvimento dos acumuladores eletroquímicos busca aumentar a vida útil destes visto que a sua utilização está em plena expansão. Portanto, é necessário que se tenham, também, equipamentos que utilizem as baterias da maneira mais eficaz e racional possível. Neste contexto, o projeto aqui proposto foi desenvolvido, buscando dar sua contribuição à implantação de sistemas que utilizam baterias mais eficientes.

O Controlador de Carga e Descarga de Baterias foi construído, testado e verificou-se através de diferentes testes que o mesmo realiza todas as funções previstas.

Em relação aos testes realizados, tanto na bancada de montagem quanto com a inserção das baterias e carga consumidora, pôde-se concluir que este tipo de controlador é viável e pode ser utilizado em várias aplicações, não só em sistemas de fornecimento de energia com fonte fotovoltaica. O tempo arbitrado para os ciclos de carga e os princípios de avaliação de cada bateria que compõe o banco de maneira individual deram o retorno esperado, ou seja, cada unidade do banco foi mantida com tensão superior à tensão mínima de fornecimento.

As quatro baterias utilizadas nos testes, formaram um banco bem heterogêneo, dando uma importante contribuição para o trabalho, pois, pode-se observar que o controlador avaliou cada caso e fez a carga de acordo com o que foi necessário para cada acumulador estabelecer a tensão mínima de fornecimento. Também ficou comprovado pelos ensaios que, baterias em mal estado são prejudiciais ao banco, tornando-se consumidora da energia das demais e isto justifica e avaliza o controlador proposto, uma vez que este faria a desconexão do acumulador do banco se ele não tiver uma tensão mínima de fornecimento, podendo até a bateria ser descartada permanentemente (tensão inferior a 10V).

Contudo, seria importante inserir mais algumas funções no controlador, ou seja, alterações de hardware e software, no sentido de ajustar o nível de tensão aplicado às baterias na recarga, ampliar a faixa de utilização em relação a modelos de baterias e inserir dispositivo de segurança aos equipamentos. A seguir, estão listadas novas funções sugeridas para melhorar o desempenho do controlador.

- PWM, para regular a tensão da fonte de fornecimento, tanto na recarga quanto no fornecimento de tensão de flutuação às baterias;
- Um controle externo da corrente aplicada ao acumulador, com patamares definidos para baterias de diferentes capacidades; e
- A inserção de um controle de corrente na saída dos relés para a carga, a fim de limitar a corrente, como proteção para os relés.

Com o acréscimo destas funções, o projeto estaria com as características dos controladores mais modernos existentes no mercado, além da capacidade de avaliar individualmente as baterias do banco.

Além disso, como o projeto traz um conceito diferente em relação a controladores de carga e descarga de baterias, no que diz respeito à avaliação de forma individual das baterias que formam um determinado banco (e não como um todo, como é feito pelos controladores disponíveis no mercado), é necessário um período de testes considerável a fim de verificar eficácia do equipamento. Isto demanda investimento para a aquisição de painéis solares ou outra fonte, de acumuladores e outros acessórios que viabilizem testes em monitoramento contínuo e, com este intuito, o projeto foi enviado ao CNPq com solicitação de recursos necessários.

Finalmente, salienta-se que o assunto deste projeto não se esgota com a finalização deste trabalho: há muitas oportunidades de melhoria, como acima mencionado, que eventualmente possibilitariam elevar a vida útil de baterias e, conseqüentemente, a redução de custos. E o fato de ser um conceito voltado para o suprimento de energia elétrica, especialmente, para sistemas isolados, deveria ser motivo suficiente para que novos esforços sejam implementados no sentido de promover o suprimento de energia em regiões não eletrificadas.

5. BIBLIOGRAFIA

ANEEL. *Universalização: Resolução Nº223, de 29 de abril de 2003*. URL: www.aneel.gov.br. Acessado em maio de 2004.

BOTTURA, Celso Pascoli. BARRETO, Gilmar. *Veículos Elétricos*. Campinas: Ed. Unicamp, 1989. p.286.

BOYLESTAD, Robert, NASHELSKY, Louis. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. 6 ed. Rio de Janeiro : Prentice Hall, 1998. p. 649.

CEMPRE. *Fichas técnicas - baterias*. URL: http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_baterias.php. Acessado em junho de 2004.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. URL: <http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm>. Acessado em novembro de 2004.

DELPHI. *Delphi Freedom - Baterias estacionárias para sistemas de reserva de energia*. Catálogo técnico Delphi Automotive Systems. São Caetano do Sul, SP. 2002.

DOEBBER, Nádia Gomes. *Energização Residencial Rural: Estudo Comparativo entre Sistema Elétrico Convencional e Solar Fotovoltaico*. TCC, Engenharia Agrícola Ulbra. Canoas: 1999. p. 75.

ELEKTOR ELECTRONICS. Elektor Electronics 11/2004. UK:2004.

EWEA - EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. *Wind Energy, Technology and Implementation*. Proceedings of Amsterdam EWEC'91, Part II. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 205.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. *Energia e o Meio Ambiente*. São Paulo: Ed. Thomson, 2003. p. 543.

LANDER, Caryl W. *Eletrônica industrial : teoria e aplicações*. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1997. p. 647.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. *Handbook of Batteries*. 3º ed. New York: McGraw-Hill Companies, Inc. 2002.

MICROCHIP. *Data Sheet microprocess. PIC16F877*. URL: <http://www.microchip.com/1010/pline/picmicro/category/embctrl/8kbytes/devices/16f877/index.htm>. Acessado em setembro de 2004.

MORNINGSTAR INC. URL: http://www.morningstarcorp.com/our_advantage/index.shtml. Acessado em novembro de 2004.

MOURA. *Moura Clean - tire suas dúvidas*. URL: <http://www.moura.com.br>. Acessado em junho de 2004.

PALZ, Wolfgang. *Energia solar e fontes alternativas*. São Paulo : Hemus, 1995. p.358.

PEREIRA, Fábio. *Microcontroladores PIC: Programação em C*. São Paulo: Érica, 2003. p. 358.

ROSAS, Pedro A. Carvalho. ESTANQUEIRO, Ana Isabel. *Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas*. Recife: Centro Brasileiro de Energia Eólica, 2003. p. 63.

SANTOS, João Carlos Verneti dos. *Sistemas fotovoltaicos para suprimento descentralizado de energia - critérios de dimensionamento e requisitos sobre dados de radiação solar e de demanda de energia*. Logos -- Vol. 10, n. 1, (maio 1998). p. 18-32.

SCHILDT, Herbert. *C, Completo e Total*. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1990. p. 889.

SEMC – SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E COMUNICAÇÕES DO RS. URL: <http://www.semc.rs.gov.br>. Acessado em novembro de 2004.

SOUZA, David José de. *Desbravando o PIC*. São Paulo : Érica, 2000. p.200.

ANEXOS

Anexo 1 – Software principal

```

/*PROGRAMA PRINCIPAL DO CONTROLADOR DE CARGA E DISCARGA DE BATERIAS*/
//
#include <16f877.h>
// Configura o compilador para conversor A/D de 10 bits
#define adc=10
#define delay(clock=4000000)
//fuses NOWDT, HS , PUT, NOPROTECT, NOBROWNOUT, LVP, NOCPD, NOWRT, NODEBUG
#include <regs_16f87x.h>
#include <mod_lcd2.c>
#include <adc_RA0_RA3.c>
#include <carga_bateria4.c>

void main(void)
{

    float Tensao_bateria32, Tensao_fonte32;
    int n=1, t=0; // n=bateria número; t=tentativas de recarga
    int tensao_max=14, tensao_min=10;
    lcd_ini();
    setup_ADC_ports (AN0_AN1_AN3);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_tris_b(0b00000000);
    set_tris_c(0b00000000);
    set_tris_d(0b00000000);
    set_tris_e(0b00000000);

    inicio();

    delay_ms(500);

    //-----

    while (true)
    {

        if (n<=6)
        {
            t=0;

volta;;

            lcd_escreve ("\f"); // apaga o display

            Tensao_fonte32 = Vfonte();

            printf (lcd_escreve,"V fonte= %2.1fV T",Tensao_fonte32); // escreve valor da tensão da fonte no LCD

            delay_ms (10); // aguarda 10ms

            lcd_escreve ("\r"); // cursor do LCD passa para segunda linha

```

```

Tensao_bateria32 = carga_bateria(n);
if (Tensao_bateria32>tensao_min)
{
    printf (lcd_escreve,"V Bat %d= %2.1fV %d", n, Tensao_bateria32, t);
} else
{
    printf (lcd_escreve,"Sem Bateria %d",n);
    n++;
    delay_ms(100);
    if (n>6) n=1;
    goto volta;
}

delay_ms (100); // aguarda 100ms

if (Tensao_fonte32<15)          //fonte não tem capacidade de fornecer, não há recarga
{
    n++;
    goto volta;
}

if (Tensao_bateria32<Tensao_max)    //se V bateria < V max, inicia-se a carga
{
    carrega_bateria_n(n);
    t++;
    if (p<6)
    {
        goto volta;
    }
    if (Tensao_bateria32>11) reconecta_bateria (n);
    } else reconecta_bateria (n);
}

else n=0;
n++;
}
}

```

Anexo 2 – Sub-Rotina Monitora Fonte

```
// prog para fazer a leitura do valor de tensão da fonte //
//-----//

long int Vfonte (void)
{

long int Tensao_fonte, Tensao_ref=15, Tensao_fonte32, Tensao_fonteP, Tensao_fonteS, VFP,q=1;
//Tensao_fonteP e S, são as das fontes primária e secundária, respectivamente.

init;;

    set_adc_channel(0);          //lê porta RA0 – fonte principal
    delay_us(25);

        // valor lido: resultado = (5000 * (Tensao_fonte + 1)) / 1024
        // simplificando: resultado = (Tensao_fonte + 1) * 4 + ((Tensao_fonte + 1) * 113) / 128

        Tensao_fonte = read_adc();          // efetua a conversão A/D

        if (Tensao_fonte) Tensao_fonte += 1;
        Tensao_fonte32 = Tensao_fonte * 4 + ((int32)Tensao_fonte * 113)/128;
        Tensao_fonteP = 19*Tensao_fonte32 / 4;
        delay_ms (3);


    set_adc_channel(3);          //lê porta RA3 – fonte secundária
    delay_us(25);

        Tensao_fonte = read_adc();          // efetua a conversão A/D

        if (Tensao_fonte) Tensao_fonte += 1;
        Tensao_fonte32 = Tensao_fonte * 4 + ((int32)Tensao_fonte * 113)/128;
        Tensao_fonteS = 19*Tensao_fonte32 / 4;
        delay_ms (3);

    VFP= 11*Tensao_fonteP/10;
    if (Tensao_fonteS>VFP)
    {
        output_high (PIN_A2);
        Tensao_fonte32 = Tensao_fonteS;
    } else
    {
        output_low (PIN_A2);
        Tensao_fonte32 = Tensao_fonteP;
    }

    if (Tensao_ref>Tensao_fonte32 && q>10)
    {
        q++;
        goto init;
    }
    return (Tensao_fonte32);

}
```

Anexo 3 – Sub-rotina Monitora Bateria

```

long int monitora_bateria(int n)          //lê a tensão da bateria n e seta os pinos para a recarga
{
    long int Tensao_bateria , Tensao_bateria32 ;

    switch(n)          //seleção da bateria avaliada
    {
        case 1:
            output_low(PIN_B2);
            output_C(0xf4);
            break;

        case 2:
            output_low(PIN_B3);
            output_C(0xf6);
            break;

        case 3:
            output_low(PIN_B4);
            output_C(0xf8);
            break;

        case 4:
            output_low(PIN_B5);
            output_C(0xfa);
            break;

        case 5:
            output_low(PIN_B6);
            output_C(0xfc);
            break;

        case 6:
            output_low(PIN_B7);
            output_C(0xfe);
            break;
    }

    init;;
    delay_ms (100);      //tempo para estabilizar a tensão

    set_adc_channel(1);      //lê porta RA1 - Bateria n
    delay_us(25);

    Tensao_bateria = read_adc(); // efetua a conversão A/D

    if (Tensao_bateria) Tensao_bateria += 1;
    Tensao_bateria 32 = Tensao_bateria * 4 + ((int32)Tensao_bateria * 113)/128;
    Tensao_bateria32 = 19*Tensao_bateria32 / 4;
    delay_ms (3);

    return (tensao_bateria32);
}

```

Anexo 4 – Sub-rotina Carrega Bateria

```
void carrega_bateria_n(int n)
{
    switch(n)                //seleção da bateria carregada
    {
        case 1:
            output_high(PIN_D2);    //habilita mosfet
            seg_30();               //tempo de carga
            output_low(PIN_D2);
            break;

        case 2:
            output_high(PIN_D3);
            seg_30();
            output_low(PIN_D3);
            break;

        case 3:
            output_high(PIN_D4);
            seg_30();
            output_low(PIN_D4);
            break;

        case 4:
            output_high(PIN_D5);
            seg_30();
            output_low(PIN_D5);
            break;

        case 5:
            output_high(PIN_D6);
            seg_30();
            output_low(PIN_D6);
            break;

        case 6:
            output_high(PIN_D7);
            seg_30();
            output_low(PIN_D7);
            break;
    }
}
```

Anexo 5 – Sub-rotina Re-conecta Bateria

```
int reconecta_bateria (int n)
{
    switch (n)
    {
        case 1:
            output_high (PIN_B2);
            break;
        case 2:
            output_high (PIN_B3);
            break;
        case 3:
            output_high (PIN_B4);
            break;
        case 4:
            output_high (PIN_B5);
            break;
        case 5:
            output_high (PIN_B6);
            break;
        case 6:
            output_high (PIN_B7);
            break;
    }
}
```

Anexo 6 – Demais Sub-rotinas utilizadas no programa

Habilita todas baterias para fornecimento de energia ao consumidor

```
void inicio()
{
    output_low (PIN_D2);
    output_low (PIN_D3);
    output_low (PIN_D4);
    output_low (PIN_D5);
    output_low (PIN_D6);
    output_low (PIN_D7);

    output_high (PIN_B2);
    output_high (PIN_B3);
    output_high (PIN_B4);
    output_high (PIN_B5);
    output_high (PIN_B6);
    output_high (PIN_B7);
}
```

Rotina de tempo = 30s.

```
void seg_30(void)          //rotina de tempo=30s
//delay de 30s
{
    int tempo;
    for (tempo=0;tempo<30;++tempo)
    {
        delay_ms(1000);
    }
}
```

Rotina do LCD.

```
/******
/* MOD_LCD.C - Biblioteca de manipulação de módulo LCD */
/*
/* Autor: Fábio Pereira */
/*
/******

// As definições a seguir são utilizadas para acesso aos pinos do display
// caso o pino RW não seja utilizado, comente a definição lcd_rw
#ifndef lcd_enable
    #define lcd_enable    PIN_E1          // pino enable do LCD
    #define lcd_rs        PIN_E0          // pino rs do LCD
    //#define lcd_rw      PIN_E2          // pino rw do LCD
    #define lcd_d4         pin_c4 //PIN_C4      // pino de dados d4 do LCD
    #define lcd_d5         pin_c5 //PIN_C5      // pino de dados d5 do LCD
    #define lcd_d6         pin_c6 //PIN_C6      // pino de dados d6 do LCD
    #define lcd_d7         pin_c7 //PIN_C7      // pino de dados d7 do LCD
#endif

#define lcd_type 2          // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 linhas
#define lcd_seg_lin 0x40    // Endereço da segunda linha na RAM do LCD

// a constante abaixo define a sequência de inicialização do módulo LCD
```

```
byte CONST INI_LCD[4] = {0x20 | (lcd_type << 2), 0xf, 1, 6};
```

```
byte lcd_le_byte()
// lê um byte do LCD (somente com pino RW)
{
    byte dado;
    // configura os pinos de dados como entradas
    input(lcd_d4);
    input(lcd_d5);
    input(lcd_d6);
    input(lcd_d7);
    // se o pino rw for utilizado, coloca em 1
    #ifdef lcd_rw
        output_high(lcd_rw);
    #endif
    output_high(lcd_enable); // habilita display
    dado = 0; // zera a variável de leitura
    // lê os quatro bits mais significativos
    if (input(lcd_d7)) bit_set(dado,7);
    if (input(lcd_d6)) bit_set(dado,6);
    if (input(lcd_d5)) bit_set(dado,5);
    if (input(lcd_d4)) bit_set(dado,4);
    // dá um pulso na linha enable
    output_low(lcd_enable);
    output_high(lcd_enable);
    // lê os quatro bits menos significativos
    if (input(lcd_d7)) bit_set(dado,3);
    if (input(lcd_d6)) bit_set(dado,2);
    if (input(lcd_d5)) bit_set(dado,1);
    if (input(lcd_d4)) bit_set(dado,0);
    output_low(lcd_enable); // desabilita o display
    return dado; // retorna o byte lido
}
```

```
void lcd_envia_nibble( byte dado )
// envia um dado de quatro bits para o display
{
    // coloca os quatro bits nas saidas
    output_bit(lcd_d4,bit_test(dado,0));
    output_bit(lcd_d5,bit_test(dado,1));
    output_bit(lcd_d6,bit_test(dado,2));
    output_bit(lcd_d7,bit_test(dado,3));
    // dá um pulso na linha enable
    output_high(lcd_enable);
    output_low(lcd_enable);
}
```

```
void lcd_envia_byte( boolean endereco, byte dado )
{
    // coloca a linha rs em 0
    output_low(lcd_rs);
    // aguarda o display ficar desocupado
    //while ( bit_test(lcd_le_byte(),7) );
    // configura a linha rs dependendo do modo selecionado
    output_bit(lcd_rs,endereco);
    delay_us(100); // aguarda 100 us
    // caso a linha rw esteja definida, coloca em 0
    #ifdef lcd_rw
        output_low(lcd_rw);
    #endif
    // desativa linha enable
    output_low(lcd_enable);
    // envia a primeira parte do byte
    lcd_envia_nibble(dado >> 4);
    // envia a segunda parte do byte
    lcd_envia_nibble(dado & 0x0f);
}
```

```
void lcd_ini()
// rotina de inicialização do display
{
    byte conta;
    output_low(lcd_d4);
    output_low(lcd_d5);
    output_low(lcd_d6);
    output_low(lcd_d7);
```



```

        output_low(lcd_rs);
        #ifdef lcd_rw
            output_high(lcd_rw);
        #endif
        output_low(lcd_enable);
        delay_ms(15);
        // envia uma seqüência de 3 vezes 0x03
        // e depois 0x02 para configurar o módulo
        // para modo de 4 bits
        for(conta=1;conta<=3;++conta)
        {
            lcd_envia_nibble(3);
            delay_ms(5);
        }
        lcd_envia_nibble(2);
        // envia string de inicialização do display
        for(conta=0;conta<=3;++conta) lcd_envia_byte(0,INI_LCD[conta]);
    }

void lcd_pos_xy( byte x, byte y)
{
    byte endereco;
    if(y!=1)
        endereco = lcd_seg_lin;
    else
        endereco = 0;
    endereco += x-1;
    lcd_envia_byte(0,0x80|endereco);
}

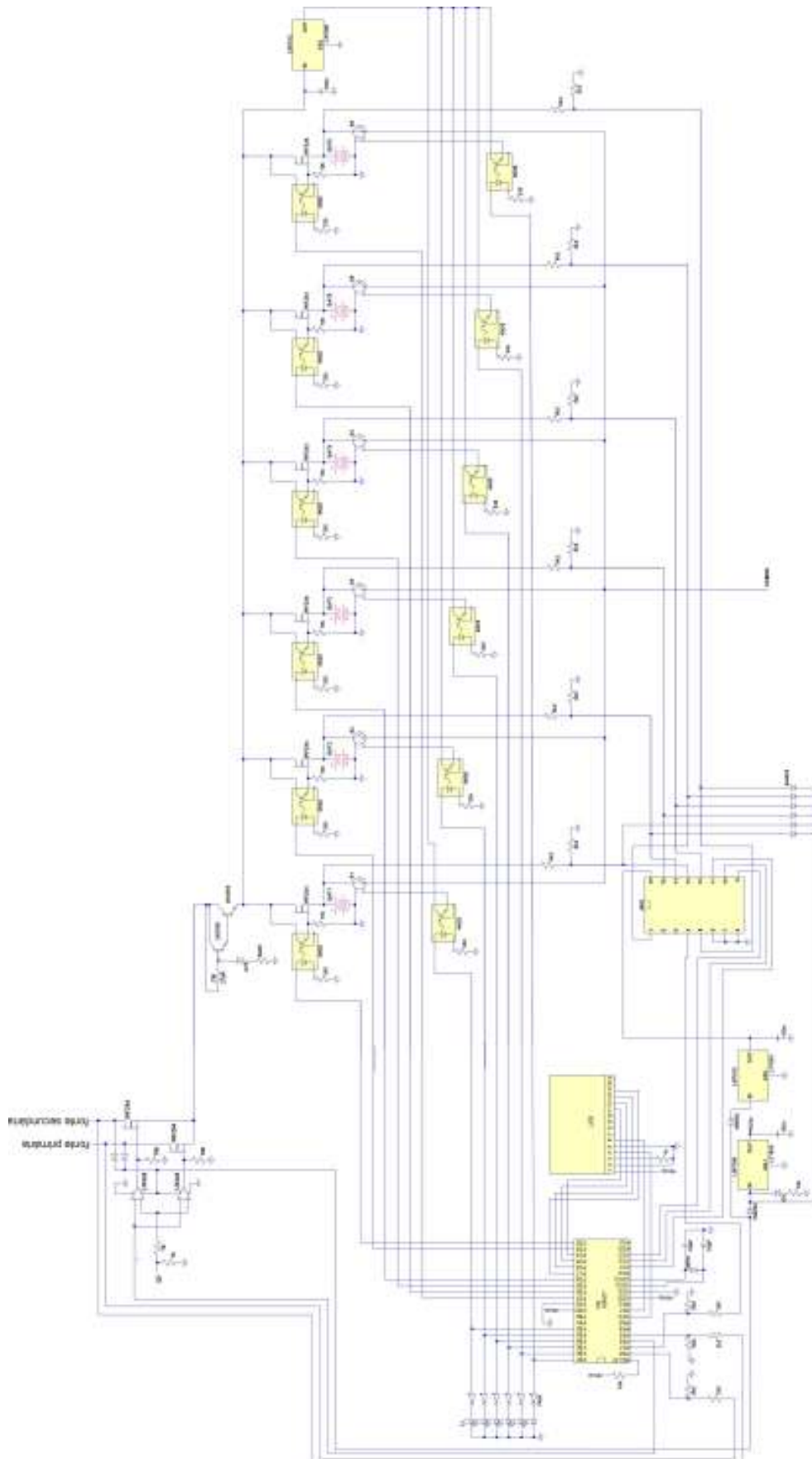
void lcd_escreve( char c)
// envia caractere para o display
{
    switch (c)
    {
        case '\f' :
            lcd_envia_byte(0,1);
            delay_ms(2);
            break;

        case '\n' :
            lcd_pos_xy(1,2);
            break;
        case '\r' :
            lcd_pos_xy(1,2);
            break;
        case '\b' :
            lcd_envia_byte(0,0x10);
            break;
        default:
            lcd_envia_byte(1,c);
            break;
    }
}

char lcd_le( byte x, byte y)
// lê caractere do display
{
    char valor;
    // seleciona a posição do caractere
    lcd_pos_xy(x,y);
    // ativa rs
    output_high(lcd_rs);
    // lê o caractere
    valor = lcd_le_byte();
    // desativa rs
    output_low(lcd_rs);
    // retorna o valor do caractere
    return valor;
}

```

Anexo 7 – Esquema Elétrico do Controlador de Carga e Descarga de Baterias



Controlador de carga e descarga para acumuladores
eletroquímicos de energia.

Autor: André Luis Bianchi

Data: 11/2004.

Anexo 8 – Gráfico de tensão total nas baterias no período de testes

