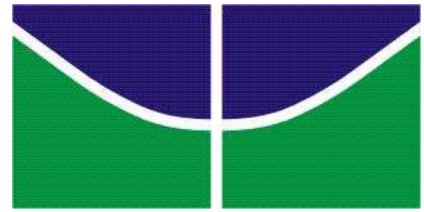


Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Relatório de Projeto Final 2



# Projeto da fonte de alimentação para o nó remoto do Sistema de Controle de Irrigação (SCI)

Aluno: Marcelo Augusto Gozzer Viegas  
Matrícula: 98/07934  
Período: 2º/2003

Orientador: Prof. José Camargo da Costa.

# Sumário

<a href="#">Lista de Tabelas, Figuras e Gráficos.....</a>	<a href="#">1</a>
<a href="#">1. Introdução.....</a>	<a href="#">3</a>
1.1. Visão geral sobre o Sistema de Controle de Irrigação – SCI.....	3
1.2. Objetivos do presente projeto.....	5
<a href="#">2. Especificações.....</a>	<a href="#">7</a>
2.1. Alimentação do nó remoto.....	7
2.1.1. Autonomia.....	7
2.1.2. Consumo.....	7
2.1.3. Confiabilidade.....	7
2.1.4. Temperatura e Umidade.....	8
2.2. Solução proposta no projeto milênio.....	8
2.2.1. Baterias.....	8
2.2.2. Painel Solar.....	8
2.2.3. Carregador.....	9
2.2.4. Regulador.....	9
<a href="#">3. Metodologia de projeto.....</a>	<a href="#">10</a>
3.1. Passos para a realização do projeto.....	10
3.2. Análise das especificações.....	11
3.2.1. Análise das Baterias [43].....	11
3.2.2. Análise do Pannel Solar – Células Solares.....	12
3.3. Escolha dos componentes.....	21
3.3.1. Escolha da bateria.....	21
3.3.2. Escolha do painel solar.....	24
3.3.3 Escolha do diodo de proteção.....	27
3.3.4 Escolha dos reguladores.....	28
3.4. Topologias de circuito.....	31
3.4.1. Modelo usando um LM317 e um regulador multisaída.....	31
3.4.2. Modelo usando microprocessador MAX639 [40].....	32
3.4.3. Modelo usando microprocessador PIC16C711 [8].....	33
3.4.4. Modelo usando um LM317 e três LP3982.....	34
3.4.5. Modelo usando um LM317, três reguladores LP2985 saída fixa e um regulador LP2983 saída fixa.....	35
<a href="#">4. Projeto do sistema de alimentação.....</a>	<a href="#">37</a>
4.1. Projeto idealizado.....	37
4.2. Projeto realizado.....	39
<a href="#">5. Testes Realizados.....</a>	<a href="#">44</a>
5.1. Instrumentação.....	45
5.2. Componentes.....	47
5.2.1 Pilhas.....	47
5.2.2 Resistores e diodos.....	50
5.2.3 Reguladores.....	51
5.3. Sistema.....	54
5.3.1. Autonomia do circuito.....	54
5.3.2. Simulação de dia e noite.....	55
<a href="#">6. Resultados e Discussão.....</a>	<a href="#">57</a>
6.1 Resultado do teste de instrumentação.....	57
6.1.1 Teste dos multímetros.....	57
6.1.2 Teste das décadas resistivas.....	58
6.2 Resultados dos testes das pilhas.....	58
6.2.1. Primeiro teste de descarga lenta a 60 mA.....	59
6.2.2. Segundo teste de descarga lenta a 60 mA.....	60
6.2.3. Primeiro teste de carga lenta a 60 mA.....	61
6.2.4. Primeiro teste de carga rápida a 600 mA.....	62
6.2.5. Segundo teste de carga rápida a 600 mA.....	64
6.2.6. Terceiro teste de descarga lenta a 60 mA.....	65
6.2.7. Quarto teste de descarga lenta a 60 mA.....	66
6.2.8. Teste de carga lenta a 30 mA.....	67
6.3 Resultados dos testes dos resistores e diodos.....	68
6.4 Resultados dos testes dos reguladores.....	69

6.4.1. Verificação dos parâmetros dos reguladores.....	69
6.4.2. Diferença entre Vin e Vout.....	71
6.4.3. Minimizando a corrente de fuga.....	72
6.5 Resultados dos testes do circuito.....	78
6.5.1. Primeiro teste de autonomia.....	78
6.5.2. Segundo teste de autonomia.....	80
6.5.3. Teste “dia” e “noite”.....	81
<a href="#"><u>7. Conclusão.....</u></a>	<a href="#"><u>83</u></a>
<a href="#"><u>8. Bibliografia.....</u></a>	<a href="#"><u>85</u></a>
<a href="#"><u>9. Anexos.....</u></a>	<a href="#"><u>92</u></a>
9.1 Anexo 1 – Datasheet LM317.....	92
9.2 Anexo 2 – Datasheet GPBatteries GP-60AAS.....	93
9.3 Anexo 3 – Datasheet LP2985.....	94
.....	95
9.4 Anexo 4 – Datasheet LP2983.....	96

## Lista de Tabelas, Figuras e Gráficos

---

Figura 1.1 – Visão esquemática da cobertura de uma área irrigada, por meio de um arranjo de nós, associado a uma Estação de Campo.....	5
Figura 1.2 – Esquemático do sistema da fonte de alimentação.....	6
Figura 3.1 – Passos para a realização do projeto.....	10
Tabela 3.1 – Comparativo entre tecnologias de baterias.....	11
Figura 3.2 - Circuito equivalente simplificado de uma célula solar.....	14
Figura 3.3 - a) Curvas I-V para as células solares b) Célula solar com o diodo.....	16
Figura 3.4 - Diagrama de circuito para uma célula solar real.....	17
Figura 3.5 - Dependência da temperatura nas curvas I-V.....	19
Figura 3.6 a) Mudança do ângulo da luz incidente b) Dependência da potência no ângulo de incidência solar.....	20
Tabela 3.2- Principais características da bateria modelo KR-AAH.....	22
Tabela 3.3- Principais características da bateria modelo N-600AAK.....	22
Tabela 3.4- Principais características da bateria modelo VT-AA.....	22
Tabela 3.5 - Principais características da bateria modelo GP70AAST.....	23
Tabela 3.6 - Principais características da bateria modelo AA-800H.....	23
Tabela 3.7 - Principais características da bateria modelo D-AA-700H.....	23
Tabela 3.8 – Dados para a cidade de São Paulo.....	24
Tabela 3.9 – Especificações das células solares da Canrom Photovoltaics.....	25
Tabela 3.10 – Especificações das células solares da Plastecs.....	25
Tabela 3.11 – Especificações das células solares da Quark.....	25
Tabela 3.12 – Especificações das células solares da Silicon Solar.....	26
Tabela 3.13 – Especificações das células solares da AstroPower.....	26
Tabela 3.14 – Especificações das células solares da EspectroLab.....	26
Tabela 3.15 – Especificações das células solares da Shell.....	26
Tabela 3.16 – Especificações das células solares da Atlantic Solar.....	27
Tabela 3.17 - Especificações do painel solar necessário.....	27
Tabela 3.18 - Principais características do diodo modelo 1N5818.....	28
Figura 3.7 – Utilização do diodo de proteção.....	28
Tabela 3.19 - Principais características do regulador modelo LP2986.....	29
Tabela 3.20 - Principais características do regulador modelo LP2980.....	29
Tabela 3.21 - Principais características do regulador modelo LP2980-ADJ.....	30
Tabela 3.22 - Principais características do regulador modelo LP2951.....	30
Tabela 3.23 - Principais características do regulador modelo LP2983.....	30
Tabela 3.24 - Principais características do regulador modelo LP2985.....	30
Tabela 3.25 - Principais características do regulador modelo ADP3308.....	31
Figura 3.8 – Modelo utilizando um LM317 e um regulador multisaída.....	32
Figura 3.9 – Modelo utilizando um microprocessador MAX639.....	33
Figura 3.10 – Modelo utilizando um microprocessador PIC16C711.....	34
Figura 3.11 – Modelo utilizando um LM317 e três LP3982.....	35
Figura 3.12 – Modelo utilizando um LM317 e quatro reguladores de saída fixa.....	36
Tabela 3.26 - Principais diferenças entre os principais modelos.....	36
Tabela 4.1 – Reguladores escolhidos para o projeto.....	37
Figura 4.1 – Circuito idealizado para o projeto de irrigação.....	39
Tabela 4.2 – Valores de R2 para fornecer a tensão de saída.....	41
Tabela 4.3 – Valores da carga para cada um dos reguladores.....	41
Figura 4.2 – Circuito realizado para testes.....	42
Figura 4.3 – Circuito implementado no laboratório.....	43
Figura 5.1 – Equipamentos utilizados no laboratório.....	45
Figura 5.2 – Aferição do amperímetro.....	46
Figura 5.3 – Aferição do voltímetro.....	46
Figura 5.4 – Aferição da década resistiva.....	46
Figura 5.5 – Teste de carga a 60 mA para uma pilha.....	47
Figura 5.6 – Teste de carga a 60 mA para quatro pilhas.....	48
Figura 5.7 – Teste de carga a 30 mA para quatro pilhas.....	48
Figura 5.8 – Teste de descarga a 60 mA para uma pilha.....	49

Figura 5.9 – Teste de descarga a 60 mA para quatro pilhas.....	49
Figura 5.10 – Teste de carga a 600 mA para uma pilha.....	50
Figura 5.11 – Teste de carga a 600 mA para quatro pilhas.....	50
Figura 5.12 – Teste dos diodos.....	51
Figura 5.13 – Teste dos resistores.....	51
Figura 5.14 – Teste da corrente do regulador.....	52
Figura 5.15 – Teste da tensão de saída do regulador.....	52
Figura 5.16 – Teste da corrente quiescente do regulador.....	53
Figura 5.17 – Teste de minimização da corrente de fuga.....	54
Figura 5.18 – Teste de autonomia do circuito.....	55
Figura 5.19 – Simulação de “dia” e “noite”.....	56
Tabela 6.1 – Leitura indicada pelo voltímetro.....	58
Tabela 6.2 – Leitura indicada pelo amperímetro.....	58
Tabela 6.3 – Resistências aferidas pelo multímetro.....	58
Tabela 6.4 – Condições do primeiro teste de descarga lenta a 60 mA.....	59
Tabela 6.5 – Resultados do primeiro teste de descarga lenta a 60 mA.....	59
Tabela 6.6 – Tensões nas baterias.....	60
Tabela 6.7 – Condições do segundo teste de descarga lenta a 60 mA.....	60
Tabela 6.8 – Resultados do segundo teste de descarga lenta a 60 mA.....	60
Tabela 6.9 – Condições do primeiro teste de carga lenta a 60 mA.....	61
Tabela 6.10 – Resultado do primeiro teste de carga lenta a 60 mA.....	61
Tabela 6.11 – Tensão final das baterias 3A, 3B, 3C e 3D.....	62
Tabela 6.12 – Condições do primeiro teste de carga rápida a 600 mA.....	62
Tabela 6.13 – Resultados do primeiro teste de carga rápida a 600 mA.....	63
Gráfico 6.1 – Resultado do primeiro teste de carga rápida a 600 mA.....	63
Tabela 6.14 – Tensão final das baterias 1A, 1B, 1C e 2A.....	64
Tabela 6.15 – Condições do segundo teste de carga rápida a 600 mA.....	64
Tabela 6.16 – Resultados do segundo teste de carga rápida a 600 mA.....	64
Gráfico 6.2 – Resultado do segundo teste de carga rápida a 600 mA.....	65
Tabela 6.17 – Condições do terceiro teste de descarga lenta a 60 mA.....	66
Gráfico 6.3 – Resultado do terceiro teste de descarga lenta a 60 mA.....	66
Tabela 6.18 – Condições do quarto teste de descarga lenta a 60 mA.....	67
Gráfico 6.4 – Resultado do quarto teste de descarga lenta a 60 mA.....	67
Tabela 6.19 – Condições iniciais do teste de carga lenta a 30 mA.....	68
Gráfico 6.5 – Resultado do teste de carga lenta a 30 mA.....	68
Tabela 6.20 – Principais parâmetros do regulador de 4,8V.....	70
Tabela 6.21 – Principais parâmetros do regulador de 3,6V.....	70
Tabela 6.22 – Principais parâmetros do regulador de 2,4V.....	71
Tabela 6.23 – Principais parâmetros do regulador de 1,2V.....	71
Tabela 6.24 – Queda de tensão do LM317.....	72
Tabela 6.25 – Teste de resistores no regulador de 4,8V.....	73
Gráfico 6.6 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 4,8V.....	73
Tabela 6.26 – Teste de resistores no regulador de 3,6V.....	74
Gráfico 6.7 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 3,6V.....	75
Tabela 6.27 – Teste de resistores no regulador de 2,4V.....	76
Gráfico 6.8 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 2,4V.....	76
Tabela 6.28 – Teste de resistores no regulador de 1,2V.....	77
Gráfico 6.9 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 1,2V.....	77
Tabela 6.29 – Valores de corrente antes e depois da troca dos resistores.....	78
Tabela 6.30 – Valores de tensão nos reguladores para cada tensão na pilha.....	79
Gráfico 6.10 – Tensão de saída na bateria e nos reguladores.....	79
Gráfico 6.11 – Tensão nas baterias no teste de autonomia.....	80
Gráfico 6.12 – Tensão nas baterias no teste de dia e noite.....	82
Figura 9.1 – Datasheet resumido do LM317.....	92
Figura 9.2 – Datasheet GP60AAS.....	93
Figura 9.3 – Datasheet resumido LP2985.....	95
Figura 9.4 – Datasheet resumido LP2983.....	97

## **1. Introdução**

No Brasil, considerando-se a extensa rede de distribuição de energia elétrica e sua interligação entre diversas regiões do país, o uso de painéis solares fotovoltaicos tem sido compensador, por exemplo, para a alimentação de sistemas pontuais situados em locais de difícil acesso.

O Projeto da fonte de alimentação para o nó remoto do Sistema de Controle de Irrigação (SCI) [1] se apresenta como uma atividade que justifica a utilização de painéis fotovoltaicos para seu funcionamento, podendo atender às áreas mais afastadas da rede elétrica comum e abrangendo lugares de difícil acesso, desde que haja luz solar disponível.

O projeto apresenta um modelo de circuito que atenderá às necessidades de um sistema de controle completo, com sensor de pressão, microprocessador, transceptor de RF, etc.

O modelo idealizado para o nó remoto do sistema de controle de irrigação não pode ser montado nem testado nesta oportunidade do projeto. No entanto, um modelo equivalente, utilizando dispositivos que desempenham a mesma função, foi montado e diversos testes de funcionalidade e eficiência foram realizados. O resumo dos testes realizados se encontra na seção 5, enquanto que seus resultados, gráficos e a análise se encontram na seção 6.

### ***1.1. Visão geral sobre o Sistema de Controle de Irrigação – SCI***

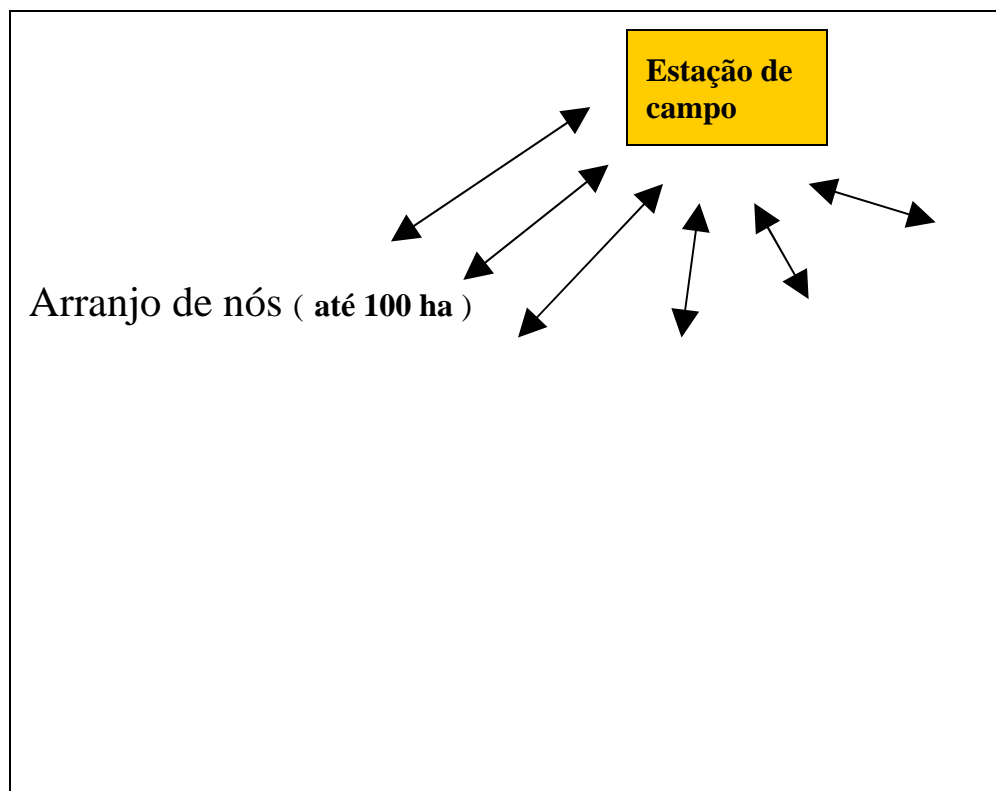
O Sistema de Controle de Irrigação é uma atividade associada ao objetivo 5 (Projeto de dispositivos, circuitos integrados e microsistemas) e à meta de número 9 (Realização de uma aplicação: um sistema inteligente em chip com capacidade autônoma de comunicação, como exemplo um sistema de controle de umidade e irrigação para agricultura) do Instituto do Milênio – SCMN [18].

O sistema escolhido é de grande interesse para a otimização do aproveitamento de recursos hídricos na agricultura brasileira, pois permitirá a monitoração “in situ” do teor de umidade do solo e, por conseguinte, evitar o desperdício de recursos em práticas de irrigação.

Nesta atividade busca-se, além da implementação de uma aplicação com características inovadoras em microeletrônica, integrar as atividades implementadas ao longo do projeto, incorporando as contribuições científicas e tecnológicas obtidas nas demais atividades, evidenciando a proposta de projeto em rede e todas as implicações associadas a esta complexa atividade multidisciplinar. Essa atividade servirá, assim, também, como um veículo de teste e de aprendizagem da metodologia de trabalho cooperativo que norteia todo o projeto, dando visibilidade a este “Instituto do Milênio”.

Ela compreende uma especificação detalhada da aplicação, a qual estabelece parâmetros indicadores para o desenvolvimento das demais atividades. Em linhas gerais essa aplicação consistirá em um sistema em chip com capacidade para telemetria, processamento local de sinais e interfaceamento com sensores de pressão (a ele integrados ou não). A realização será efetuada em tecnologia CMOS. O projeto desse sistema demandará a implantação de um sistema de gerenciamento em larga escala, com troca constante de informações entre as diferentes equipes. Será adotada uma abordagem hierárquica e serão incorporadas técnicas de projeto voltadas à testabilidade e à compatibilidade eletromagnética. A figura 1.1 ilustra a visão esquemática da cobertura de uma área irrigada.





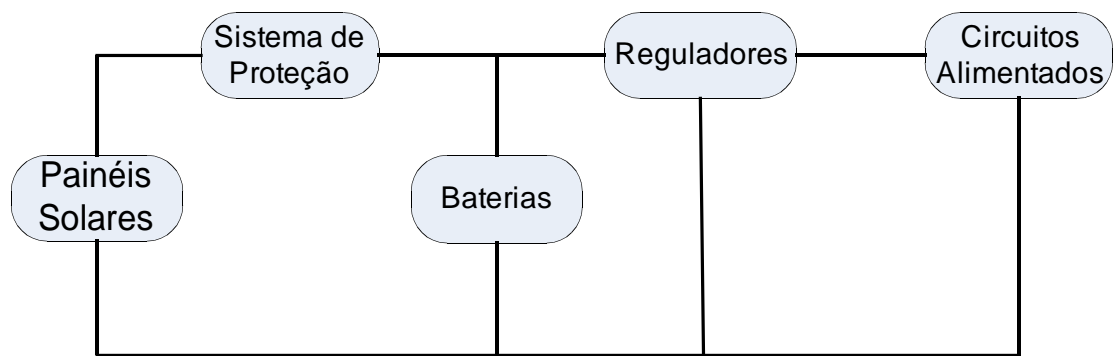
*Figura 1.1 – Visão esquemática da cobertura de uma área irrigada, por meio de um arranjo de nós, associado a uma Estação de Campo.*

### ***1.2. Objetivos do presente projeto***

O objetivo do seguinte projeto é idealizar, dimensionar e indicar uma topologia para a construção da fonte de alimentação das estações remotas de campo, levando em conta alguns aspectos importantes como autonomia, consumo, estabilidade, temperatura, umidade, preço, tamanho, eficiência, disponibilidade no mercado e facilidade de implementação e manutenção, dentre outros aspectos. Essa fonte deverá ser baseada em alimentação por painéis solares que manterão carregadas um conjunto de baterias.

O sistema deverá ser simples o bastante para prover um meio de carregamento das baterias com o mínimo custo possível, ao mesmo tempo em que maximiza o ciclo de vida delas.

Segue abaixo um pequeno esquemático de como deverá ser o sistema:



*Figura 1.2 – Esquemático do sistema da fonte de alimentação*

## **2. Especificações**

### ***2.1. Alimentação do nó remoto***

A fonte de alimentação do nó remoto deverá seguir uma série de características, a partir das quais parte-se para a escolha dos dispositivos e da topologia de projeto.

#### **2.1.1. Autonomia**

Dada a situação em que se encontrará a fonte de alimentação, uma vez implementada, é desejável que ela tenha uma autonomia razoável para que o sistema não deixe de funcionar em caso de dias prolongados de chuvas e nuvens. Essa autonomia deverá ser da ordem de 10 dias sem que haja nenhum tipo de insolação que permita o carregamento das baterias.

Não haverá possibilidade de energia elétrica no local, dada a distância que o nó remoto poderá ficar da estação central. Isso nos remete ao uso de painéis solares para alimentar o sistema e carregar as baterias.

#### **2.1.2. Consumo**

O consumo do sistema e dos próprios dispositivos utilizados no projeto da fonte de alimentação deverá ser o mínimo possível, levando-se em conta o custo e a disponibilidade no mercado. Estima-se que o consumo total do sistema será da ordem de 250 mW

#### **2.1.3. Confiabilidade**

A estabilidade é um item fundamental num projeto que é o cerne de todo um sistema, ou seja, se a fonte de alimentação não funcionar, o nó remoto não funcionará. Dessa maneira, devem ser escolhidos dispositivos de qualidade e procedência, bem como dimensionar o projeto com folga no consumo de potência. Isso garantirá que a fonte de alimentação não

estará sub-dimensionada, podendo vir a falhar ou apresentar erros futuramente.

#### **2.1.4. Temperatura e Umidade**

A temperatura e a umidade são fatores preponderantes no desenvolvimento do projeto, visto que não serão nada comuns. Como o nó remoto ficará localizado logo acima do solo, espera-se uma temperatura variando entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $80^{\circ}\text{C}$  e umidade do ar variando entre 30% e 90%.

### ***2.2. Solução proposta no projeto milênio***

Essas são as especificações físicas iniciais da fonte de alimentação propostas pelo projeto Milênio [1]:

#### **2.2.1. Baterias**

- Baterias recarregáveis (tecnologia: NiCd, NiMh, Li-ion);
- Carga: 1000 mAh (típica);
- Tensão: mínima de 4,8 V (sem conversão DC-DC) ou compatível com o conversor DC-DC adotado;
- Formato: AA;
- Operação a alta temperatura ( $> 80$  graus Celsius);
- Durabilidade mínima: 1 ano (nas especificações);

#### **2.2.2. Painel Solar**

Parâmetros a serem considerados:

- Potência mínima (para Si  $V_{oc} = \sim 0,6$  V);
  - Área mínima;
  - Robustez;
  - Baixo Custo;
  - Circuitos de proteção;

### **2.2.3. Carregador**

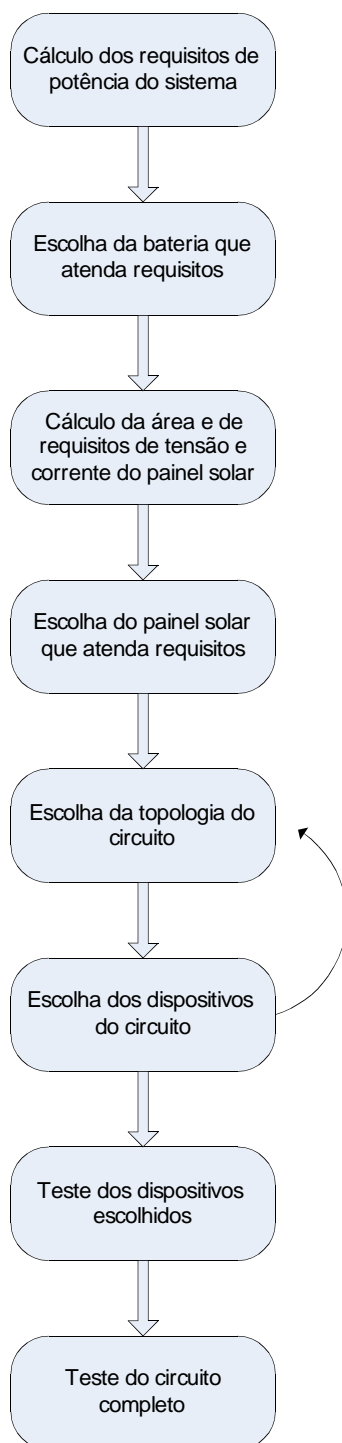
- Compatível com a bateria especificada e com o painel solar adotado;
- Compacto;
- Eficiente;
- Baixo ruído;
- Robusto;
- Baixo custo;

### **2.2.4. Regulador**

- Compatível com a especificação geral das tensões de alimentação do nó;
- Compatível com a bateria especificada;
- Compacto;
- Eficiente;
- Baixo ruído;
- Robusto;
- Baixo custo.

### 3. Metodologia de projeto

#### 3.1. Passos para a realização do projeto



**Figura 3.1 – Passos para a realização do projeto**

### 3.2. Análise das especificações

O sistema de alimentação deverá ser concebido a partir das características e especificações que foram enumeradas anteriormente. A proposta do projeto Milênio nos remete a vários tipos, marcas e modelos de dispositivos que oferecem as mesmas características, cada qual com suas vantagens e desvantagens. O objetivo deste capítulo é poder analisar os dispositivos disponíveis e, partindo de suas características, escolher os que melhor se adaptam às necessidades do projeto de controle de irrigação.

#### 3.2.1. Análise das Baterias [43]

De acordo com as especificações, as baterias devem ser recarregáveis, ter uma capacidade nominal típica de 1000 mAh, ter formato AA, operarem em temperaturas acima de 80°C, dentre outras. Existem três tipos de tecnologia candidatas para este tipo de aplicação: Níquel Cádmio (NiCd), Níquel Metal-Hidreto (NiMh) e Íons de Lítio (Li-Ion). Abaixo, uma tabela comparativa entre as tecnologias abordadas:

<b>Tipo</b>	<b>NiCd</b>	<b>NiMH</b>	<b>Li-Ion</b>
Tensão Nominal Média (V)	1.2 V	1.2 V	3.7 V
Densidade de energia (W.h/l)	140	180	200
Densidade de energia (W.h/Kg)	39	57	83
Custo (\$/Wh)	0.75 - 1.5	1.5 - 3.0	2.5 - 3.5
Corrente máxima para descarga	20C	4C	2C
Descarga (por dia)	1 %	1,5 %	0,5 %
Tempo de carga (mais rápido)	15 min	30 min	1 h
Temperatura para carga (°C)	0 to +50	0 to +45	5 to+ 45
Temperatura para descarga (°C)	-20 to +50	-20 to +50	0 to +40
Resistência contra sobrecarga	Baixa	Baixa	Média
Material do Cátodo	NiOOH	NiOOH	LiCoO2
Material do Ânodo	Cádmio	Liga metálica	Carbono
Número Máximo de Ciclos	1000	500	400

**Tabela 3.1 – Comparativo entre tecnologias de baterias**  
“C” indica a capacidade nominal da pilha em mAh

O efeito memória acontece apenas nas baterias de Níquel Cádmio e é relativamente raro. Ele pode ocorrer durante o ciclo de descarga para um nível fixo definitivo e uma subsequente recarga. Quando a célula é descarregada, seu potencial cai vários décimos de volt aquém do normal e permanece lá até o fim da descarga. A capacidade total da célula não é afetada significativamente e o efeito memória desaparece quando a célula é descarregada e depois carregada mais uma ou duas vezes. Em aplicações práticas, o efeito memória não é um problema porque as baterias de Níquel Cádmio são raramente descarregadas para o mesmo potencial antes de recarregar.

Existe um problema ambiental com relação à inutilização das baterias de NiCd devido ao poder poluidor do metal usado. Já as baterias de NiMH e Li-Ion não contêm concentração significativa de poluente, entretanto, é sempre desejável que se tenha cuidado ao jogá-las fora. Uma consciência de reciclagem é desejável nas três tecnologias.

### **3.2.2. Análise do Painel Solar – Células Solares**

Células solares são compostas de vários materiais semicondutores e podem ser divididas em três tipos [12]:

- Células de silício cristalino: são fabricadas com este tipo de material que consiste em finas camadas de puro silício cristalino tratado quimicamente. A espessura das camadas comerciais está entre 200 e 400 microns, sendo cobertas por uma grelha metálica em ambas as faces permitindo o contato elétrico;
- Células solares mono-cristalinas: fabricadas a partir de puro cristal de silício. Estas células são as mais eficientes de todas as células de silício, mas também são as mais caras;
- Células solares poli-cristalinas: também fabricadas a partir de silício puro, mas estas são fabricadas a partir de lingotes de grande



dimensão. O processo de fabricação consiste em arrefecer lentamente o silício, mantido em estado líquido em fornos especiais, para permitir o crescimento de grandes cristais. As células poli-cristalinas são menos eficientes, mas também são mais baratas.

Para facilitar a análise das explicações e dos cálculos que virão a seguir, faz-se necessária uma breve teoria sobre conversão de energia [26].

A geração de eletricidade a partir da luz solar é obtida através de células solares, dispositivos que têm seu funcionamento fundamentado no efeito fotovoltaico que consiste, essencialmente, na conversão de energia luminosa incidente sobre materiais semicondutores, convenientemente tratados, em eletricidade.

Quando a luz do sol incide sobre certos materiais, chamados semicondutores, os fótons que a constituem são capazes de transmitir sua energia aos elétrons de valência do semicondutor, para que rompam a ligação que lhes mantém ligados aos respectivos átomos. Os semicondutores são materiais que se tornam eletricamente condutores quando expostos à luz ou calor, mas funcionam como isolantes em baixas temperaturas e no escuro.

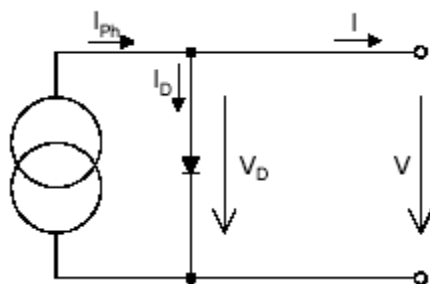
Para cada ligação desfeita há um elétron livre para circular dentro do semicondutor. A falta do elétron na ligação desfeita, que se chama lacuna, também pode deslocar-se livremente no interior do semicondutor, transferindo-se de um átomo a outro devido ao deslocamento do resto dos elétrons das ligações. As lacunas se comportam, em muitos aspectos, como partículas com carga positiva igual a do elétron. O movimento dos elétrons e lacunas em direções opostas gera uma corrente elétrica no semicondutor capaz de circular por um circuito externo

Para seu emprego prático, as células solares são associadas eletricamente em diferentes combinações que permitem obter os valores de corrente e tensão necessários para determinada aplicação. O conjunto de células, conexões e estrutura de proteção denominam-se módulo fotovoltaico. O processo explicado tem como principal semiconductor o silício. Depois do oxigênio, este é o material mais abundante na crosta terrestre. O silício é obtido do quartzito a partir da areia, matéria-prima usada na fabricação do vidro e das fibras óticas (quartzo). Purificado e transformado em lâminas, ele dá origem à célula-solar, a alma da placa fotovoltaica.

### 3.2.2.1. Caracterização ideal e parâmetros básicos das células solares [44]

O circuito equivalente simplificado de uma célula solar consiste em um diodo e uma fonte de corrente conectados em paralelo, conforme ilustrado na figura 3.2.

A fonte de corrente gera a corrente  $I_{ph}$ , que é diretamente proporcional à irradiação solar  $S$  e à temperatura  $T$ . A junção p-n de uma célula solar é equivalente a um diodo, que também está na figura 3.2. No fim das contas, uma célula solar é apenas um diodo.



*Figura 3.2 - Circuito equivalente simplificado de uma célula solar.*

A equação característica de tensão e corrente de um diodo ideal é dada pela seguinte fórmula:

$$I_D = I_{RS} \cdot (e^{\frac{q \cdot V_D}{A \cdot k \cdot T}} - 1) \quad (3.1)$$

onde,

$I_{RS}$  é a corrente de saturação reversa;

$q = 1.6 \times 10^{-19}$  [C] é a unidade fundamental de carga;

$k = 1.38 \times 10^{-23}$  [J/K] é a constante de Boltzmann;

$A$  é um fator de qualidade do diodo (1 a 5, 1 significa uma junção p-n ideal);

$V_D$  é a queda de tensão sobre o diodo [V];

$T$  é a temperatura absoluta [K],  $0^\circ\text{C} = 273.15$  K.

O comportamento teórico sobre irradiação solar é representado por:

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.2)$$

Onde,

$I_{ph}$  representa a corrente da célula solar;

$I_D$  é a corrente do diodo descrito acima.

Na figura 3.3a estão ilustradas as características I-V de uma célula ideal em duas posições diferente. A curva de cima (vermelha) mostra uma célula solar ideal no escuro. A curva de baixo (verde) mostra uma célula solar ideal sobre uma irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup>. Para uma célula ideal, as características I-V são simplesmente transferidas para cima no gráfico, graças à corrente  $I_{ph}$  gerada pela luz incidente. No caso de uma célula no escuro, pode acontecer a situação de corrente negativa pelas células. Isto é devido ao comportamento da célula solar agindo como uma junção p-n em paralelo com uma fonte de corrente. Para evitar esse tipo de situação,

pode-se usar um diodo conectado em série com a célula solar em polarização negativa, conforme figura 3.3b.

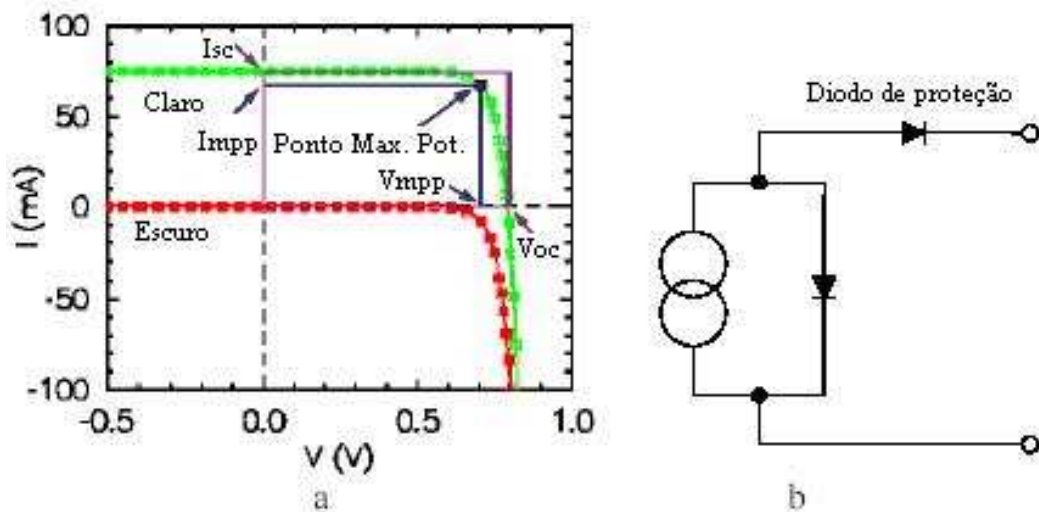


Figura 3.3 - a) Curvas I-V para as células solares b) Célula solar com o diodo

Na curva I-V são mostrados alguns pontos típicos para células solares. A tensão de circuito aberto  $V_{oc}$ , a corrente de curto circuito  $I_{sc}$ , a tensão que proporciona potência máxima  $V_{mpp}$ , a corrente que proporciona potência máxima  $I_{mpp}$ .

O *Fator de preenchimento* pode ser definido como uma razão da máxima potência e do produto da corrente de curto circuito e da tensão de circuito aberto e pode ser expresso por:

$$FF = \frac{V_{MPPP} \cdot I_{MPPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (3.3)$$

O *Fator de preenchimento* é sempre menor que a unidade; quanto mais próximo de 1, melhor a qualidade da célula solar.

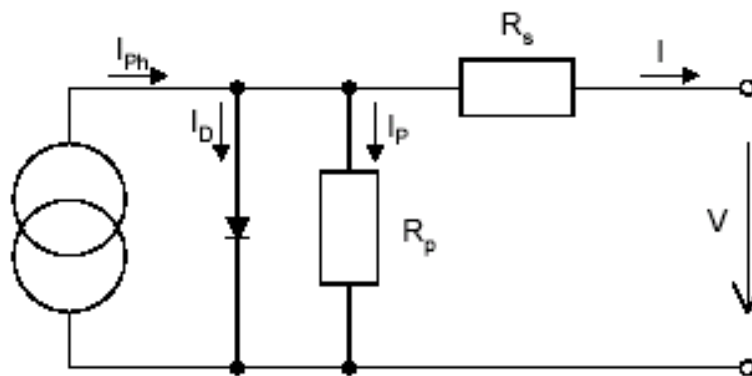
Uma das mais importantes características das células solares é a constante que mostra a eficiência da conversão de energia:

$$\eta = \frac{\text{Máxima Potência Elétrica}}{\text{Potência da luz incidente}} \quad (3.4)$$

### 3.2.2.2. Célula solar real – Influência da temperatura e da luz incidente na curva I-V [44]

Na figura 3.4 está sendo mostrado o circuito equivalente de uma célula solar real. Em células reais, podemos observar uma queda de tensão das células até os contatos externos. Esta queda de tensão pode ser expressa por um resistor  $R_s$  em série. Além disso, há uma corrente quiescente que pode ser representada por um resistor em paralelo,  $R_p$ .

Para a descrição deste circuito, podemos utilizar as relações mencionadas acima com algumas modificações que também envolvem influência da temperatura.



*Figura 3.4 - Diagrama de circuito para uma célula solar real*

A equação abaixo relaciona as características I-V de um diodo real com um número de parâmetros do dispositivo:

$$\begin{aligned}
I = I_{ph} - I_D - I_P = (I_{sc} + k_i \cdot (T - T_{ref})). \frac{S}{100} - \\
- I_{RR} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \cdot e^{\frac{q \cdot E_G}{A \cdot k} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{A \cdot k \cdot T}} - 1\right) - \\
- \frac{V + I \cdot R_s}{R_p}
\end{aligned} \quad (3.5)$$

Onde,

Isc é a corrente de curto circuito [A];

ki é o coeficiente da temperatura de curto circuito;

T é a temperatura da célula [K];

Tref é a temperatura de referência da célula [K];

S é a irradiação solar [mW/cm<sup>2</sup>];

Irr é a corrente de saturação reversa em Tref [A];

q é a carga de um elétron, 1.6 x 10<sup>-19</sup> [eV];

Eg é a energia da banda de gap do semiconductor usado na célula [eV];

K é a constante de Boltzmann, 1.38 x 10<sup>-23</sup> [J/K];

A é o fator de qualidade (1 a 5, 1 significa junção p-n ideal);

Rs é a resistência em série da célula [Ω];

RP é a resistência em paralelo da célula [Ω].

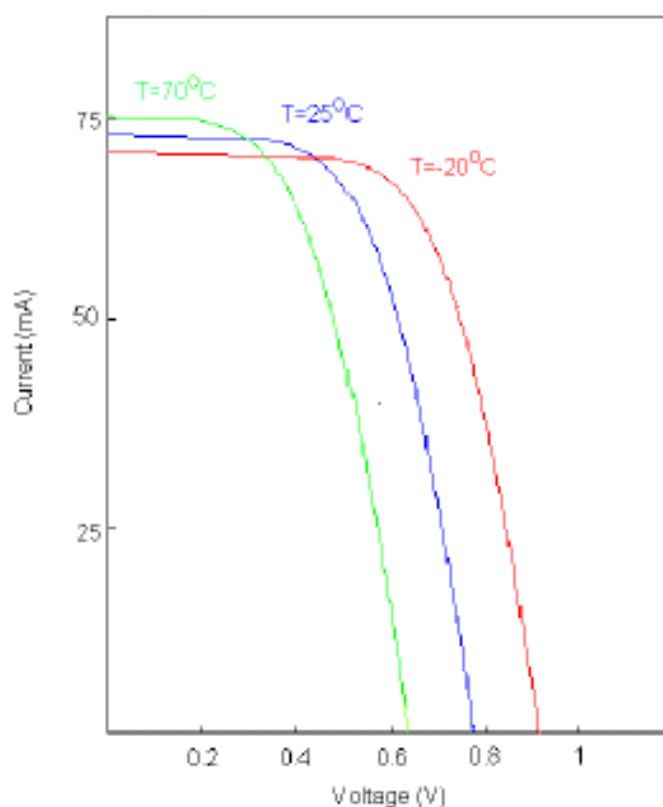
A maioria dos parâmetros da célula solar mostra uma dependência da temperatura. A equação geral para calcular o coeficiente Tc para um dado valor y é:

$$TC(y) = \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial y}{\partial T} \quad (3.6)$$

No caso de uma relação linear entre  $y$  e a temperatura, então a equação acima pode ser reescrita:

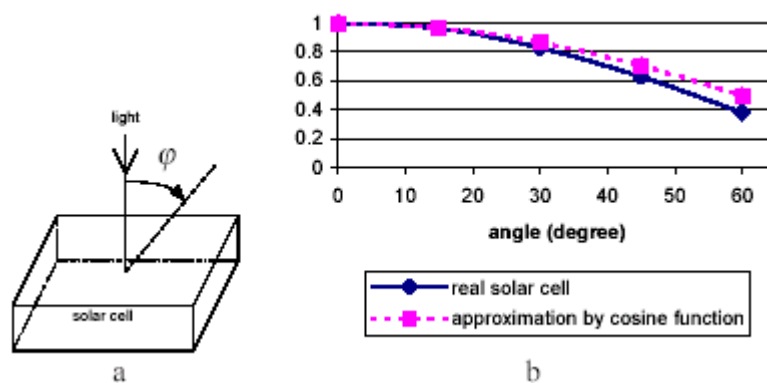
$$TC(y) = \frac{1}{y(T_0)} \cdot \frac{y(T_1) - y(T_0)}{T_1 - T_0} \quad (3.7)$$

A corrente de curto circuito aumenta um pouco em temperaturas maiores, enquanto que a tensão de circuito aberto fica menor (-0.4 [%/K]). Portanto, a potência de saída é menor para temperaturas maiores. A perda de potência é algo em torno de 0,3-0,5% por grau Celsius e um aumento de 30°C na temperatura faz a potência cair por volta de 9-15%, conforme a figura 3.4.



**Figura 3.5 - Dependência da temperatura nas curvas I-V**

A potência que é adquirida pela célula solar depende do ângulo de incidência da luz do sol. Na figura a seguir é ilustrada uma situação onde o ângulo é variado:



**Figura 3.6 a) Mudança do ângulo da luz incidente b) Dependência da potência no ângulo de incidência solar**

Para a descrição dessa situação é possível usar função matemática exata, porém, devido à sua complexidade, a função mais usada é a função co-seno. Na figura 3.6b está sendo mostrada por unidades de valor de potência a dependência da célula na incidência para aproximações reais e para a função co-seno.

### 3.2.2.3. Cálculo da área de um painel solar

O cálculo da área ideal de uma célula solar depende de três fatores: Radiação solar, eficiência da célula e potência de pico da célula. Todos estes fatores se relacionam pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{\text{Potência da Célula (W)}}{\text{Densidade de Potência (W/cm}^2\text{)} * \text{Eficiência}} \quad (3.8)$$

Essa fórmula nos mostra que a área da célula é inversamente proporcional ao produto da densidade de potência pela eficiência, ou seja, quanto maior a eficiência ou a densidade, menor a área necessária para proporcionar uma mesma potência.



### ***3.3. Escolha dos componentes***

#### **3.3.1. Escolha da bateria**

A nossa base para seleção da tecnologia da bateria foi capacidade de carga, faixa de operação de temperatura, segurança e preço. Nós optamos pelo uso do Níquel Cádmio (NiCd).

As baterias de Níquel Cádmio oferecem vantagens sobre as outras tecnologias pesquisadas. Possuem um custo menor, podem ser descarregadas com altas correntes, podem ser completamente carregadas em alguns minutos, têm faixas de temperatura de operação bastante grandes e, principalmente, não liberam hidrogênio em suas reações de Oxi-redução. Um acúmulo de hidrogênio dentro do nó remoto associado a altas temperaturas poderia causar uma explosão.

Há, entretanto, algumas desvantagens advindas da escolha da bateria. As baterias de NiCd têm uma tendência de apresentar efeito memória e queda de tensão. Isso nada mais é do que uma mudança na química da bateria que pode ser causada por sobrecarga. Portanto, é desejável que o carregador tenha meios de detectar carga completa na bateria ou carregá-la com uma corrente bem pequena, em torno de 5-10% de sua carga nominal.

Foram pesquisados vários modelos de várias marcas de baterias, mas poucas se enquadram nas especificações de temperatura, conforme veremos a seguir.

Seguem abaixo as baterias que se enquadram nas especificações requeridas e um breve resumo sobre suas características.

##### **3.3.1.1. Sanyo [23]**

A Sanyo apresenta vários modelos de baterias, mas para o nosso caso, só podemos aproveitar os modelos KR-AAH e N-600AAK.

#### 3.3.1.1.1 KR-AAH

Capacidade Nominal	600 mAh
Tensão Nominal	1,2 V
Temperatura para carga	0°C a +70°C (32°F a 158°F)
Temperatura para descarga	-20°C a +70°C (-4°F a 158°F)
Impedância interna	18mΩ
Peso	23g

**Tabela 3.2- Principais características da bateria modelo KR-AAH**

#### 3.3.1.1.2 N-600AAK

Capacidade Nominal	600 mAh
Tensão Nominal	1,2 V
Temperatura para carga	0°C a +70°C (32°F a 158°F)
Temperatura para descarga	-20°C a +70°C (-4°F a 158°F)
Impedância interna	12mΩ
Peso	23g

**Tabela 3.3- Principais características da bateria modelo N-600AAK**

#### 3.3.1.2. Saft [27]

A Saft apresenta vários modelos, tamanhos e pesos para baterias de NiCd, mas apenas um para altas temperaturas, o VT-AA.

##### 3.3.1.2.1 VT-AA

Capacidade Nominal	700 mAh
Tensão Nominal	1,2 V
Temperatura para carga	5°C a +65°C (41°F a 149°F)
Temperatura para descarga	-20°C a +60°C (-4°F a 140°F)
Impedância interna	16mΩ
Peso	20g

**Tabela 3.4- Principais características da bateria modelo VT-AA**

#### 3.3.1.3. GP Batteries [21]

A GP possui alguns modelos, mas apenas um se enquadra em nossas especificações, o GP70AAST.

##### 3.3.1.3.1 GP70AAST

Capacidade Nominal	700 mAh
Tensão Nominal	1,2 V

Temperatura para carga	0°C a +70°C (32°F a 158°F)
Temperatura para descarga	Não Disponível
Impedância interna	20mΩ
Peso	21g

***Tabela 3.5 - Principais características da bateria modelo GP70AAST***

#### 3.3.1.4. JJJ Battery Company [28]

A marca chinesa JJJ Battery Co possui o seguinte modelo para altas temperaturas:

##### *3.3.1.4.1 AA-800H*

Capacidade Nominal	800 mAh
Tensão Nominal	1,2 V
Temperatura para carga	-20°C a +70°C (-4°F a 158°F)
Temperatura para descarga	-20°C a +70°C (-4°F a 158°F)
Impedância interna	26mΩ
Peso	24g

***Tabela 3.6 - Principais características da bateria modelo AA-800H***

#### 3.3.1.5. BYD Battery Company [29]

Outra marca chinesa, a BYD Battery Co, possui o seguinte modelo para altas temperaturas:

##### *3.3.1.5.1 D-AA-700H*

Capacidade Nominal	700 mAh
Tensão Nominal	1,2 V
Temperatura para carga	0°C a +60°C (32°F a 140°F)
Temperatura para descarga	-20°C a +70°C (-4°F a 158°F)
Impedância interna	25mΩ
Peso	23g

***Tabela 3.7 - Principais características da bateria modelo D-AA-700H***

### 3.3.2. Escolha do painel solar

Num projeto como esse, o dimensionamento do painel solar é um dos primeiros passos que devem ser executados.

Como materiais semicondutores e dimensionamento de células solares foram temas abordados em detalhes na seção 3.2.2, nos atentaremos apenas a mostrar os cálculos feitos para o presente projeto.

Consideraremos a região sudeste como a região objeto do programa de dimensionamento, possuindo esta, características próprias de irradiação solar, qualidade de radiação e densidade de potência. Portanto, para a região sudeste, na altura da capital paulista, temos os seguintes dados, segundo informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [17]:

Tempo médio de presença de sol por ano (horas)	Densidade de Potência (W/cm <sup>2</sup> )
2000	0,043

*Tabela 3.8 – Dados para a cidade de São Paulo*

Para a região em questão e considerando uma eficiência média de 17% (para orientação e inclinação ótimas) [42], podemos calcular a área média necessária para o painel solar utilizando a fórmula mostrada na seção 3.2.2.4:

$$A = \frac{\text{Potência da Célula (W)}}{\text{Densidade de Potência (W/cm}^2\text{)} * \text{Eficiência}} \quad (3.9)$$

$$A = \frac{0,25W}{0,043W/cm^2 * 0,17}$$

$$A = 34,2cm^2$$

Há atualmente dezenas de tipos de painéis solares disponíveis no mercado que oferecem os requisitos de tensão, corrente e área para este projeto. Seguem abaixo as células solares pesquisadas.

### 3.3.2.1. Canrom Photovoltaics [30]

A empresa apresenta apenas duas opções de células e suas especificações não são muito compreensíveis:

Modelo	Potência	Dimensão (mmxmm)	Eficiência	OCV (V)	I <sub>sc</sub> (A)	Custo (\$)
Quase quadrado	1,3 Wp	100x100	-	0,57	2,8-3,1	0,42/cut
Redondo	1,0 Wp	100mm (diâmetro)	-	0,57	1,9-2,6	0,40/cut

*Tabela 3.9 – Especificações das células solares da Canrom Photovoltaics*

### 3.3.2.2. Plastecs [31]

Apresenta maior número de opções, além de ter células pequenas (4cm<sup>2</sup>). Também apresenta células maiores.

Modelo	Potência (W)	Dimensão (mmxmm)	Eficiência (%)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>sc</sub> (A)	Custo (\$) (unidade)
Menores	-	20x20 a 114x114	10-11	0,4-0,5	0,06 a 2,5	0,52 a 4,20
Quadrado	1,46 (máxima)	100x100	14,6	0,617	3,07	6,50
Quase quadrado	1.80-2.0A @ 0.57-0.60V	84x84	12-12,9	-	-	3,45
Redondo	2.0-2.25A @ 0.57-0.60V	100mm (diâmetro)	12-12,9	-	-	3,55

*Tabela 3.10 – Especificações das células solares da Plastecs*

### 3.3.2.3. Quark [32]

Não apresenta preços, apenas especificações.

Modelo	Potência (W)	Dimensão (mmxmm)	Eficiência (%)	Tensão (V)	Corrente (A)	Custo (\$) (unidade)
-	0,8-1,15	83x83	13-17	0,47-0,5	1,9-2,2	-
-	1,0-1,25	100 (diâmetro)	13-17	0,47-0,5	2,2-2,5	-
-	1,3-1,6	103x103	13-17	0,47-0,5	2,8-3,2	-

*Tabela 3.11 – Especificações das células solares da Quark*

### 3.3.2.4. Silicon Solar [11]

Empresa com mais variedade de informações e com células pequenas e grandes. O preço varia pela quantidade de unidades compradas e oferece diferentes tecnologias de células.

<b>Modelo (tecnologia)</b>	<b>Potência Máxima (W)</b>	<b>Dimensão (mmxmm)</b>	<b>Eficiência</b>	<b>V<sub>oc</sub> (V)</b>	<b>I<sub>sc</sub> (A)</b>	<b>Custo (\$) (251-1000 unidades)</b>
Poli-cristalina	0,12 a 2,14	62,5x17 a 125x125	-	-	-	1,39 a 7,31
Mono-cristalina	0,038 a 2,29	17x26 a 125x125	-	-	-	0,93 a 8,42

*Tabela 3.12 – Especificações das células solares da Silicon Solar*

### 3.3.2.5. Astro Power [33]

Não apresenta preços, apenas especificações.

<b>Modelo (tecnologia)</b>	<b>Potência Máxima (W)</b>	<b>Dimensão (mmxmm)</b>	<b>Eficiência</b>	<b>V<sub>oc</sub> (V)</b>	<b>I<sub>sc</sub> (A)</b>	<b>Custo (\$) (251-1000 unidades)</b>
AP-4 (AP-104)	1,4	10 x 10	-	-	-	-
AP-5 (AP-105)	2,1	12,5 x 12,5	-	-	-	-
AP-6 (AP-106)	3,3	15 x 15	-	-	-	-
AP-6/3BB	3,3	< 15 x 15	-	-	-	-

*Tabela 3.13 – Especificações das células solares da AstroPower*

### 3.3.2.6. EspectroLab [34]

A empresa apresenta vários produtos com valores de eficiência diferentes. Apenas os menores valores foram colocados na tabela abaixo.

Também parece que a empresa só vende em lotes de 50 ou mais.

<b>Modelo (tecnologia)</b>	<b>Potência Máxima (W)</b>	<b>Dimensão (mmxmm)</b>	<b>Eficiência</b>	<b>V<sub>oc</sub> (V)</b>	<b>I<sub>sc</sub> (A)</b>	<b>Custo (\$) (unidade)</b>
Part # 505000	-	1.55" x 2.71"	15.75% - 16.87%	-	0,280 – 0,300	6
Part # 505030	-	1.55" x 2.71"	15.75% - 16.87%	2,050	-	12
Part # 505020	-	1.23" x 2.72"	16.10% - 17.15%	2,050	0,230 – 0,245	6

*Tabela 3.14 – Especificações das células solares da EspectroLab*

### 3.3.2.7. Shell [35]

A empresa apresenta grande variedade de modelos de células solares, aprofundando em especificações técnicas, mas sem dar preço.

<b>Modelo (tecnologia)</b>	<b>Potência Máxima (W)</b>	<b>Dimensão (mmxmm)</b>	<b>Eficiência</b>	<b>V<sub>oc</sub> (V)</b>	<b>I<sub>sc</sub> (A)</b>	<b>Custo (\$) (unidade)</b>
Shell ST5	5	232,5 x 302,5	-	22,9	0,39	-
Shell ST10	10	387 x 328	-	20,1	0,62	-

*Tabela 3.15 – Especificações das células solares da Shell*

### 3.3.2.8. Atlantic Solar [36]

Não apresenta preços, apenas especificações.

Modelo (tecnologia)	Potência Máxima (W)	Dimensão (mmxmm)	Eficiência	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>sc</sub> (A)	Custo (\$) (unidade)
ASP112	1	234,5 x 97	-	21	0,09	-
ASP212	2,5	234,5 x 153	-	21	0,17	-
ASP512	5	234,5 x 243	-	21	0,33	-

*Tabela 3.16 – Especificações das células solares da Atlantic Solar*

Apesar das várias opções largamente comercializadas, nós temos a oportunidade de encomendar um módulo de célula solar mono-cristalina fabricado especialmente para nós pela empresa Heliodinâmica. E dentre os módulos pesquisados, os de célula solar mono-cristalina são os mais baratos, duráveis e eficientes.

O arranjo final de células solares precisará, portanto, possuir as seguintes características:

Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	10 V
Corrente de curto circuito (I <sub>sc</sub> )	40 mA
Área	35 cm <sup>2</sup>

*Tabela 3.17 - Especificações do painel solar necessário*

### 3.3.3 Escolha do diodo de proteção

O diodo de proteção é o dispositivo que evitará que as baterias descarreguem quando a tensão do painel solar for menor do que a das baterias. Isso acontecerá quando o nível de insolação for muito pequeno devido ao tempo nublado ou quando estiver no período da noite.

Embora o projeto não envolva o uso de grandes tensões, conversão AC-DC e uso de retificadores, optamos por escolher um diodo da família “Schottky” que possui um chaveamento mais rápido do que os diodos convencionais, suporta uma tensão reversa bastante adequada às nossas

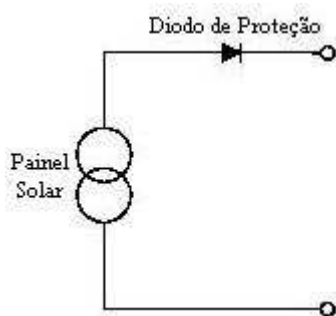
necessidades, tem uma baixa corrente de fuga e uma queda de tensão muito pequena.

Este diodo é comumente utilizado em aplicações que envolvem o uso de carregamento de pilhas de NiCd a partir da rede elétrica e de painéis solares. Escolhemos o modelo 1N5818 Schottky da STMicroelectronics [37], que possui as seguintes características:

Tensão máxima reversa	30 V
Corrente direta máxima	1 A
Queda de tensão típica	0,5 V
Corrente reversa típica	0,5 mA
Temperatura máxima operação	150°C

*Tabela 3.18 - Principais características do diodo modelo 1N5818*

A utilização deste diodo no projeto pode ser ilustrada pela seguinte figura:



*Figura 3.7 – Utilização do diodo de proteção*

#### **3.3.4 Escolha dos reguladores**

A escolha dos reguladores a serem utilizados deve ser uma tarefa bastante cuidadosa, pois são eles que vão garantir a integridade e funcionabilidade do sistema. Para limitar a corrente provinda dos painéis solares, optamos pela utilização do regulador LM317 fabricado pela National Semiconductor, que também é um regulador de tensão, mas, no nosso caso, estará funcionando apenas no modo limitador de corrente.

Os reguladores que atuarão sobre os circuitos de sensor de pressão, circuito analógico/digital (processador e memória), RF e uma saída de 2,4



V que poderá ser usada para futuras aplicações devem ter uma diferença entre  $V_{in}$  e  $V_{out}$  muito pequena para maximizar a eficiência do sistema. São os chamados “Low Dropout regulators”. Os reguladores precisam ser escolhidos visando à minimização dos custos, mantendo sempre a eficiência e qualidade.

Foram pesquisadas algumas marcas de fabricantes de reguladores e os modelos que atendem às necessidades do projeto seguem abaixo:

#### 3.3.4.1. National Semiconductor [38]

Esta empresa tem uma grande variedade de reguladores e circuitos integrados que atendem às necessidades. Abaixo estão alguns modelos escolhidos com um pequeno resumo de suas características:

##### 3.3.4.1.1. LP2986

Tensão de entrada mínima	2,1 V
Tensão de entrada máxima	16 V
Tensão de saída mínima	1,23 V
Tensão de saída máxima	16 V
Corrente de saída máxima	200 mA
Queda de tensão	180 mV
Preço no site	\$ 0,75

***Tabela 3.19 - Principais características do regulador modelo LP2986***

##### 3.3.4.1.2. LP2980

Tensão de entrada mínima	2,5 V
Tensão de entrada máxima	16 V
Tensão de saída mínima	1,23 V
Tensão de saída máxima	25 V
Corrente de saída máxima	50 mA
Queda de tensão	120 mV
Preço no site	Não Disponível

***Tabela 3.20 - Principais características do regulador modelo LP2980***

#### 3.3.4.1.3. LP2980-ADJ

Tensão de entrada mínima	2,5 V
Tensão de entrada máxima	16 V
Tensão de saída mínima	1,23 V
Tensão de saída máxima	25 V
Corrente de saída máxima	50 mA
Queda de tensão	120 mV
Preço no site	\$ 0,29

***Tabela 3.21 - Principais características do regulador modelo LP2980-ADJ***

#### 3.3.4.1.4. LP2951

Tensão de entrada mínima	-0,3 V
Tensão de entrada máxima	30 V
Tensão de saída mínima	1,24 V
Tensão de saída máxima	29 V
Corrente de saída máxima	100 mA
Queda de tensão	380 mV
Preço no site	\$ 0,28

***Tabela 3.22 - Principais características do regulador modelo LP2951***

#### 3.3.4.1.5. LP2983

Tensão de entrada mínima	2,2 V
Tensão de entrada máxima	16 V
Tensão de saída fixa	0,9 V, 1 V, 1,2 V
Corrente de saída máxima	150 mA
Queda de tensão	Não Disponível
Preço no site	\$ 0,49

***Tabela 3.23 - Principais características do regulador modelo LP2983***

#### 3.3.4.1.6. LP2985

Tensão de entrada mínima	2,5 V
Tensão de entrada máxima	16 V
Tensão de saída fixa	2,4 V, 3,6 V, 4,8 V
Corrente de saída máxima	150 mA
Queda de tensão	260 mV
Preço no site	\$ 0,25

***Tabela 3.24 - Principais características do regulador modelo LP2985***

### 3.3.4.2. Analog Devices [39]

Esta empresa também possui uma grande variedade de produtos, mas poucos que atendem às necessidades do projeto. De fato, apenas dois produtos servem para o projeto, sendo que um foi parado de fabricar. Além disso, ela não oferece produtos para a regulação da saída de 1,2 V. O produto encontrado segue na tabela abaixo:

#### 3.3.4.2.1. ADP3308

Tensão de entrada mínima	3 V
Tensão de entrada máxima	12 V
Tensão de saída mínima	2,7 V
Tensão de saída máxima	3,6 V
Corrente de saída máxima	50 mA
Queda de tensão	80 mV
Preço no site	Não Disponível

*Tabela 3.25 - Principais características do regulador modelo ADP3308*

### 3.4. Topologias de circuito

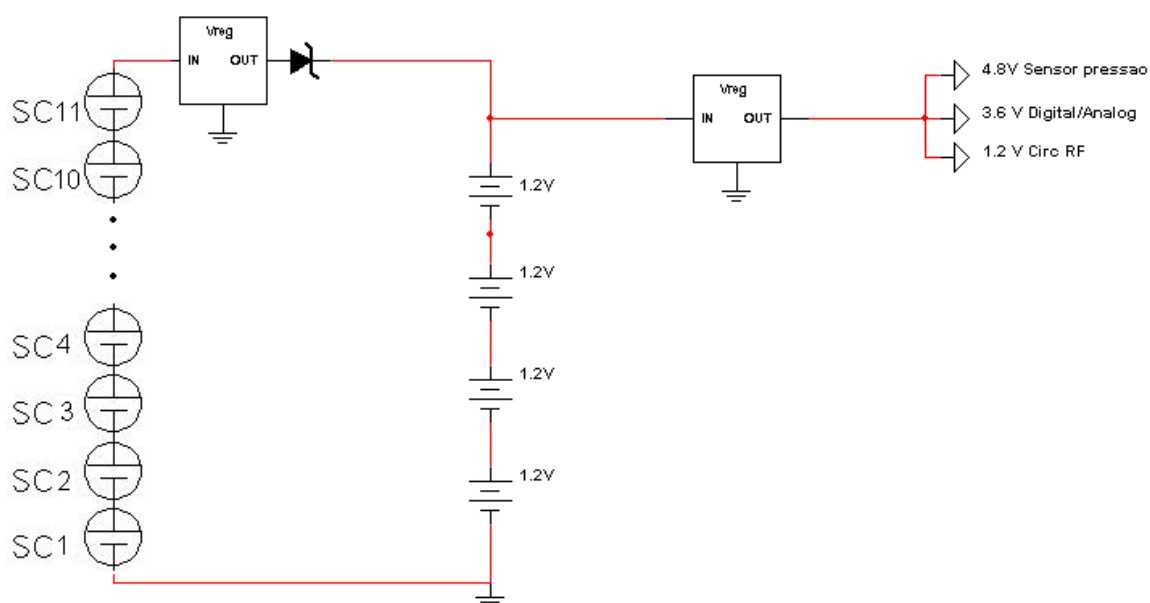
Ao longo do semestre, alguns modelos foram idealizados ou encontrados e analisados. Houve a oportunidade de verificar as características, as vantagens e as desvantagens de cada modelo, para que, finalmente, identificássemos o modelo que melhor nos serviria.

#### 3.4.1. Modelo usando um LM317 e um regulador multisaída

Este circuito mostra um arranjo de 11 células solares em série ligadas a um regulador de tensão LM317 que converterá a tensão de entrada para uma tensão de saída condizente com a das baterias mais a queda no diodo. Logo depois temos o diodo que impedirá que a corrente flua no sentido contrário quando não houver tensão nas células solares, ou seja, durante a noite ou em tempo muito nublado. Em seguida há um segundo regulador de tensão que contém 3 saídas. A primeira delas deverá estar regulada para fornecer a tensão necessária para

funcionamento do sensor de pressão, a segunda para o digital/analógico do projeto e a terceira para o circuito de RF.

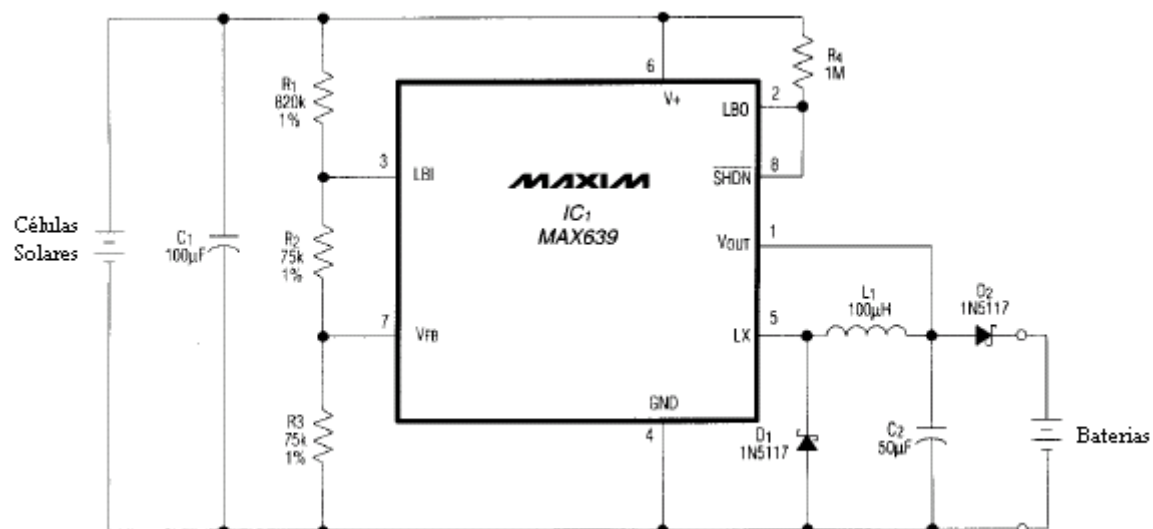
Observa-se que o esquema é bastante simples e não requer investimento alto. Entretanto, possui algumas desvantagens como não possuir limitador de corrente (se a corrente proveniente do painel for alta, poderá haver sobrecarga nas baterias) e usar um regulador de tensão multisaída extremamente difícil de se encontrar no mercado. E, quando encontrado, por um valor muito alto que não compensa seu uso.



**Figura 3.8 – Modelo utilizando um LM317 e um regulador multisaída**

### **3.4.2. Modelo usando microprocessador MAX639 [40]**

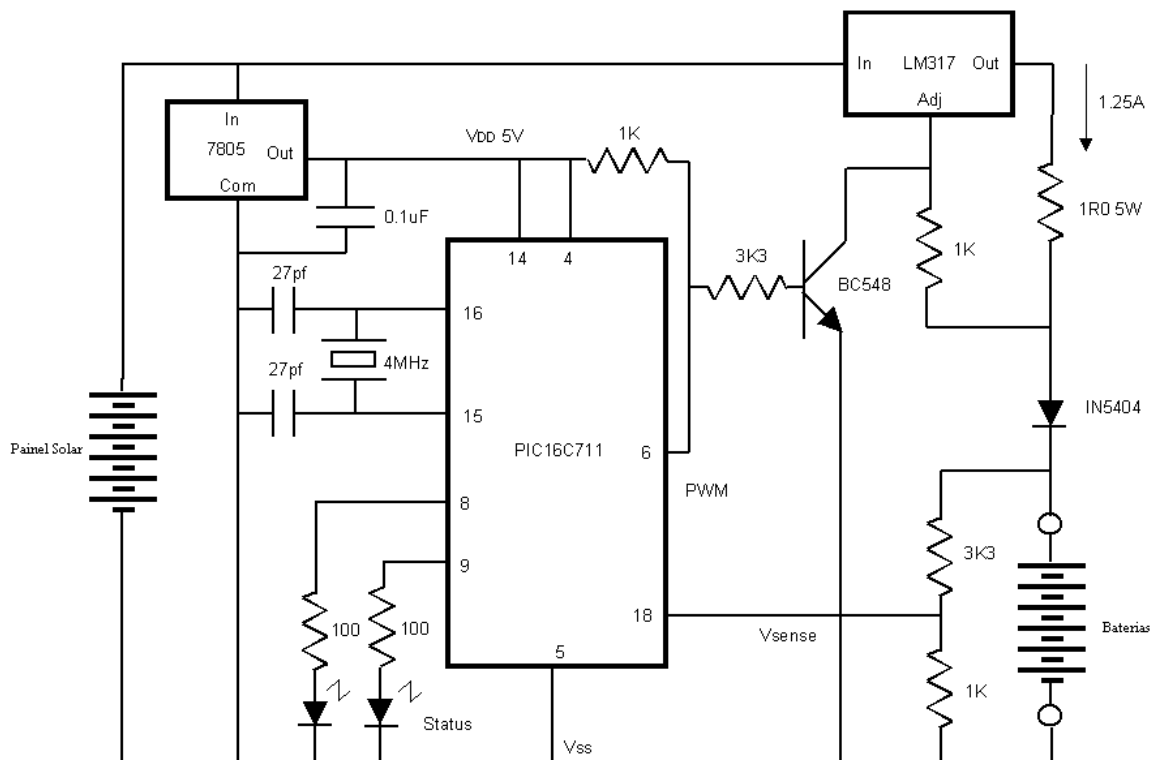
Esse modelo é o idealizado pela fabricante de microprocessadores MAXIM. A vantagem que ele apresenta é o controle inteligente de carga das baterias, entretanto, ele tem a grande desvantagem de possuir um custo muito alto. Se a idéia do projeto de irrigação é colocar tudo num único chip, não se justifica a utilização de um outro microprocessador só para controle de baterias. Provavelmente ele custará mais que o projeto em desenvolvimento. Além disso, ele não opera em temperaturas acima de 80°C, o que já o exclui das nossas possibilidades.



**Figura 3.9 – Modelo utilizando um microprocessador MAX639**

### 3.4.3. Modelo usando microprocessador PIC16C711 [8]

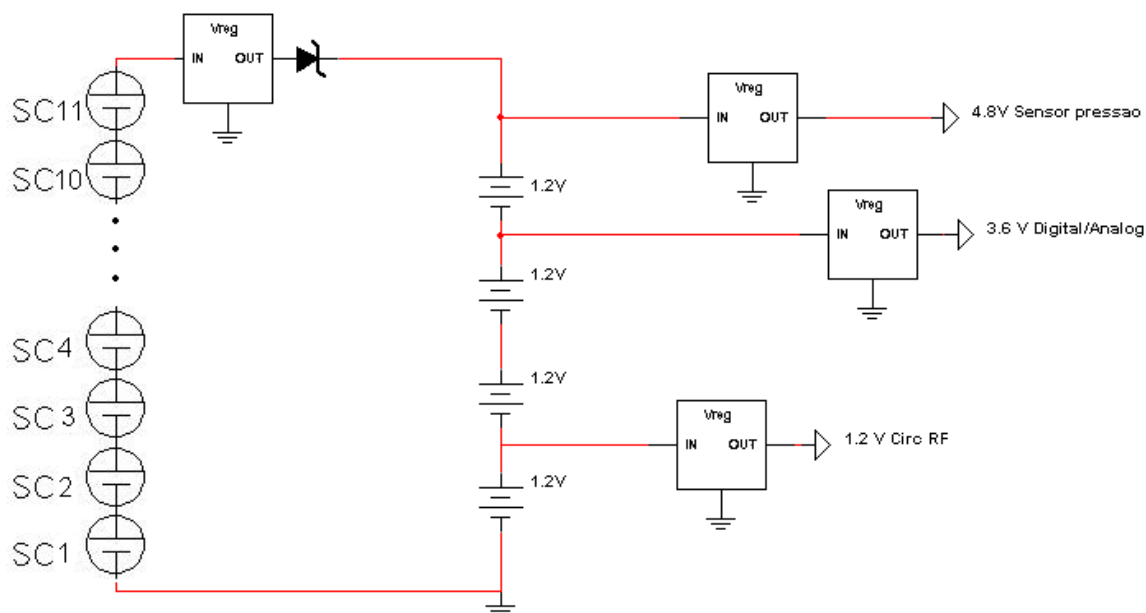
Este modelo não foge muito do usado pelo MAX639. O PIC é um microprocessador que está muito além das nossas necessidades. Teríamos de dispor de um regulador de tensão, um regulador de corrente, um cristal de 4 MHz, um transistor e um PIC16C711, dentre outros componentes. Percebemos que é uma implementação um pouco complexa com o intuito de funcionar apenas como carregador de baterias, tornando o modelo bastante ineficaz do ponto de vista econômico. Ele também sofre dos problemas de temperatura acima dos 80°C, assim como o MAX639.



**Figura 3.10 – Modelo utilizando um microprocessador PIC16C711**

#### **3.4.4. Modelo usando um LM317 e três LP3982**

O circuito do modelo abaixo é bem parecido com o mostrado na figura 3.8, com a diferença de utilizar um regulador de tensão para cada circuito que será alimentado. Esse modelo é mais vantajoso do ponto de vista econômico, visto que possui 3 reguladores LP3982 amplamente disponíveis no mercado. Esses reguladores são um pouco diferentes do LM317, na medida em que permitem uma pequena diferença entre a tensão de entrada e a tensão de saída (algo em torno de 80 mV para 200 mA). No LM317 essa diferença é por volta de 3V. O tamanho do circuito pode aumentar um pouco de tamanho, mas certamente o custo não subirá. Ele também não possui um limitador de corrente para que ocorra uma carga lenta eficaz sobre as baterias.



**Figura 3.11 – Modelo utilizando um LM317 e três LP3982**

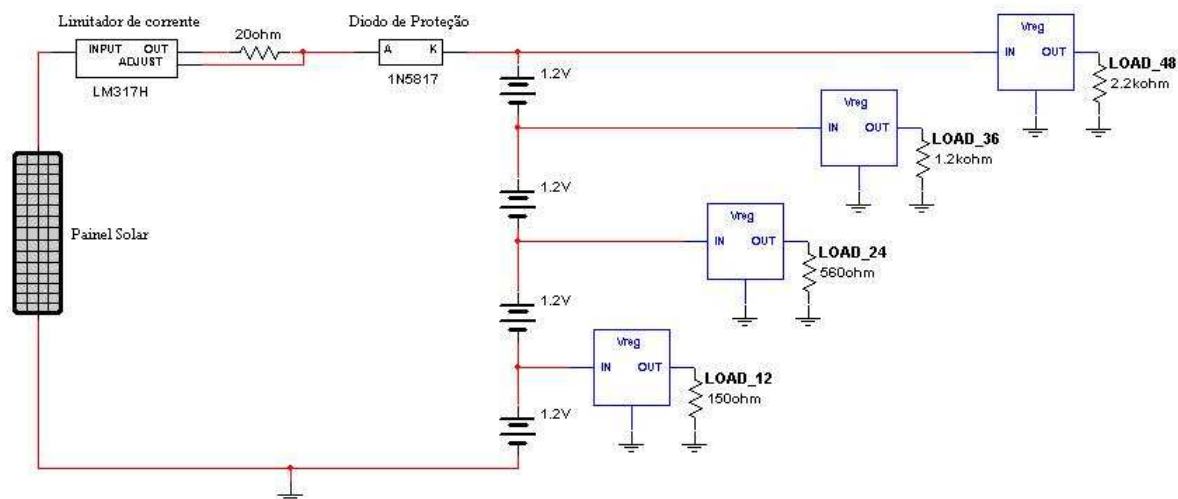
#### **3.4.5. Modelo usando um LM317, três reguladores LP2985 saída fixa e um regulador LP2983 saída fixa**

Este é o modelo possui grandes vantagens como baixo custo, boa eficiência energética, baixo consumo e limitador de corrente. Os reguladores empregados são de baixo custo e largamente utilizados em aplicações que necessitam um valor de tensão estático em suas saídas.

O LM317 ainda continua sendo empregado, só que neste modelo ele assume a configuração de limitador de corrente com o auxílio de um resistor. Dessa maneira, uma baixa corrente permite que as baterias sejam constantemente carregadas sem que haja necessidade de um dispositivo que monitore a tensão e o tempo de carga delas.

O diodo de proteção continua sendo utilizado visando à proteção contra o descarregamento das pilhas sobre o painel solar.

O circuito idealizado pode ser conferido na figura abaixo:



**Figura 3.12 – Modelo utilizando um LM317 e quatro reguladores de saída fixa**

Podemos colocar numa tabela comparativa as características, vantagens e desvantagens de cada um dos modelos de modo a justificar a proposta escolhida:

Característica	Reg. Multisaída	MAX639	PIC16C7 11	PL3982	Saída Fixa
Facilidade de Implementação	Média	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Custo	Médio	Alto	Alto	Baixo	Baixo
Eficiência	Média	Alta	Alta	Média	Média
Faixa de operação	0°C a 85°C	0°C a 70°C	0°C a 70°C	-40°C a 85°C	-40°C a 125°C
Consumo	Alto	Médio	Médio	Alto	Baixo
Disponibilidade no mercado	Baixa	Média	Média	Alta	Alta
Circuito inteligente	Não	Sim	Sim	Não	Não
Controle de corrente	Não	Sim	Sim	Não	Sim

**Tabela 3.26 - Principais diferenças entre os principais modelos**



## 4. Projeto do sistema de alimentação

Após a análise das especificações, a pesquisa e a escolha dos componentes é hora de montar uma topologia de circuito que maximize a eficiência do modelo, levando em conta a especificação dos reguladores e das células solares.

Não nos atentaremos a tecer mais comentários sobre os cálculos, a escolha e a utilização do painel solar, pois isto se encontra bem explicado na seção 3.2.2 deste documento.

Devido às condições encontradas para a realização deste projeto, houve a necessidade de se dividir esta seção em duas partes: uma para o projeto idealizado para o nó remoto do projeto de irrigação e outra para o projeto que foi posto em prática no laboratório, onde foram feitos todos os testes de autonomia, eficiência energética, consumo, etc.

### 4.1. Projeto idealizado

O modelo do projeto da fonte de alimentação para o nó remoto que foi idealizado pode ser visto na figura 3.12. Optou-se por utilizar reguladores de saída fixa devido ao seu baixo custo em relação à solução oferecida por aqueles de saída ajustável, ou seja, estes necessitam de resistores auxiliares que fazem o papel de divisores de tensão para atingir o valor de tensão desejado. Na soma dos custos os de saída fixa são mais baratos.

Portanto, os reguladores analisados que foram escolhidos estão ilustrados na tabela abaixo:

<b>Modelo do Regulador</b>	<b>Circuito a regular</b>	<b>Tensão de saída</b>
LP2985AIM5-4,8	Sensor de Pressão	4,8 V
LP2985AIM5-3,6	Circuito analógico/digital	3,6 V
LP2985AIBP-2,4	Circuito previsto futuramente	2,4 V
LP2983AIM5-1,2	Circuito de RF	1,2 V

*Tabela 4.1 – Reguladores escolhidos para o projeto*

Quando houver alguma referência ao datasheet dos reguladores, ou então seja de vontade do leitor consultar algum parâmetro que não esteja constado neste documento, os dados fornecidos pelo fabricante encontram-se no anexo 9.3 para o LP2985, no anexo 9.4 para o LP2983 e no anexo 9.1 para o LM317.

A escolha desses reguladores é justificada pela facilidade de implementação, disponibilidade no mercado, baixo custo, baixo consumo e baixa queda de tensão.

A implementação dos reguladores acima expostos é basicamente a mesma da ilustrada pela figura 3.12, com algumas pequenas modificações para poder seguir as especificações de tensão mínima de entrada.

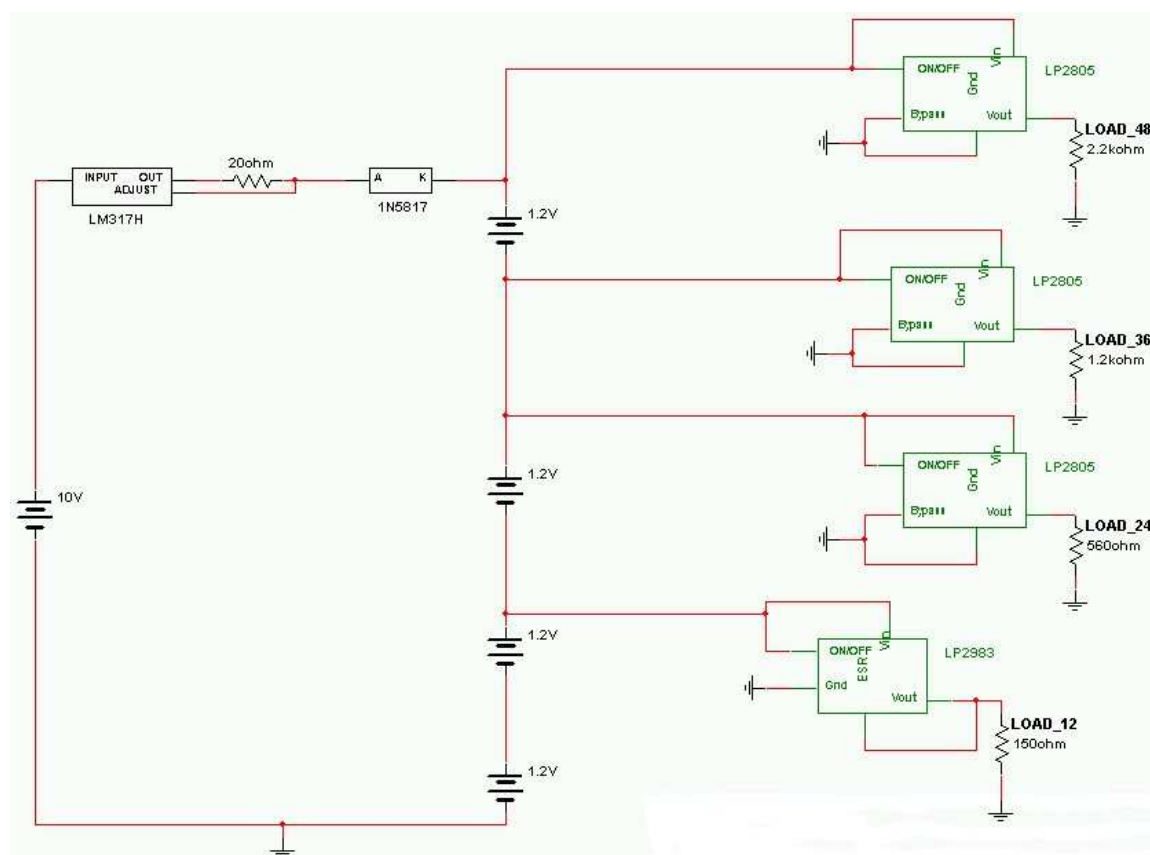
Nesta configuração justifica-se a necessidade de um painel solar que possa fornecer 10 V, porque considerando uma queda de tensão de 3 V no limitador de corrente e uma queda de 0,5 V no diodo, resta 6,5 V para o carregamento das baterias. Considerando que cada bateria deva ser carregada com uma tensão de 1,5 V, o jogo de 4 baterias deve, por conseguinte, ser alimentado com uma tensão mínima de 6 V.

O limitador de corrente, por sua vez, deverá estar configurado para fornecer uma corrente de, aproximadamente, 0,1 vezes a capacidade nominal da bateria utilizada. Portanto, se a bateria possuir uma capacidade típica de 800 mAh, o resistor deverá ser convenientemente escolhido de modo a deixar passar uma corrente de 80 mA. Da mesma maneira, se a bateria for de 700 mAh, o regulador deverá deixar passar 70 mA.

Esse fator de 0,1C (Onde C é a capacidade nominal da bateria) é a corrente máxima recomendada para um carregamento sem meios de detectar seu fim [22]. Dessa maneira, as baterias podem ser carregadas sem a preocupação de sobrecarga. E como o painel estará atuando, na melhor das hipóteses, por 13 ou 14 horas ininterruptas (que é o maior

tempo possível com a presença de luz solar), não deverá haver preocupação com nenhum tipo de sobrecarga.

A figura da topologia final do circuito idealizado pode ser encontrada abaixo:



*Figura 4.1 – Circuito idealizado para o projeto de irrigação*

## 4.2. Projeto realizado

O projeto realizado é essencialmente o ilustrado na figura 3.12, com algumas pequenas modificações nos reguladores para incluir os resistores que atuam como divisores de tensão, a substituição do painel solar por uma fonte de tensão e a mudança da tensão de entrada.

O limitador de corrente está configurado com um resistor de  $20\Omega$  para deixar passar uma corrente de 60 mA, que são exatamente os 10% da capacidade nominal da bateria de 600 mAh utilizada. A fórmula utilizada para achar esse valor foi:

$$I_{out} = \frac{1,25}{R} \quad (4.1)$$

Onde,

$I_{out}$  é a corrente que passa pelo regulador;

$R$  é o resistor acoplado entre as saídas  $V_{out}$  e  $Adj$ .

O diodo utilizado tem uma queda de tensão de 1,1 V a 1 A, segundo informações do fabricante [41].

O LM317 utilizado como regulador de tensão para as saídas de 4,8V, 3,6V, 2,4V e 1,2V precisa do auxílio de dois resistores convenientemente acoplados para fornecer a tensão desejada. Essa tensão de saída pode ser representada pela seguinte fórmula:

$$V_{out} = 1,25 \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} (R2) \quad (4.2)$$

Onde,

$V_{out}$  é a tensão de saída;

$R1$  é o resistor que está entre a saída  $V_{out}$  e  $Adj$ ;

$R2$  é o resistor que está entre a saída  $Adj$  e o terra;

$I_{adj}$  é a corrente quiescente

Como o valor de  $I_{adj}$  é da ordem de microamperes, o segundo termo da equação pode ser desprezado.

Os valores de  $R1$  e  $R2$  devem ser escolhidos de forma a manter uma proporção que forneça a tensão desejada. Por facilidade, fixou-se  $R1$  com  $100\Omega$  para todos os reguladores. Assim, de posse do valor de  $R1$  e da fórmula 4.2, os valores de  $R2$  puderam ser calculados para chegar às tensões desejadas, segundo a tabela abaixo:

Resistor $R2$ ( $\Omega$ )	Tensão (V)
----------------------------	------------

280	4,75
180	3,5
92	2,4
0	1,25

*Tabela 4.2 – Valores de R2 para fornecer a tensão de saída*

O resistor de carga representa o circuito a ser alimentado por aquela saída de tensão. Seus valores foram calculados com base nas estimativas de consumo de cada um dos circuitos, segundo a tabela abaixo:

<b>Circuito</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Potência (mW)</b>	<b>Carga (<math>\Omega</math>)</b>
Sensor de Pressão	4,8	10	2K2
Processador/Memória	3,6	10	1K2
Previsto futuramente	2,4	10	560
Transceptor de RF	1,2	10	150

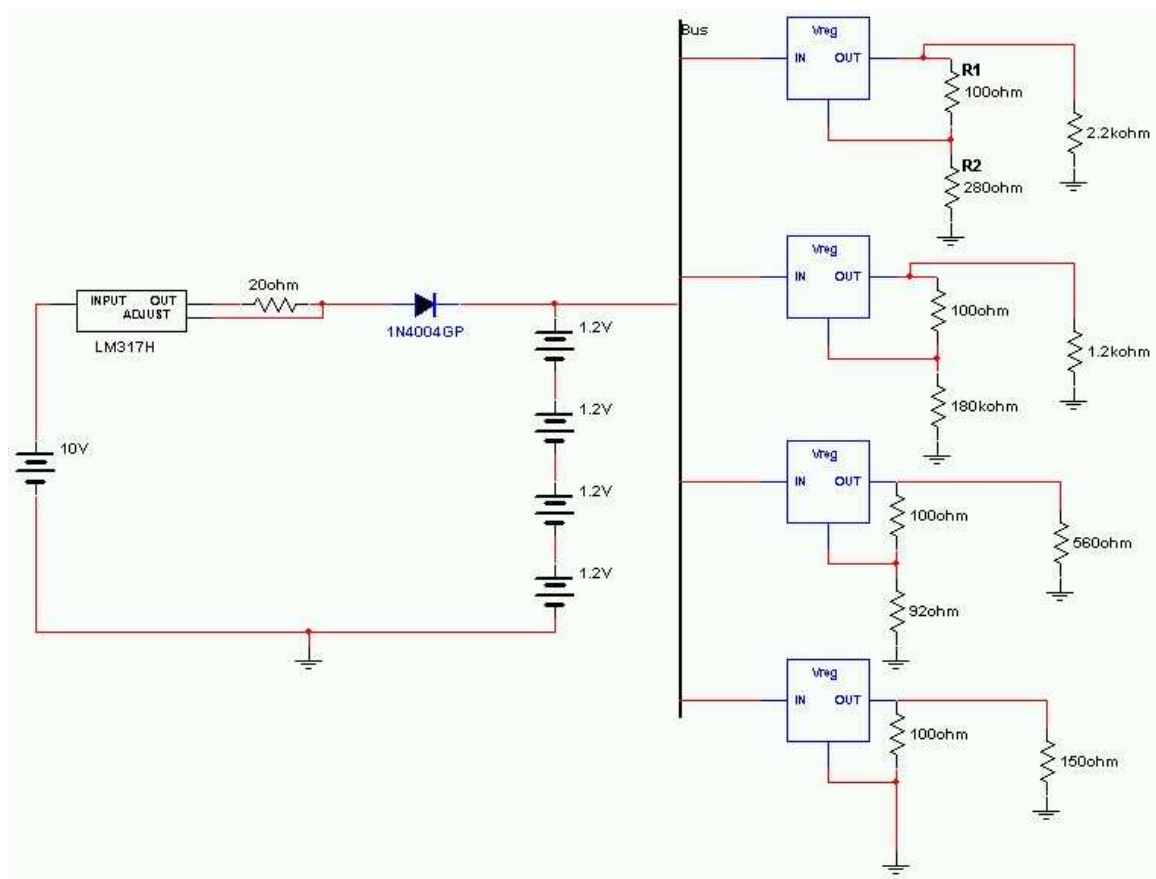
*Tabela 4.3 – Valores da carga para cada um dos reguladores*

Os valores de carga foram calculados baseando-se na lei de Ohm, onde a potência é a tensão ao quadrado sobre a resistência, ou melhor:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4.3)$$

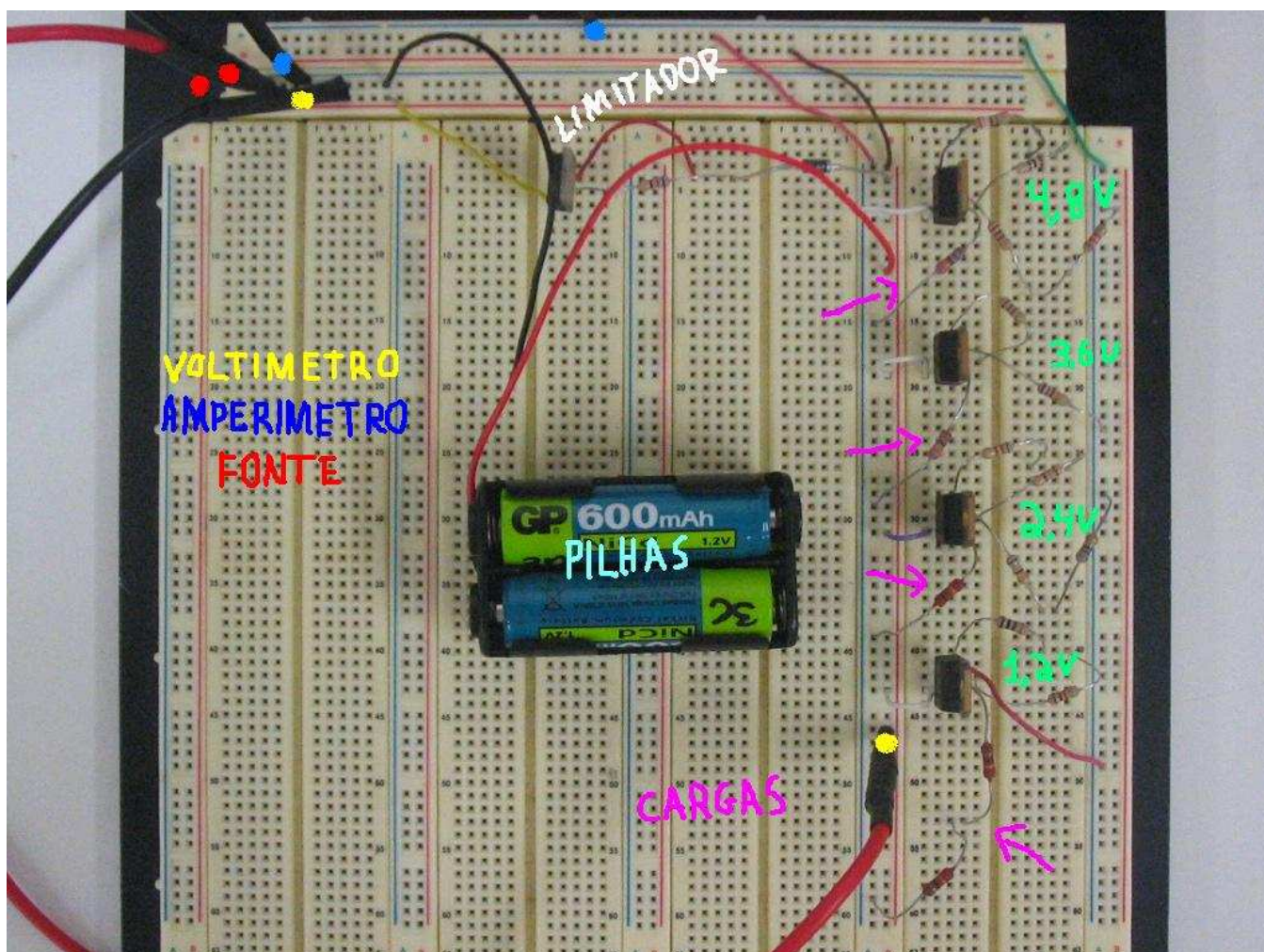
Com essa configuração de carga assumimos que os quatro circuitos estão consumindo 10 mW de potência o tempo todo, ou seja, os testes de autonomia e performance refletirão os resultados do pior caso possível.

Dessa maneira, a figura do circuito final realizado pode ser observada abaixo:



*Figura 4.2 – Circuito realizado para testes*

A foto do sistema efetivamente realizado segue abaixo:



*Figura 4.3 – Circuito implementado no laboratório*

## 5. Testes Realizados

Para a realização dos experimentos foram utilizados os seguintes equipamentos e dispositivos:

- 3 Jogos de pilha de NiCd 600 mAh GP Batteries GP600AAS;
- Resistores de 1R3, 3R9, 10, 12, 15, 68, 82, 100, 120, 150, 180, 1K2, 2K2, 15K2, todos com tolerância de 10%;
- 3 Diodos 1N4004;
- 1 Protoboard Jameco Electronics JE27;
- 2 Multímetros HP 34401A;
- 1 Multímetro Minipa Modelo ET-1000;
- 1 Calibrador HP 6920B;
- 1 Fonte de tensão PHILIPS PE 4819;
- 1 Computador PC DX2-66 com software Benchlink versão 1.01 da HP;
- 1 Termômetro infravermelho ICEL TD-960;
- 2 Décadas resistivas DEKABOX DB52;
- 1 Relógio analógico de parede comum;
- 1 Timer de energia elétrica FLASH PRATIC Typ 867.

Segue abaixo uma foto geral dos equipamentos utilizados:





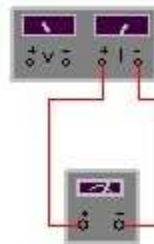
*Figura 5.1 – Equipamentos utilizados no laboratório*

### ***5.1. Instrumentação***

Dada a oportunidade de poder utilizar um calibrador como fonte de tensão/corrente pôde-se verificar a acurácia e os erros apresentados pelos multímetros, pelas décadas e pela fonte de tensão da Philips.

Os testes foram basicamente realizados conectando-se o calibrador ao equipamento a ser testado e verificando se o que o calibrador estava mandando era o que realmente estava sendo lido pelos equipamentos, segundo as figuras abaixo:

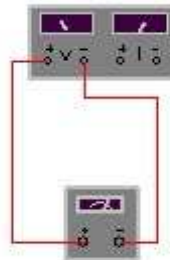
**Calibrador HP 6920B**



**Multímetro HP 34401A**

**Figura 5.2 – Aferição do amperímetro**

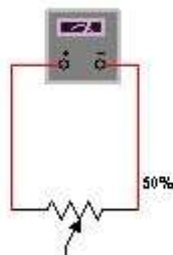
**Calibrador HP 6920B**



**Multímetro HP 34401A**

**Figura 5.3 – Aferição do voltagem**

**Multímetro HP 34401A**



**Década resistiva DEKABOX DB52**

**Figura 5.4 – Aferição da década resistiva**

As Décadas foram aferidas pelos multímetros, após estes terem sido testados e calibrados. Com o uso do computador e a configuração do software “Benchlink” foi possível fazer com que o computador lesse a cada 10 minutos os valores indicados no multímetro e os guardasse numa tabela com informações de data, hora e valores.

## 5.2. Componentes

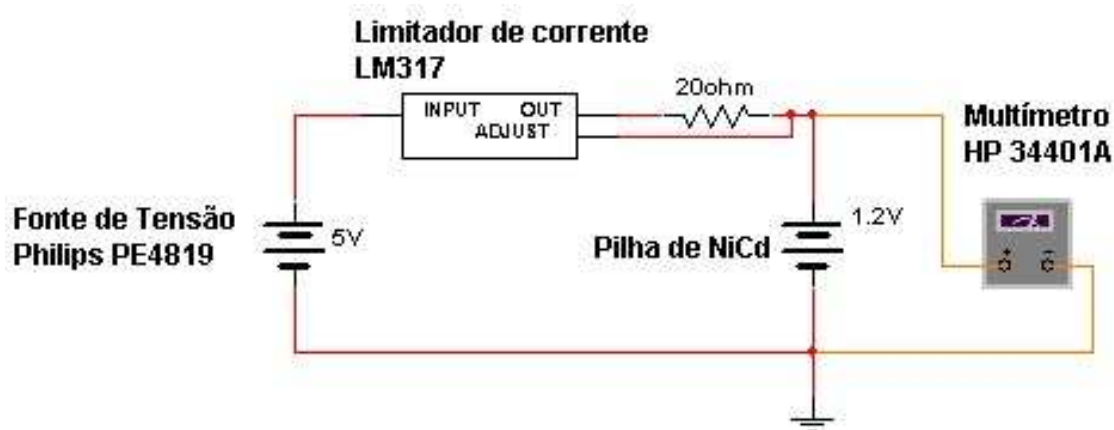
### 5.2.1 Pilhas

O teste da pilhas tem como objetivo verificar a confiabilidade e autonomia que elas podem oferecer para a performance de todo o sistema. Além disso, os teste foram utilizados para verificar as curvas de carga e descarga descritas pelo fabricante, de modo a comprovar se o lote adquirido estava em conformidade com as especificações.

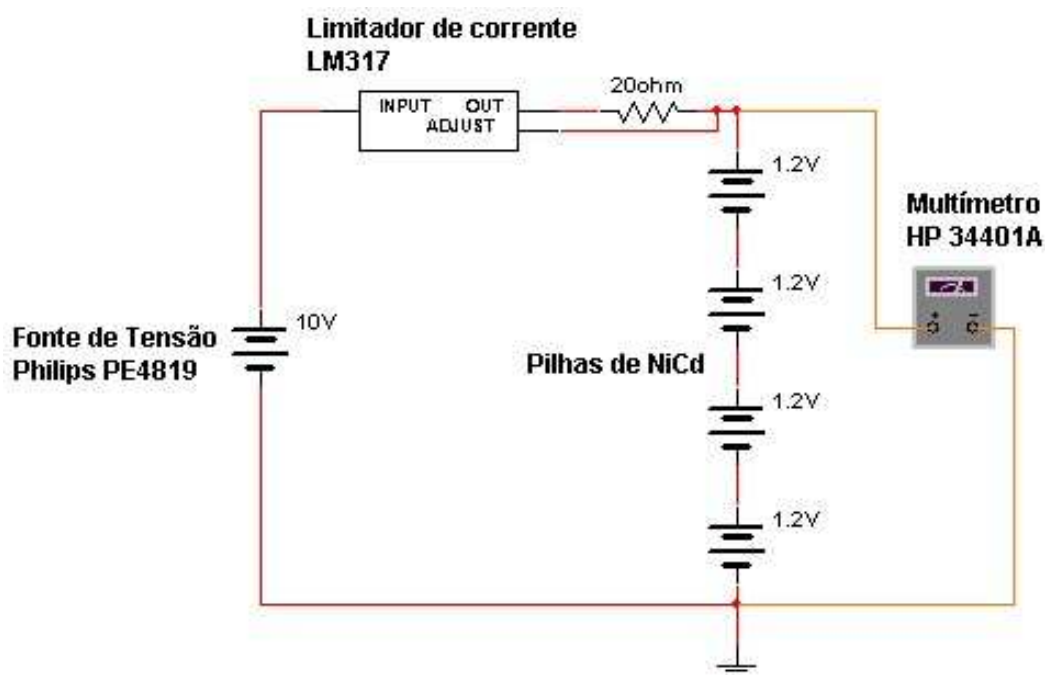
Foram realizados, basicamente, os seguintes testes com as baterias isoladas (sem estarem acopladas ao resto do sistema), a saber:

#### 5.2.1.1. Carga lenta a 60 mA

O teste de carga lenta é um processo que leva de 16 a 20 horas para se completar e tem como objetivo tentar reproduzir as curvas oferecidas pelo fabricante. Os primeiros testes foram realizados anotando-se apenas as tensões inicial e final das pilhas, enquanto que nos últimos houve a oportunidade de usar o computador para coletar os dados. O teste de carga a 60 mA foi montado segundo as seguintes topologias:



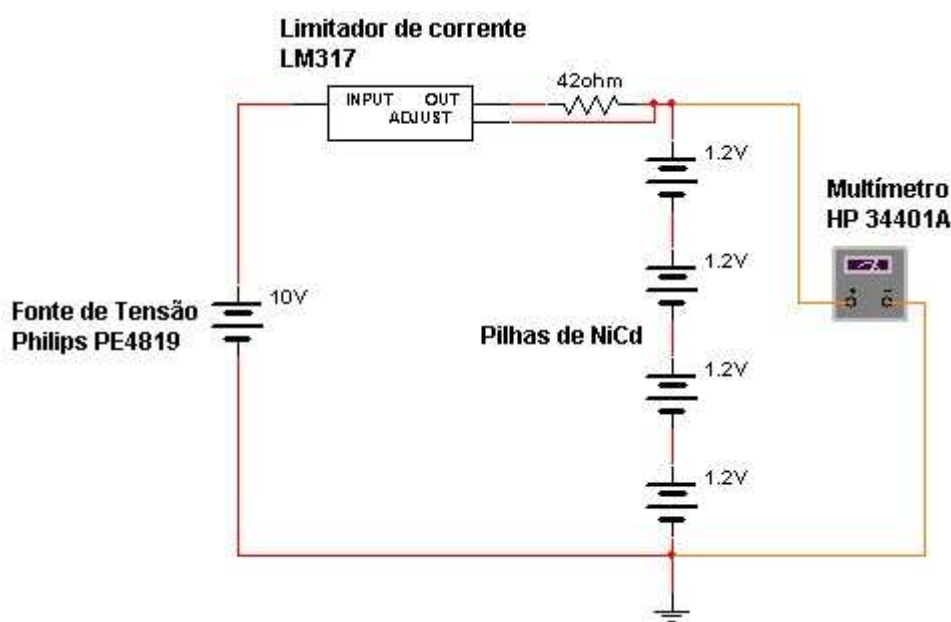
*Figura 5.5 – Teste de carga a 60 mA para uma pilha*



*Figura 5.6 – Teste de carga a 60 mA para quatro pilhas*

#### 5.2.1.2. Carga lenta a 30 mA;

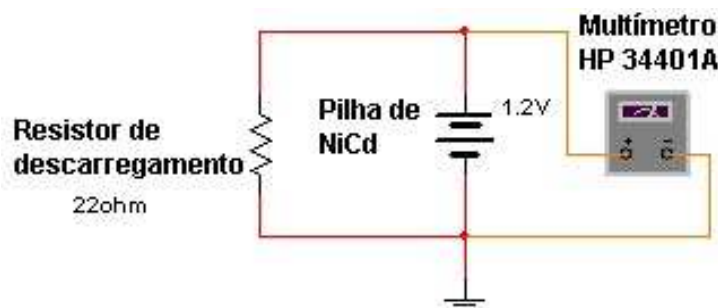
Este teste foi realizado para mostrar o comportamento das pilhas em condições parecidas com as do circuito final, onde a corrente de carga será de aproximadamente 30mA. O circuito montado segue abaixo:



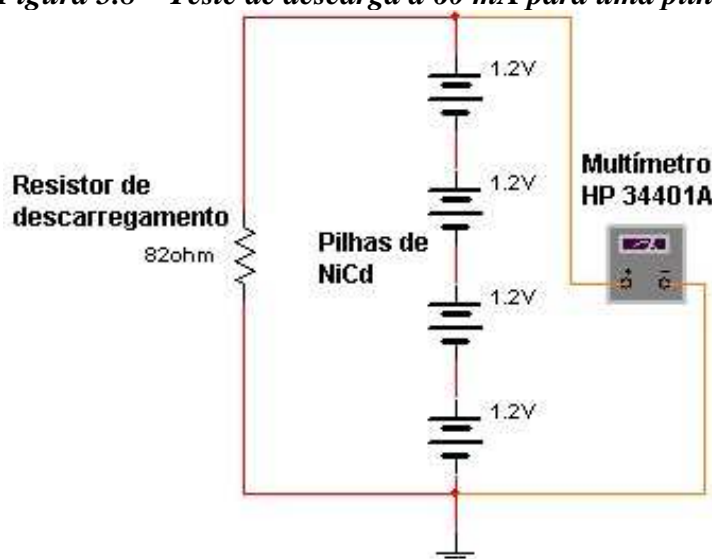
*Figura 5.7 – Teste de carga a 30 mA para quatro pilhas*

### 5.2.1.3. Descarga lenta a 60 mA;

Assim como a carga lenta a 60 mA, este teste tem como objetivo verificar a conformidade das pilhas adquiridas com os dados do fabricante. Os circuitos utilizados seguem abaixo:



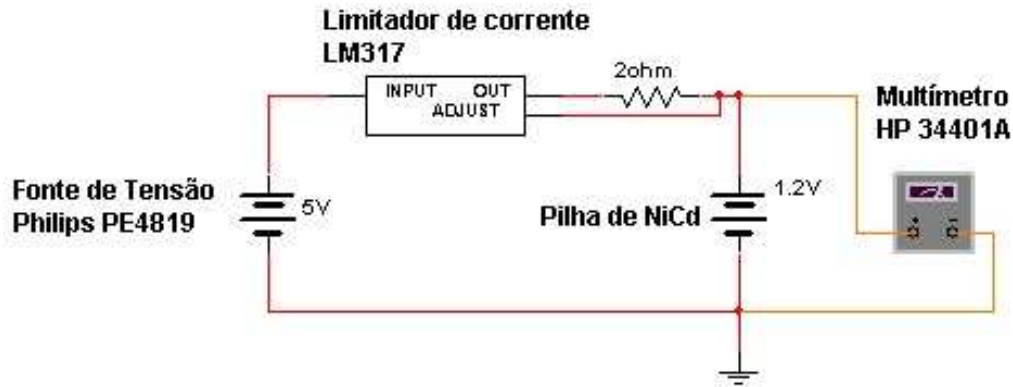
*Figura 5.8 – Teste de descarga a 60 mA para uma pilha*



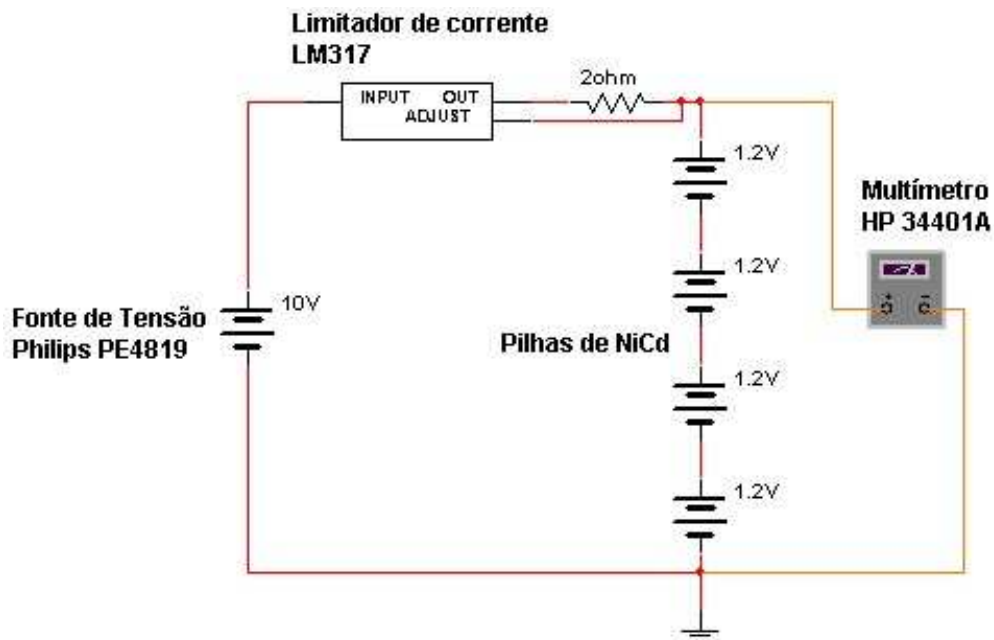
*Figura 5.9 – Teste de descarga a 60 mA para quatro pilhas*

### 5.2.1.4. Carga rápida a 600 mA;

O teste de carga rápida pode demorar até 2 horas para se realizar e também foi concebido para corroborar as curvas do fabricante. Os dados foram coletados em intervalos de 5 e 10 minutos e as topologias seguem abaixo:



*Figura 5.10 – Teste de carga a 600 mA para uma pilha*



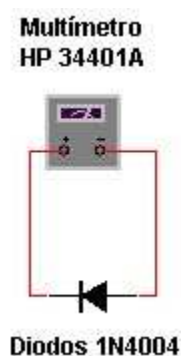
*Figura 5.11 – Teste de carga a 600 mA para quatro pilhas*

### 5.2.2 Resistores e diodos

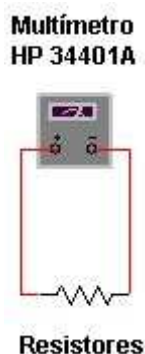
Neste teste verificou-se se os resistores estavam dentro de sua faixa de tolerância e se o diodo estava conduzindo no sentido correto, cortando no sentido contrário e qual a sua queda de tensão.

O multímetro utilizado possuía uma precisão bastante grande, permitindo avaliar os valores de resistência com grande eficácia. Ele também possuía uma função especial que permite testar a funcionalidade dos diodos e a queda de tensão sobre eles, restando apenas anotar os valores indicados.

Os testes podem ser visualizados conforme as seguintes figuras:



*Figura 5.12 – Teste dos diodos*



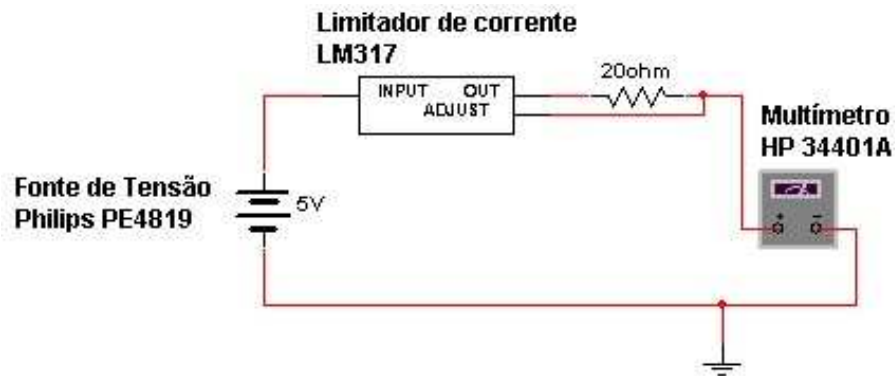
*Figura 5.13 – Teste dos resistores*

### 5.2.3 Reguladores

O teste dos reguladores foi concebido verificar os itens mais importantes constados no datasheet do fabricante, como, por exemplo, corrente quiescente, corrente de saída, tensão de saída, variação de tensão e variação de corrente.

Foram realizados dois grupos de testes diferentes para o LM317, pois num deles a configuração estava como regulador de tensão e no outro era de limitador de corrente.

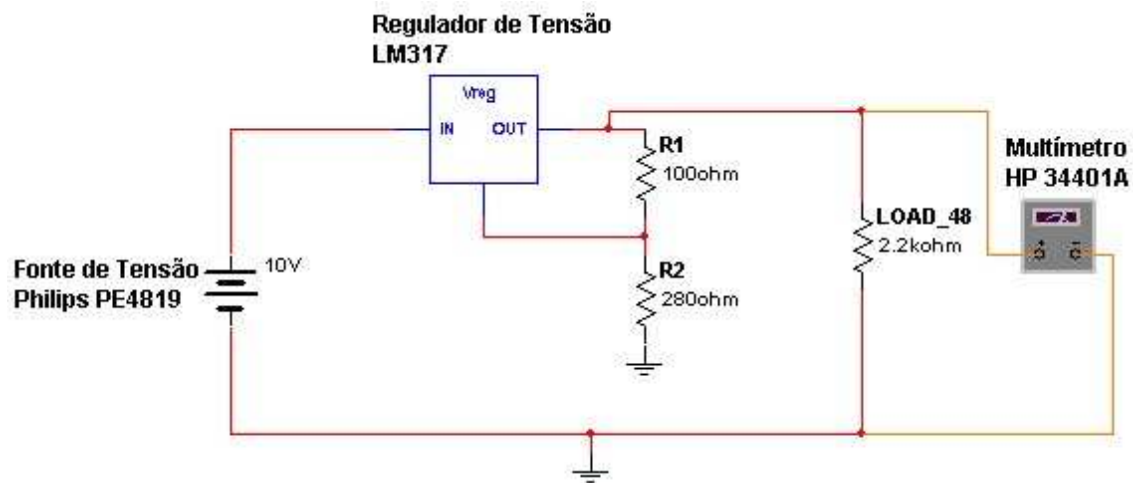
Inicialmente foi realizado o teste de limitação da corrente utilizando um LM317, o calibrador, um resistor de 20Ω e um multímetro no modo amperímetro, segundo a topologia a seguir:



**Figura 5.14 – Teste da corrente do regulador**

A tensão foi variada entre 5 V e 10 V e foram observados os valores indicados pelos multímetros, bem como a variação da corrente para uma dada tensão fixa. Os valores foram comparados com os dados fornecidos pelo fabricante.

O segundo teste consistiu em verificar a tensão de saída do LM317 no modo regulador de tensão. Para verificar isso, foram utilizados um voltímetro e três resistores de valores 2K2  $\Omega$ , 100  $\Omega$  e 280  $\Omega$ , que foram montados segundo a seguinte topologia:



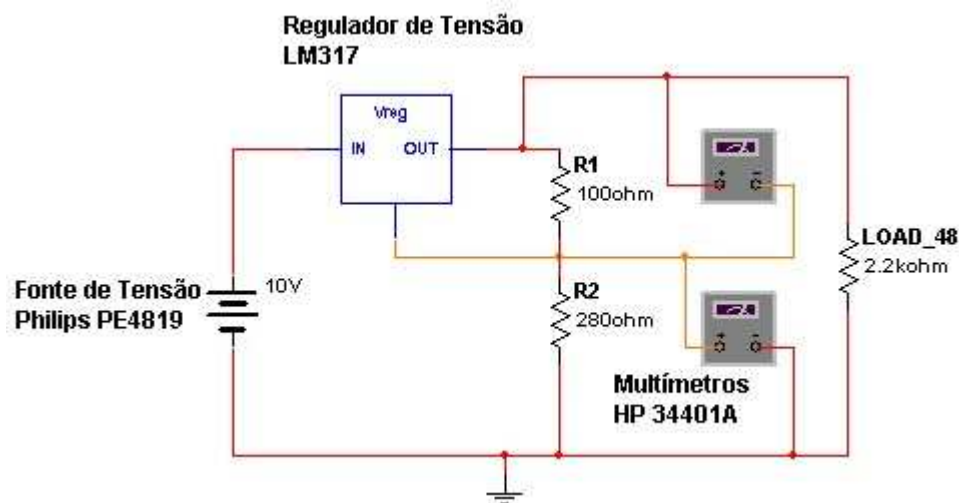
**Figura 5.15 – Teste da tensão de saída do regulador**

Os resistores de 100  $\Omega$  e 280  $\Omega$  fazem um divisor de tensão, enquanto que o resistor de 2K2  $\Omega$  atua como carga. Os valores de tensão



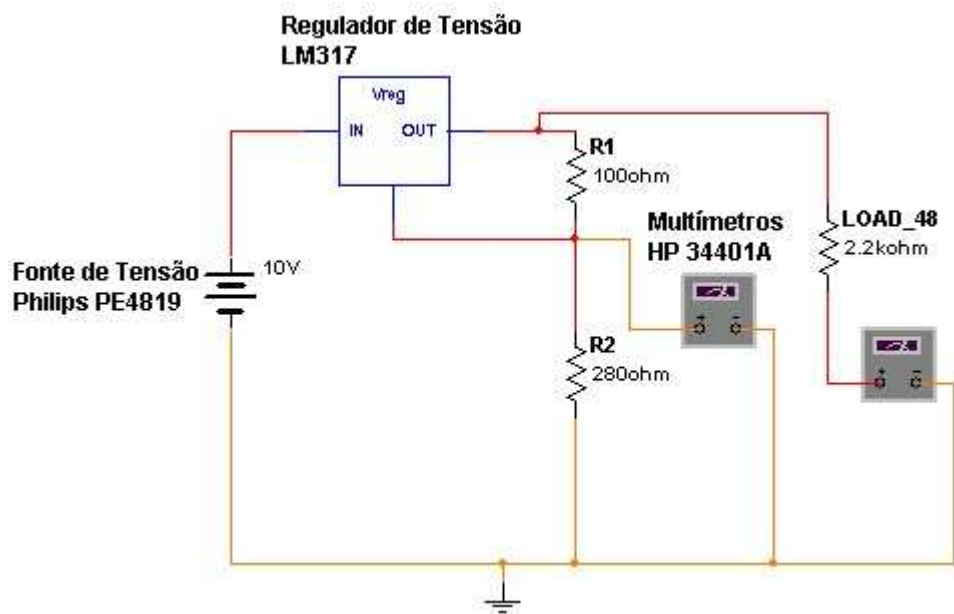
de saída, bem como variação, foram anotados e comparados com os dados do fabricante.

Para achar a corrente quiescente adicionaram-se dois voltímetros para calcular a tensão em cima dos resistores R1 e R2. De posse dos valores de tensão e utilizando a lei de Ohm, a diferença entre as correntes que passam por R1 e R2 é a corrente quiescente. A seguinte topologia foi estruturada:



*Figura 5.16 – Teste da corrente quiescente do regulador*

O último teste visou diminuir a corrente de fuga dos reguladores de modo que a duração das baterias em cima do circuito seja maior. A topologia utilizada segue abaixo:



*Figura 5.17 – Teste de minimização da corrente de fuga*

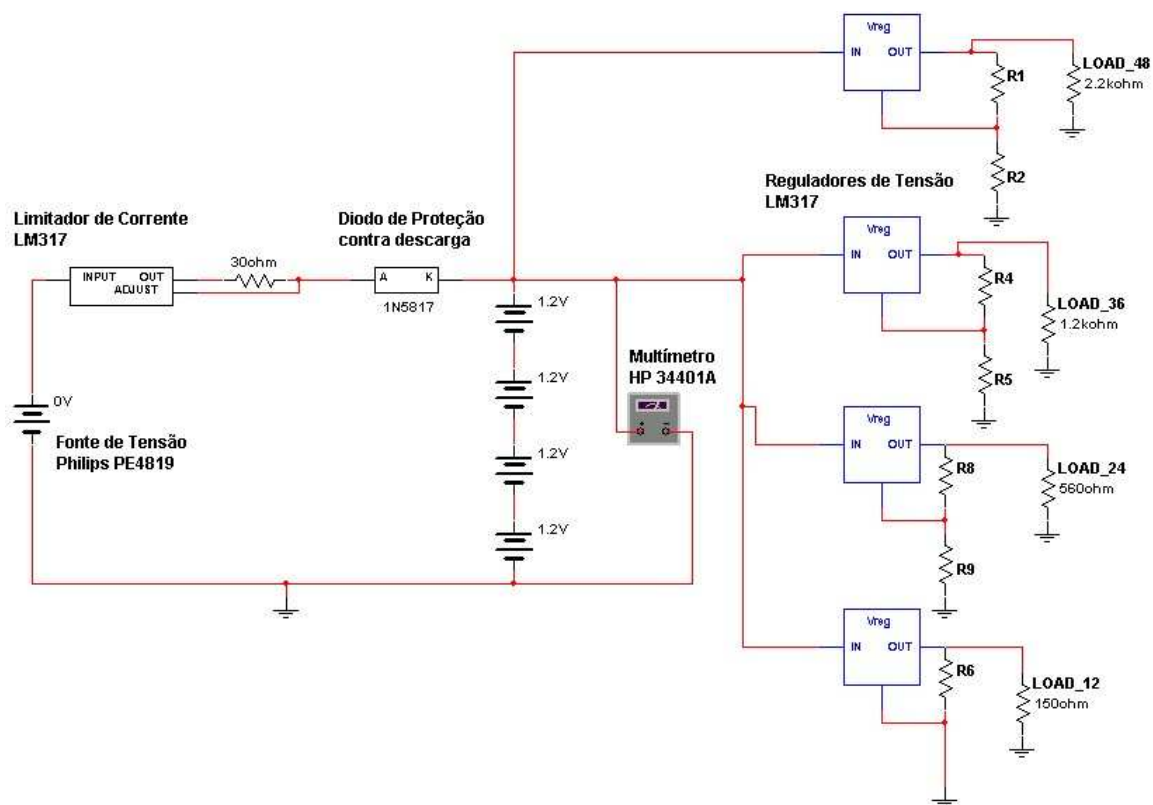
### 5.3. Sistema

É natural que aconteça um teste prático de todo o sistema a fim de verificar a funcionalidade e eficiência do modelo que foi idealizado. Procurou-se ao máximo simular o ambiente em que o circuito se encontrará dentro do projeto Milênio, e isso inclui grandes variações de tensão no painel solar, várias horas sem a ajuda do painel, diferentes temperaturas, etc.

Os teste realizados foram basicamente os seguintes:

#### 5.3.1. Autonomia do circuito

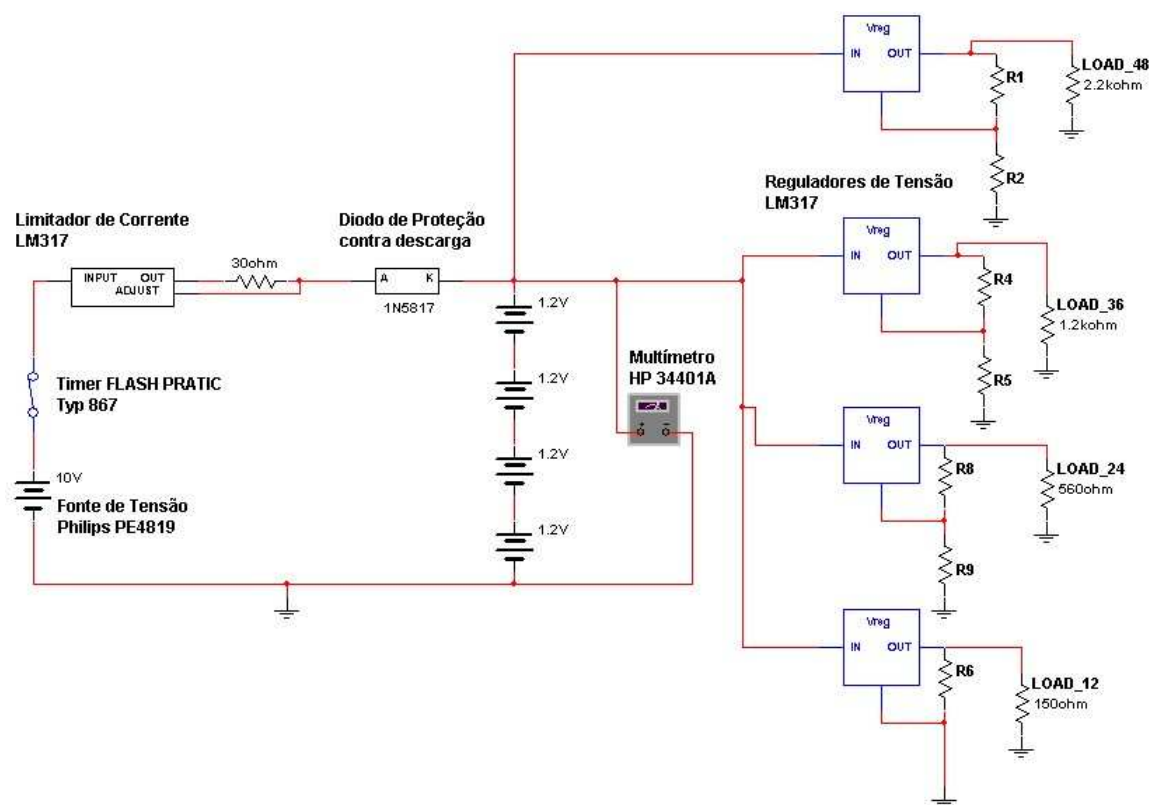
Neste teste o conjunto de baterias foi conectado ao sistema e os valores de tempo, tensões em cada um dos reguladores e tensão na bateria foram anotadas. O esquema do circuito utilizado segue abaixo:



**Figura 5.18 – Teste de autonomia do circuito**

### 5.3.2. Simulação de dia e noite

Essa simulação nada mais é do que a ausência e a presença de tensão da fonte em cima do sistema. Foram testados regimes de 12 horas ininterruptas de energia intercalados por um período de 12 horas sem a atuação da fonte de alimentação. O timer utilizado no teste foi ajustado para ligar durante doze horas e depois permanecer desligado por mais 12, fazendo isso por 10 ciclos seguidos, totalizando 5 dias de teste. Todos os dados foram colhidos pelo computador e o teste foi realizado seguindo a seguinte topologia:



*Figura 5.19 – Simulação de “dia” e “noite”*

## 6. Resultados e Discussão

Para os testes que seguiremos iremos nos referir à corrente de carga e descarga como múltiplos de “C”, onde “C” indica a capacidade nominal da pilha. Sendo assim, uma pilha de 600 mAh tem seu “C” igual a 600 mA e 0,1C é igual a 60 mA.

Os testes com os dispositivos duraram aproximadamente 2 semanas e seus resultados não serão apresentados na ordem cronológica, mas, sim, em 4 grandes grupos de testes.

Quando necessária, a fórmula utilizada para o cálculo da corrente que passa pelo LM317 é:

$$I_{out} = \frac{1,25}{R} \quad (6.1)$$

Onde,

$I_{out}$  é a corrente de saída em A;

R é o resistor limitador em  $\Omega$ .

### 6.1 Resultado do teste de instrumentação

Os resultados dos testes de instrumentação serão divididos em três pequenas categorias: Teste dos multímetros, teste das décadas e teste da fonte de alimentação.

#### 6.1.1 Teste dos multímetros

O teste dos multímetros foi realizado segundo a topologia indicada nas figuras 5.2 e 5.3. Com o calibrador conectado no modo voltímetro, o multímetro indicava exatamente o que estava sendo enviado pelo calibrador. A precisão do calibrador era de apenas 2 casas decimais, enquanto que o multímetro tinha condições fazer medidas de micro volt. Segue abaixo a tabela com os resultados da medição:

<b>Valor indicado pela fonte (V)</b>	<b>Valor indicado pelo voltímetro (V)</b>
8,00	8,00352

*Tabela 6.1 – Leitura indicada pelo voltímetro*

O mesmo aconteceu com o multímetro no modo amperímetro. Segue abaixo a tabela correspondente:

<b>Valor indicado pela fonte (mA)</b>	<b>Valor indicado pelo amperímetro (mA)</b>
8,00	8,00199

*Tabela 6.2 – Leitura indicada pelo amperímetro*

### 6.1.2 Teste das décadas resistivas

O teste das décadas resistivas está ilustrado pela figura 5.4 e o resultado pode ser conferido pela tabela abaixo:

<b>Valor selecionado (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Valor indicado pelo Década 1 (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Valor indicado pelo Década 2 (<math>\Omega</math>)</b>
10	10,352	10,521
50	50,352	50,521
100	100,352	100,521
500	500,352	500,521
1000	1000,352	1000,521
10000	10000,352	10000,521
100000	100000,352	100000,521

*Tabela 6.3 – Resistências aferidas pelo multímetro*

Os resultados nos mostram que há um offset diferente em cada uma das décadas resistivas, independente do valor de resistência escolhido. Quando as décadas foram utilizadas foi necessário recordar o valor do offset.

## 6.2 Resultados dos testes das pilhas

Para os testes com as pilhas as subdividimos em 3 grupos com 4 pilhas cada grupo. Os grupos foram numerados de 1 a 3 e as pilhas de cada grupo receberam as letras do alfabeto, A, B, C e D. Assim, uma pilha caracterizada como 2D é a pilha D do grupo 2.

Dessa maneira, a forma de identificar as pilhas e os testes que foram feitos com cada uma delas torna-se mais fácil.

Todas as topologias utilizadas estão ilustradas na seção 5.2.1, sendo que faremos referência apenas ao número da figura quando quisermos mostrar a topologia.

### 6.2.1. Primeiro teste de descarga lenta a 60 mA

O presente teste foi realizado segundo a topologia indicada pela figura 5.9 e possui as seguintes condições iniciais:

Pilhas	1A, 1B, 1C e 1D
Tensão inicial 1A	1,2454V
Tensão inicial 1B	1,2443V
Tensão inicial 1C	1,2356V
Tensão inicial 1D	1,2370V
Tensão Inicial total	4,9622V
Temperatura ambiente	26°C
Resistor de descarregamento	82 $\Omega$
Corrente teórica inicial	60,5 mA

*Tabela 6.4 – Condições do primeiro teste de descarga lenta a 60 mA*

Os resultados obtidos podem ser observados na seguinte tabela:

Tempo (min)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Temperatura (°C)
0	4,77	58	26,2
20	4,57	56	26
65	4,52	55	26
90	4,49	54	26,1
900 (15 hr)	34 mV	0	26,5

*Tabela 6.5 – Resultados do primeiro teste de descarga lenta a 60 mA*

O teste que foi concebido para durar mais de 16 horas acabou por ter tido algum problema com alguma das baterias, pois depois de 15 horas de teste a tensão final estava por volta de 34 mV. De fato, seguem abaixo os valores de tensão individual e total depois de 4 horas desconectadas da carga:

Tensão final 1A	1,2162V
Tensão final 1B	1,17V
Tensão final 1C	1,164V
Tensão final 1D	19 mV
Tensão final total	3,53V

***Tabela 6.6 – Tensões nas baterias***

Com estes dados identificamos claramente que a bateria 1D teve um comportamento de descarga fora do normal. Depois deste teste a bateria foi colocada em observação.

#### **6.2.2. Segundo teste de descarga lenta a 60 mA**

Para este teste utilizamos a mesma topologia usada no primeiro teste de descarga lenta a 60 mA ilustrada na figura 5.9. Substituiu-se a bateria que estava com suspeita de falha, a 1D, pela bateria 2A. As condições do teste podem ser observadas a seguir:

Pilhas	1A, 1B, 1C e 2A
Tensão inicial 1A	1,22V
Tensão inicial 1B	1,193V
Tensão inicial 1C	1,177V
Tensão inicial 2A	1,236V
Tensão Inicial total	4,8236V
Temperatura ambiente	26°C
Resistor de descarregamento	82 $\Omega$
Corrente teórica inicial	58,8 mA

***Tabela 6.7 – Condições do segundo teste de descarga lenta a 60 mA***

Os resultados podem ser verificados pela seguinte tabela:

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (mA)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	2,5	30,5	26,2
5	0,408	5	26
15	0,227	2,7	26
25	0,193	2,3	26,1

***Tabela 6.8 – Resultados do segundo teste de descarga lenta a 60 mA***



A tensão quando tiramos a carga foi para 250 mV e depois de duas horas estabilizou em 3,945V

### 6.2.3. Primeiro teste de carga lenta a 60 mA

Na terceira tentativa de carregar as baterias com uma pequena corrente de 60 mA utilizou-se a topologia da figura 5.6 e anotaram-se as seguintes condições iniciais:

Pilhas	3A, 3B, 3C e 3A
Tensão inicial 1A	1,228V
Tensão inicial 1B	1,245V
Tensão inicial 1C	1,227V
Tensão inicial 2A	1,245V
Tensão Inicial total	4,956V
Temperatura ambiente	26°C
Tensão da fonte	10 V
Resistor limitador	20 $\Omega$
Corrente máxima teórica	62,5 mA

***Tabela 6.9 – Condições do primeiro teste de carga lenta a 60 mA***

Este teste foi realizado exatamente segundo as informações pesquisadas para carga de uma célula de NiCd. Uma fonte de tensão com um limitador de corrente.

Apenas os dados inicial e final foram coletados, segundo a tabela abaixo:

Tempo (horas)	Tensão (V)
0	5,195
16	6,005

***Tabela 6.10 – Resultado do primeiro teste de carga lenta a 60 mA***

Assim que a fonte foi desligada, a tensão total caiu para 5,65 V. Depois de 2 horas, as baterias assumiram as seguintes configurações de tensão:

Tensão final 3A	1,375V
Tensão final 3B	1,375V
Tensão final 3C	1,374V
Tensão final 3D	1,375V
Tensão final total	5,498V

***Tabela 6.11 – Tensão final das baterias 3A, 3B, 3C e 3D***

Pode-se perceber que este tipo de topologia permitiu o carregamento igual das 4 baterias, fato esse não havia acontecido nos testes anteriores.

#### **6.2.4. Primeiro teste de carga rápida a 600 mA**

Este é um dos testes realizados para corroborar as curvas de carga fornecidas pelo fabricante. O circuito foi montado segundo a topologia da figura 5.11 e as condições do teste eram as seguintes:

Pilhas	1A, 1B, 1C e 2A
Tensão inicial 1A	1,270V
Tensão inicial 1B	1,265V
Tensão inicial 1C	1,265V
Tensão inicial 2A	1,274V
Tensão Inicial total	5,074V
Temperatura ambiente	26°C
Tensão da fonte	10 V
Resistor limitador	2 $\Omega$
Corrente máxima teórica	625 mA

***Tabela 6.12 – Condições do primeiro teste de carga rápida a 600 mA***

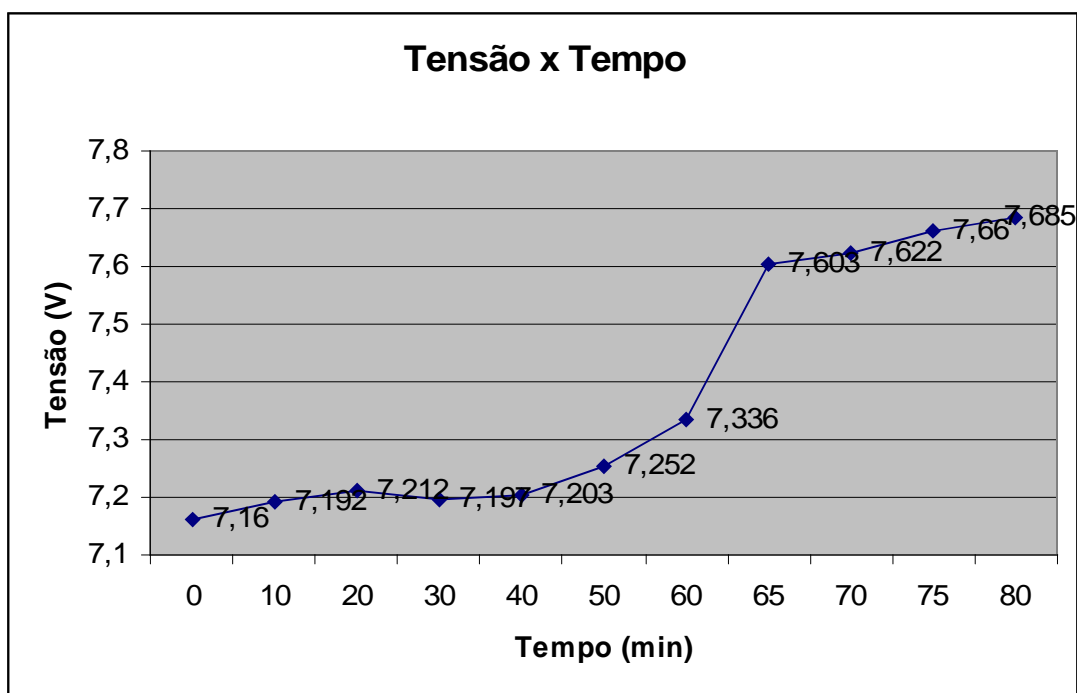
Os resultados foram de acordo com o esperado e os dados seguem na tabela abaixo:

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	7,16	26,7
10	7,192	28
20	7,212	31
30	7,197	32,6
40	7,203	33,5
50	7,252	34,8
60	7,336	36,3

65	7,603	37,4
70	7,622	39
75	7,660	41,3
80	7,685	43

**Tabela 6.13 – Resultados do primeiro teste de carga rápida a 600 mA**

O gráfico da tabela acima segue abaixo:



**Gráfico 6.1 – Resultado do primeiro teste de carga rápida a 600 mA**

Como um teste de carga rápida pode danificar a bateria, caso ocorra uma sobrecarga, optou-se por colher dados de apenas 80 minutos, visto que neste momento a temperatura das baterias já estava em 43°C e a tensão total estava por volta de 7,685, o que dá uma média de 1,92 V por bateria.

Depois de retirada a fonte de tensão e passadas 2 horas, as tensões das pilhas ficaram da seguinte maneira:

Tensão final 1A	1,4V
Tensão final 1B	1,405V
Tensão final 1C	1,402V
Tensão final 2A	1,394V
Tensão final total	5,69V

***Tabela 6.14 – Tensão final das baterias 1A, 1B, 1C e 2A***

Analizando o gráfico, podemos observar uma grande inclinação a partir de 60 minutos e, a partir dos 65, uma tendência à estabilidade. De fato, se o procedimento fosse continuado por mais algumas dezenas de minutos, a tendência era que se pudesse observar uma pequena queda da tensão com relação ao seu valor anterior, ou seja, um  $\Delta V$  negativo.

#### **6.2.5. Segundo teste de carga rápida a 600 mA**

Este teste foi feito com apenas uma pilha, segundo a topologia indicada na figura 5.10. As condições iniciais do circuito eram:

Pilha	2B
Tensão total	1,2397V
Temperatura ambiente	26°C
Tensão da fonte	7 V
Resistor limitador	2 $\Omega$
Corrente máxima teórica	625 mA

***Tabela 6.15 – Condições do segundo teste de carga rápida a 600 mA***

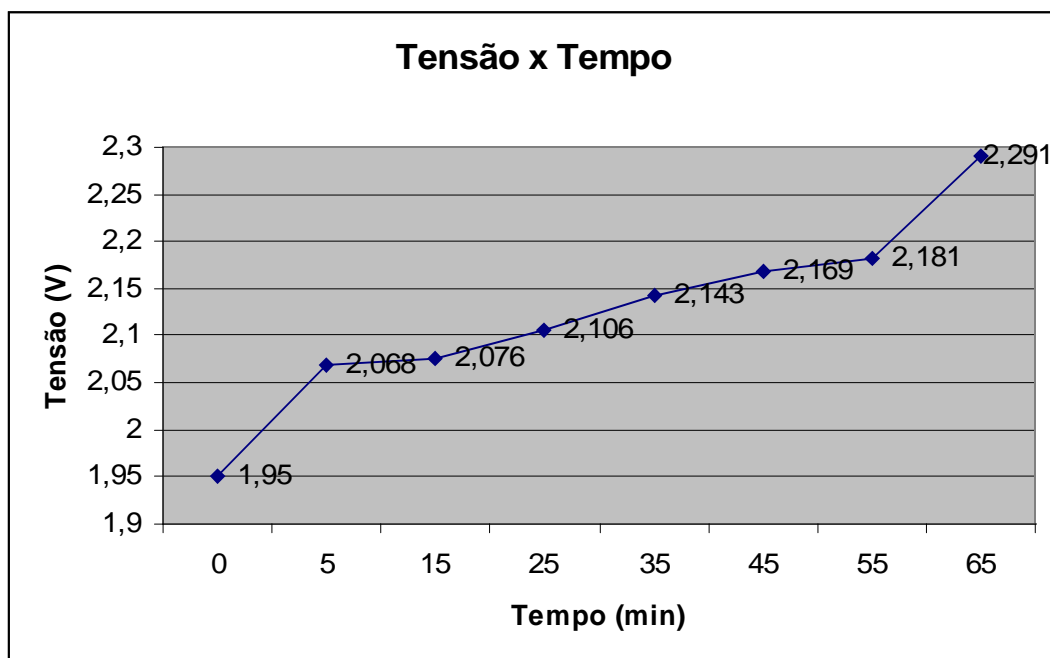
Os dados colhidos podem ser verificados na tabela abaixo:

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	1,95	26,3
5	2,068	26,7
15	2,076	27,2
25	2,106	27,8
35	2,143	28,3
45	2,169	29,8
55	2,181	31,5
65	2,291	33,2

***Tabela 6.16 – Resultados do segundo teste de carga rápida a 600 mA***

Quando a fonte foi retirada, a tensão caiu para 1,46V e estabilizou em 1,377V, denotando carga completa.

Segue abaixo o gráfico da tensão da pilha pelo tempo:



*Gráfico 6.2 – Resultado do segundo teste de carga rápida a 600 mA*

Já neste gráfico não é possível prever o comportamento da pilha além dos 65 minutos já relatados. A tendência é que haja uma pequena queda, ou seja, um  $\Delta V$  negativo.

#### **6.2.6. Terceiro teste de descarga lenta a 60 mA**

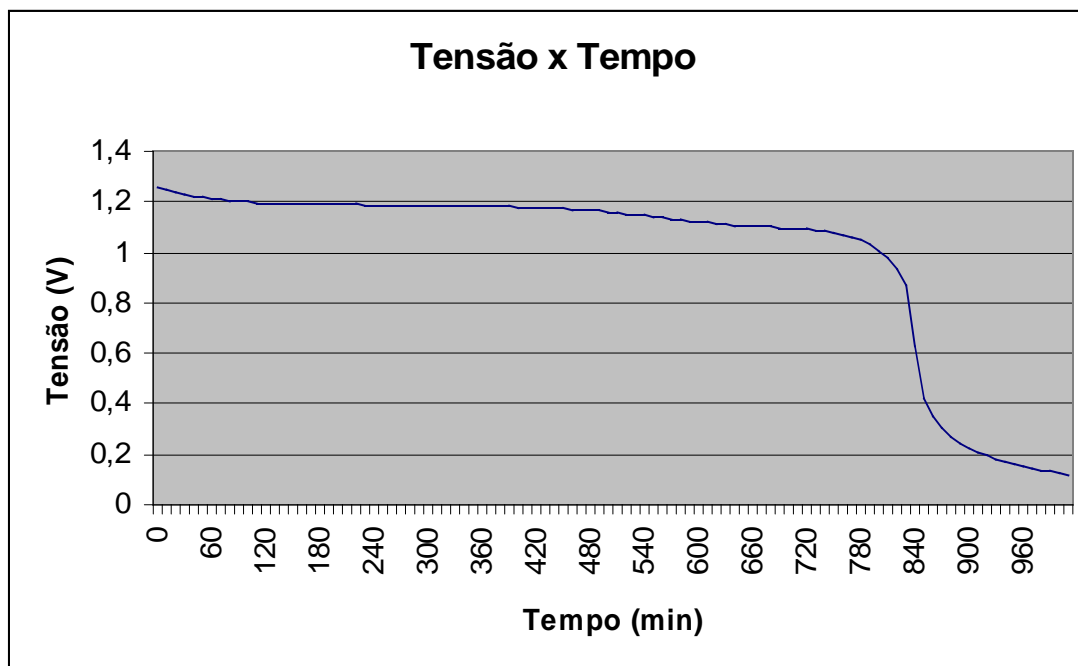
Este foi o primeiro teste em que houve a oportunidade de se usar o computador como auxílio para a captura dos dados. O circuito foi montado segundo a topologia indicada na figura 5.8 e os dados foram capturados a cada 10 minutos durante 17 horas, gerando uma tabela com mais de 100 valores.

As condições iniciais do teste eram as seguintes:

Pilha	2D
Tensão total	1,363V
Temperatura ambiente	26°C
Resistor de descarregamento	22 $\Omega$
Corrente máxima teórica	56,8 mA

***Tabela 6.17 – Condições do terceiro teste de descarga lenta a 60 mA***

O gráfico dos resultados obtidos segue abaixo:



***Gráfico 6.3 – Resultado do terceiro teste de descarga lenta a 60 mA***

Percebe-se claramente que a ajuda computacional permite que se chegue mais próximo das curvas fornecidas pelo fabricante.

Conforme ilustrado no anexo 9.2, a figura de descarga a 60 mA se assemelha bastante à curva encontrada no experimento.

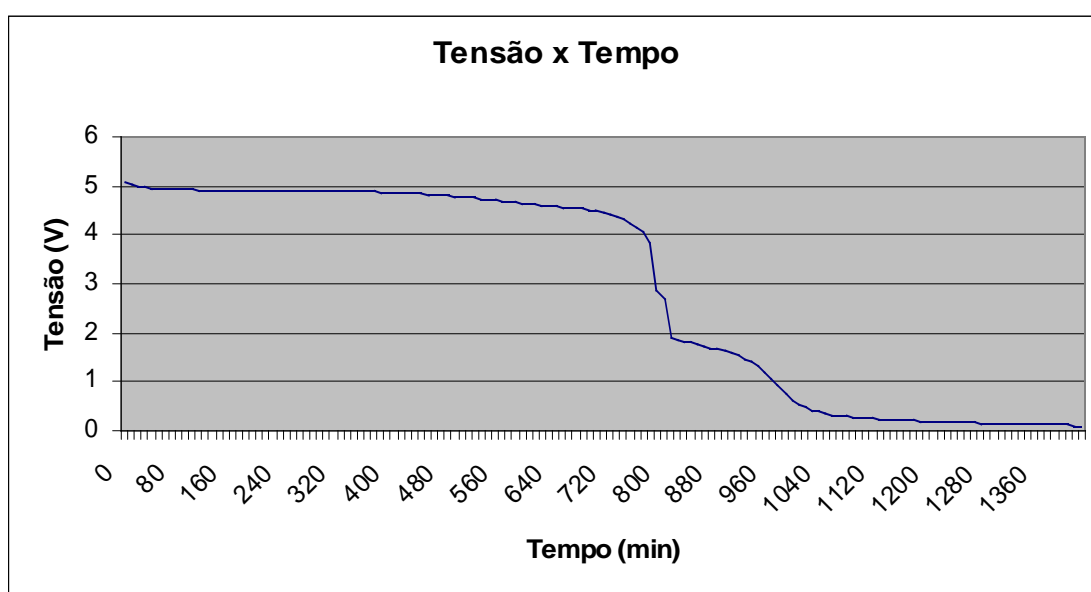
#### **6.2.7. Quarto teste de descarga lenta a 60 mA**

Este teste segue os mesmos padrões do teste anterior, só que agora é para quatro pilhas. As condições iniciais são as seguintes:

Pilhas	3A, 3B, 3C e 3D
Tensão total	5,341V
Temperatura ambiente	26°C
Resistor de descarregamento	82 $\Omega$
Corrente máxima teórica	65,1 mA

***Tabela 6.18 – Condições do quarto teste de descarga lenta a 60 mA***

Os dados foram coletados em intervalos de 10 minutos durante 23 horas. Devido ao grande número de valores da tabela, será exibido apenas o gráfico correspondente.



***Gráfico 6.4 – Resultado do quarto teste de descarga lenta a 60 mA***

Percebe-se uma pequena anomalia no gráfico, provavelmente causada pelo descarregamento desigual das pilhas. Enquanto que era para ser observada uma curva parecida com a do teste para apenas 1 pilha, há uma pequena “quebra” por volta da 13ª hora de teste.

#### **6.2.8. Teste de carga lenta a 30 mA**

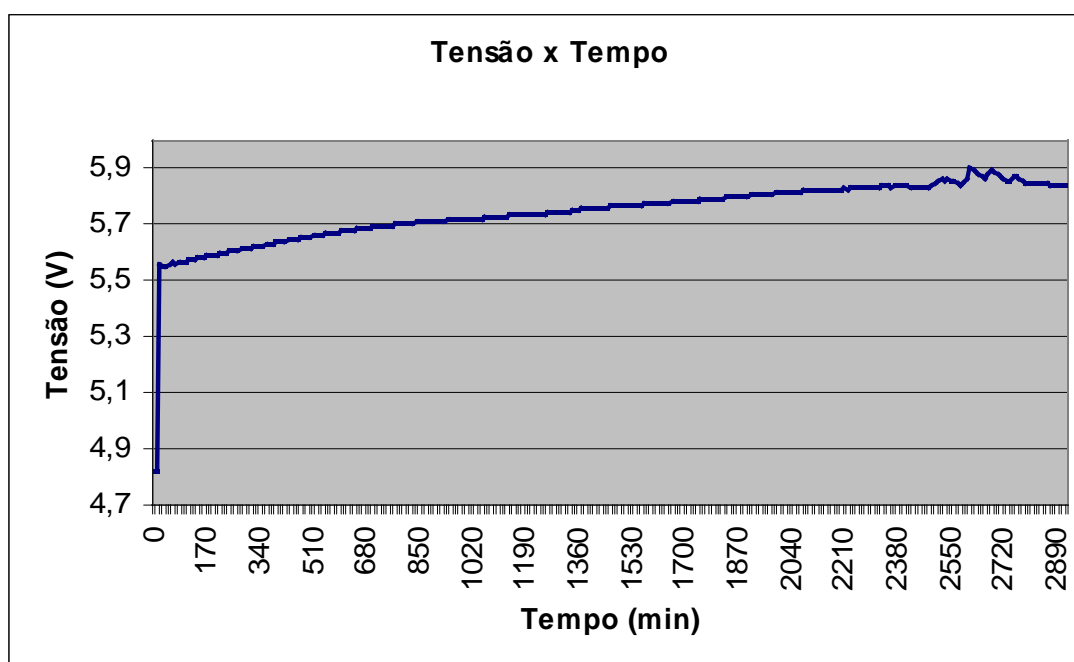
Este teste foi terminado propositalmente com 48 horas de experimento devido ao tempo que precisava ser alocado para os outros testes. Ele está indicado pela topologia da figura 5.7. Como os dados foram coletados a cada 10 minutos durante 48 horas, a tabela de valores

ficou bastante grande, e, portanto, exibiremos apenas o gráfico correspondente. As condições iniciais eram as seguintes:

Pilhas	3A, 3B, 3C e 3D
Tensão total	4,818 V
Temperatura ambiente	26°C
Tensão da fonte	10 V
Resistor limitador	40 $\Omega$
Corrente máxima teórica	31,25 mA

*Tabela 6.19 – Condições iniciais do teste de carga lenta a 30 mA*

O gráfico dos resultados do teste de carga segue abaixo:



*Gráfico 6.5 – Resultado do teste de carga lenta a 30 mA*

Pode-se verificar uma variação na tensão quando se atinge por volta de 41 horas de carga. Esta variação permanece grande até a hora 46 e depois a tensão começa a cair, denotando um fim de carga.

### **6.3 Resultados dos testes dos resistores e diodos**

A topologia dos testes realizados com os diodos pode ser vista na figura 5.12 e apresentou os seguintes resultados:



- Todos os diodos estavam conduzindo positivamente e cortando no sentido contrário;
- Todos os diodos tinham uma queda de tensão entre 700 e 800 mV a 60 mA.

A topologia dos testes com os resistores pode ser vista na figura 5.13 e o resultado é que todos os resistores estavam dentro da faixa de tolerância de 10%, conforme garantia do fabricante.

#### ***6.4 Resultados dos testes dos reguladores***

Todos os testes realizados com os reguladores foram feitos segundo a topologia indicada nas figuras 5.14 e 5.15. Além disso, os reguladores foram identificados e permaneceram fixos para cada valor de tensão.

Para o cálculo da tensão de saída utilizou-se a seguinte fórmula fornecida pelo fabricante:

$$V_{out} = 1,25 \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (6.2)$$

##### **6.4.1. Verificação dos parâmetros dos reguladores**

Este teste tem como objetivo verificar a tensão de referência de cada um dos reguladores, bem como a tensão de saída, corrente de carga e corrente de fuga. Os resultados obtidos podem ser visualizados utilizando-se as tabelas abaixo:

#### 6.4.1.1. Regulador de tensão de 4,8 V

Parâmetro	Valor
Regulador	Configurado para 4,8 V
Tensão de referência (Vref)	1,2639 V
Resistência 1 (R1)	100 $\Omega$
Resistência 2 (R2)	280,2 $\Omega$
Resistência de carga (Rc)	2196 $\Omega$
Tensão de saída teórica (Vot)	4,805 V
Tensão de saída prática (Vop)	4,8202 V
Diferença	+0,3 %
Corrente de carga (Ic)	2,191 mA
Corrente de fuga (If)	12,46 mA
Corrente Quiescente (Iadj)	3,101 mA

*Tabela 6.20 – Principais parâmetros do regulador de 4,8V*

#### 6.4.1.2. Regulador de tensão de 3,6 V

Parâmetro	Valor
Regulador	Configurado para 3,6 V
Tensão de referência (Vref)	1,2579 V
Resistência 1 (R1)	101,8 $\Omega$
Resistência 2 (R2)	179,54 $\Omega$
Resistência de carga (Rc)	1180 $\Omega$
Tensão de saída teórica (Vot)	3,47 V
Tensão de saída prática (Vop)	3,543 V
Diferença	+2,1 %
Corrente de carga (Ic)	3,008 mA
Corrente de fuga (If)	12,478 mA
Corrente Quiescente (Iadj)	1,273 mA

*Tabela 6.21 – Principais parâmetros do regulador de 3,6V*

#### 6.4.1.3. Regulador de tensão de 2,4 V

Parâmetro	Valor
Regulador	Configurado para 2,4 V
Tensão de referência (Vref)	1,2592 V
Resistência 1 (R1)	100,0 $\Omega$
Resistência 2 (R2)	92 $\Omega$
Resistência de carga (Rc)	555 $\Omega$
Tensão de saída teórica (Vot)	2,418 V
Tensão de saída prática (Vop)	2,422 V
Diferença	+0,16 %

Corrente de carga ( $I_c$ )	4,364 mA
Corrente de fuga ( $I_f$ )	12,386 mA
Corrente Quiescente ( $I_{adj}$ )	1,569 mA

*Tabela 6.22 – Principais parâmetros do regulador de 2,4V*

#### 6.4.1.4. Regulador de tensão de 1,2 V

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Regulador	Configurado para 1,2 V
Tensão de referência ( $V_{ref}$ )	1,2452 V
Resistência 1 ( $R_1$ )	0 $\Omega$ = curto
Resistência 2 ( $R_2$ )	100 $\Omega$
Resistência de carga ( $R_c$ )	149 $\Omega$
Tensão de saída teórica ( $V_{ot}$ )	1,2452 V
Tensão de saída prática ( $V_{op}$ )	1,273 V
Diferença	+2,2 %
Corrente de carga ( $I_c$ )	8,543 mA
Corrente de fuga ( $I_f$ )	12,448 mA
Corrente Quiescente ( $I_{adj}$ )	1,15 mA

*Tabela 6.23 – Principais parâmetros do regulador de 1,2V*

Verifica-se que a tensão de referência varia entre 1,2452 V até 1,2639 V, confirmando as informações do fabricante que diz que este valor pode variar entre 1,2 V e 1,3 V.

Observa-se também que as os valores calculados para tensão de saída e os obtidos na prática não são muito diferentes. Essa diferença varia entre 0,16% chegando até 2,2%. Isso denota que os reguladores estão em boas condições e operando conforme o esperado.

#### 6.4.2. Diferença entre $V_{in}$ e $V_{out}$

Como o LM317 não é um regular com baixa queda de tensão, a diferença entre a tensão de entrada e a tensão de saída deve ser maior do que 3 V, segundo o datasheet do fabricante.

Este teste tem como intuito verificar se esta queda é realmente de 3 V e como o regulador se comporta para diferentes entradas. Os resultados podem ser vistos na tabela abaixo:

<b>Tensão de entrada (V)</b>	<b>Tensão de Saída (V)</b>	<b>Vin – Vout (V)</b>	<b>Queda na tensão original (%)</b>
10	4,768	5,232	-
9,5	4,768	5,232	0
9	4,7678	4,2322	0,004
8,5	4,7676	3,7324	0,008
8	4,7673	3,2327	0,014
7,5	4,7670	2,733	0,021
7	4,7626	2,2374	0,11
6,5	4,7295	1,7705	0,8
6	4,405	1,595	8
5,5	3,917	1,583	22
5	3,445	1,555	38

***Tabela 6.24 – Queda de tensão do LM317***

Observa-se que a diferença entre a tensão de entrada e a tensão de saída, para a corrente utilizada, pode ser menor do que 3 V. De fato, esta diferença pode baixar até 1,77 V sem que haja uma grande diferença na tensão de saída, com relação à tensão original. Neste caso, esta diferença fica por volta de 0,8 %, que ainda é aceitável. A partir daí a diferença começa a se tornar muito grande e a tensão de saída começa a cair muito.

Mesmo com uma diferença de 1,77V, o uso do LM317 não pode ser validado com para o uso como regulador de 4,8V, porque a tensão total nas baterias dificilmente será maior do que 6,5V.

#### **6.4.3. Minimizando a corrente de fuga**

Depois de realizados alguns testes com as pilhas, nas configurações de reguladores descritas no item 6.4.1, percebeu-se que a corrente de fuga estava muito alta e que poderia ser mais baixa aumentando-se os valores dos resistores do divisor de tensão proporcionalmente.

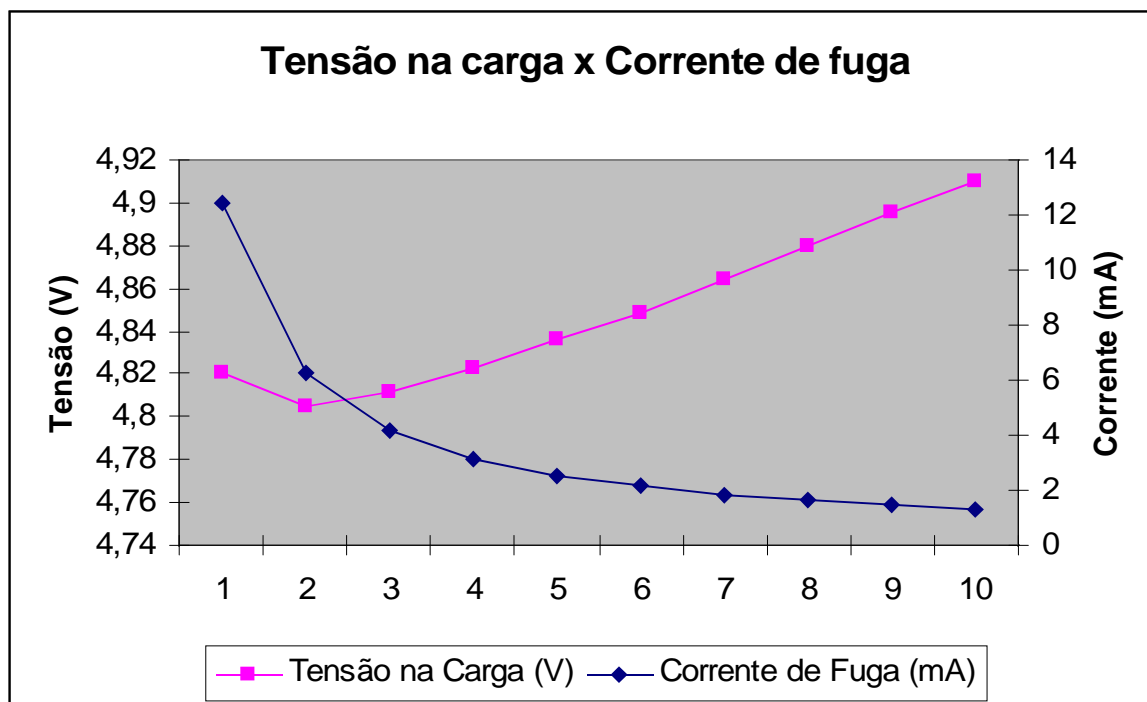
O terceiro teste dos reguladores foi, portanto, achar um ponto ideal de aumento dos resistores sem que o regulador pare de funcionar e sem que a tensão de saída seja prejudicada por esse aumento.

Os testes foram realizados substituindo-se os resistores do divisor de tensão pelas décadas resistivas. Dessa maneira, os valores de resistência poderiam ser modificados sem que se precisasse mexer no circuito. Os resultados desta análise podem ser conferidos nas tabelas e nos gráficos que seguem a partir do item 6.4.3.1.

#### 6.4.3.1. Regulador de 4,8V

<b>R1 (<math>\Omega</math>)</b>	<b>R2 (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Corrente de Carga (mA)</b>	<b>Corrente de Fuga (mA)</b>	<b>Tensão na Carga (V)</b>
100	280	2,191	12,46	4,8202
200	560	2,184	6,277	4,8048
300	840	2,187	4,21	4,8114
<b>400</b>	<b>1120</b>	<b>2,192</b>	<b>3,172</b>	<b>4,8224</b>
500	140	2,198	2,55	4,8356
600	1680	2,204	2,135	4,849
700	1960	2,211	1,839	4,8642
800	2240	2,218	1,616	4,8796
900	2520	2,225	1,443	4,895
1000	2800	2,232	1,305	4,9104

*Tabela 6.25 – Teste de resistores no regulador de 4,8V*



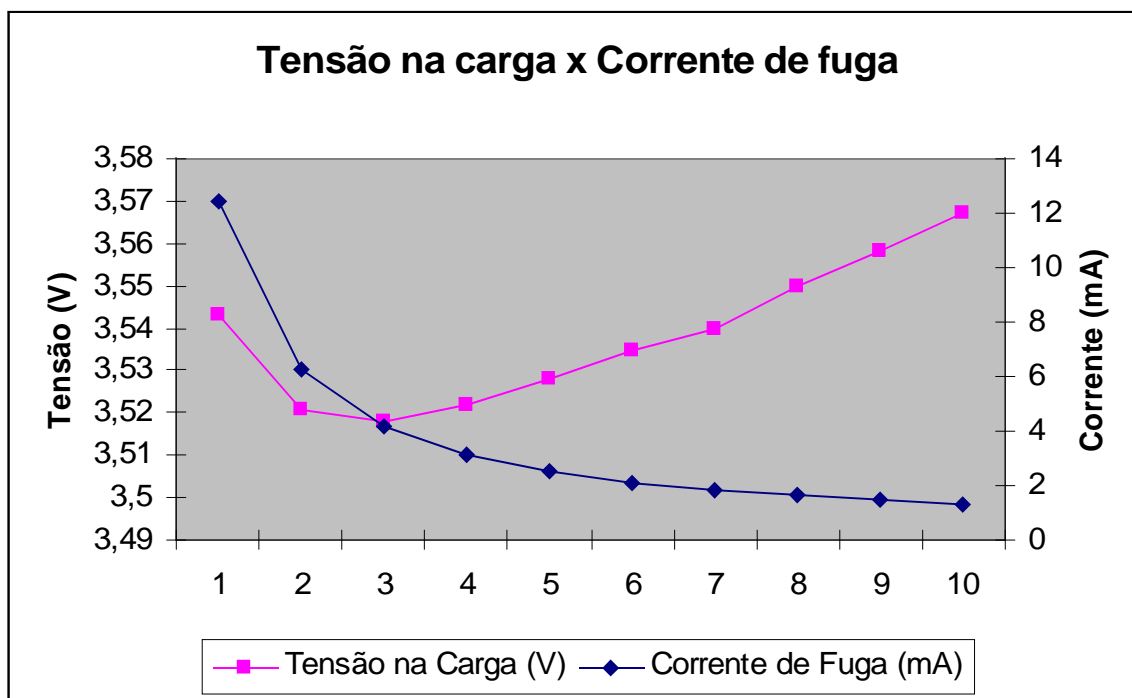
*Gráfico 6.6 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 4,8V*

A partir do gráfico acima podemos perceber o quanto a corrente de fuga pode diminuir sem que haja um aumento significativo na tensão. Pode-se inferir, também, uma condição ideal de resistência que é dada pelo ponto 4 do gráfico acima. Neste ponto a tensão está em 4,8224V enquanto que a corrente caiu para 3,172 mA, ou seja, a tensão aumentou apenas 0,04% ao passo que a corrente caiu 393%.

#### 6.4.3.2. Regulador de 3,6V

<b>R1 (<math>\Omega</math>)</b>	<b>R2 (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Corrente de Carga (mA)</b>	<b>Corrente de Fuga (mA)</b>	<b>Tensão na Carga (V)</b>
100	180	3,008	12,478	3,543
200	360	2,989	6,276	3,521
300	540	2,987	4,204	3,518
400	720	2,990	3,166	3,522
500	900	2,995	2,544	3,528
600	1080	3,001	2,128	3,535
700	1260	3,007	1,832	3,54
800	1440	3,014	1,609	3,55
900	1620	3,021	1,436	3,558
<b>1000</b>	<b>1800</b>	<b>3,028</b>	<b>1,297</b>	<b>3,567</b>

*Tabela 6.26 – Teste de resistores no regulador de 3,6V*



**Gráfico 6.7 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 3,6V**

Este gráfico nos mostra que, mesmo com valores de resistência 10 vezes maiores, o valor de tensão ainda não chegou em 3,6 V. Por esse motivo optou-se por utilizar essas resistências, visto que a tensão aumentou apenas 0,6% enquanto que a corrente caiu 962%.

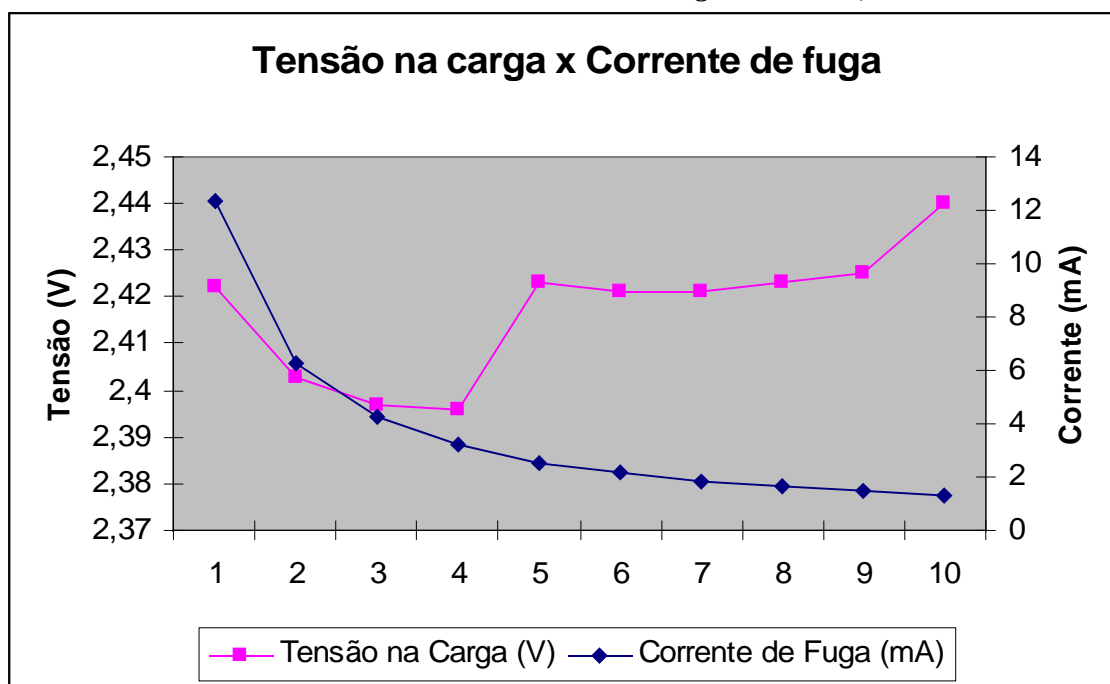
#### 6.4.3.3. Regulador de 2,4V

Como na década utilizada não havia precisão para selecionar valores de unidade, os valores apresentados estão aproximados para baixo. A cada 5 medições, o erro era descontado e o valor da resistência corrigido.

R1 (Ω)	R2 (Ω)	Corrente de Carga (mA)	Corrente de Fuga (mA)	Tensão na Carga (V)
100	90	4,364	12,386	2,422
200	180	4,33	6,291	2,403
300	270	4,319	4,218	2,397
400	260	4,18	3,179	2,396
500	460	4,366	2,555	2,423
600	550	4,363	2,138	2,421
700	640	4,363	1,841	2,421

<b>800</b>	<b>730</b>	<b>4,365</b>	<b>1,617</b>	<b>2,423</b>
900	820	4,370	1,444	2,425
1000	920	4,398	1,305	2,44

*Tabela 6.27 – Teste de resistores no regulador de 2,4V*



*Gráfico 6.8 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 2,4V*

Já neste teste podemos perceber a variação que ocorre na corrente quando se passa de 4 para 5 vezes o valor da resistência inicial. A resistência escolhida está no passo 8, pois lá há aumento de tensão de apenas 0,04% enquanto que a corrente cai 766%.

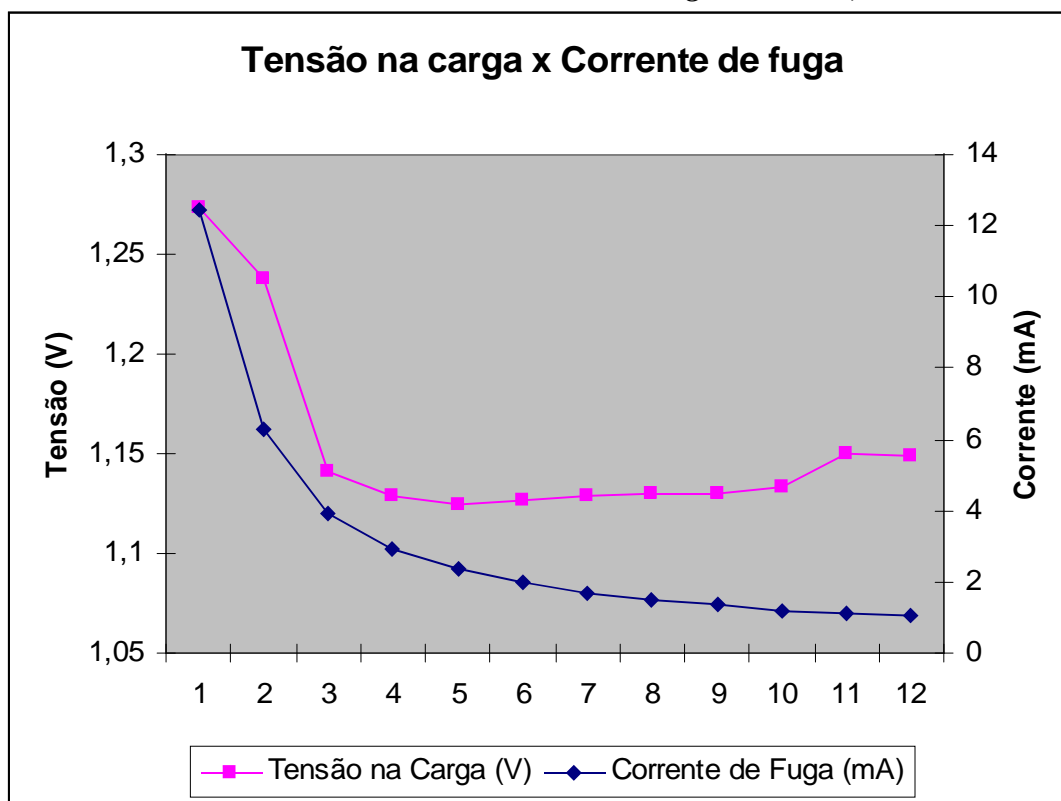
#### 6.4.3.4. Regulador de 1,2V

Para o regulador de 1,2V não há necessidade de alterar o valor de R2, visto que ele é um curto e deve permanecer como tal para os valores de tensão permanecerem coerentes.



<b>R1 (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Corrente de Carga (mA)</b>	<b>Corrente de Fuga (mA)</b>	<b>Tensão na Carga (V)</b>
100	8,543	12,448	1,273
200	8,309	6,266	1,238
300	7,661	3,905	1,141
400	7,578	2,924	1,129
500	7,555	2,348	1,125
600	7,563	1,971	1,127
700	7,578	1,702	1,129
800	7,582	1,498	1,13
900	7,586	1,338	1,13
1000	7,606	1,213	1,133
<b>1100</b>	<b>7,727</b>	<b>1,126</b>	<b>1,15</b>
1200	7,718	1,036	1,149

*Tabela 6.28 – Teste de resistores no regulador de 1,2V*



*Gráfico 6.9 – Corrente de Fuga versus Tensão na carga no regulador de 1,2V*

Neste teste as duas curvas mantiveram basicamente o mesmo comportamento. No final aconteceu a subida que aconteceu nos outros testes. Optou-se pelos valores 11 vezes maiores que o original, visto que nesta configuração o valor de tensão caiu 9,66% enquanto que a corrente

caiu 1105%. Este foi o teste onde a diferença entre tensão inicial e final e a corrente inicial e final foi mais pronunciada.

#### 6.4.3.4. Substituição dos resistores

Fazendo as substituições de resistências sugeridas nos itens acima, houve um ganho significativo no consumo de corrente e, por conseguinte, um aumento na eficiência do sistema. Os valores antigos de corrente e os novos valores com a substituição dos resistores pode ser observados na tabela abaixo:

Regulador de 4,8V	Corrente antiga	12,46 mA	Ganho de 389%
	Corrente atual	3,198 mA	
Regulador de 3,6V	Corrente antiga	12,478 mA	Ganho de 939%
	Corrente atual	1,328 mA	
Regulador de 2,4V	Corrente antiga	12,386 mA	Ganho de 759%
	Corrente atual	1,631 mA	
Regulador de 1,2V	Corrente antiga	12,448 mA	Ganho de 1031%
	Corrente atual	1,207 mA	

*Tabela 6.29 – Valores de corrente antes e depois da troca dos resistores*

No total, uma corrente que era anteriormente da ordem de 67,252 mA passou a ficar em torno de 25 mA, propiciando um ganho de eficiência de 37%.

### **6.5 Resultados dos testes do circuito**

Os testes de autonomia foram realizados conforme a topologia indicada na figura 5.18.

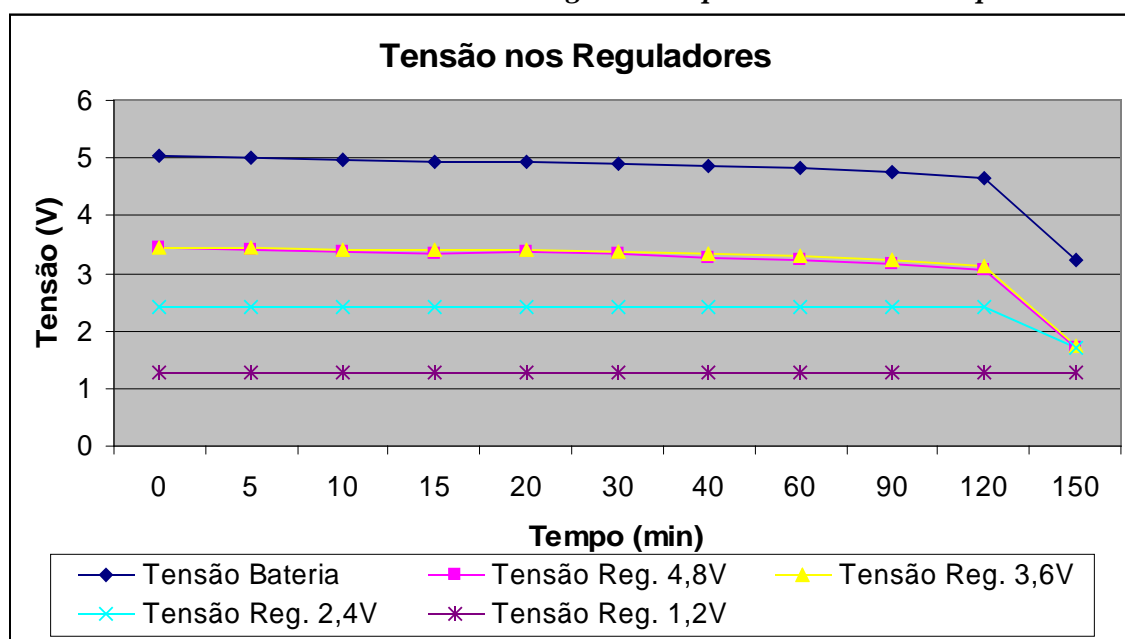
#### **6.5.1. Primeiro teste de autonomia**

O primeiro teste de autonomia foi realizado com as pilhas 1A, 1B, 1C e 2A depois destas terem sofrido a carga descrita pelo item 6.2.4. Os valores de resistência utilizados nos reguladores são os indicados pelo item 6.4.1.

Os resultados obtidos podem ser observados na tabela e no gráfico que seguem:

Tempo (min)	Tensão Bateria	Tensão Reg. 4,8V	Tensão Reg. 3,6V	Tensão Reg. 2,4V	Tensão Reg. 1,2V
0	5,051	3,452	3,458	2,415	1,267
5	4,994	3,404	3,452	2,415	1,267
10	4,957	3,37	3,426	2,415	1,267
15	4,929	3,343	3,402	2,415	1,267
20	4,947	3,36	3,418	2,415	1,267
30	4,906	3,32	3,379	2,415	1,267
40	4,865	3,279	3,337	2,415	1,267
60	4,815	3,228	3,286	2,415	1,267
90	4,741	3,156	3,214	2,415	1,267
120	4,651	3,069	3,126	2,415	1,267
150	3,224	1,721	1,734	1,699	1,265

**Tabela 6.30 – Valores de tensão nos reguladores para cada tensão na pilha**



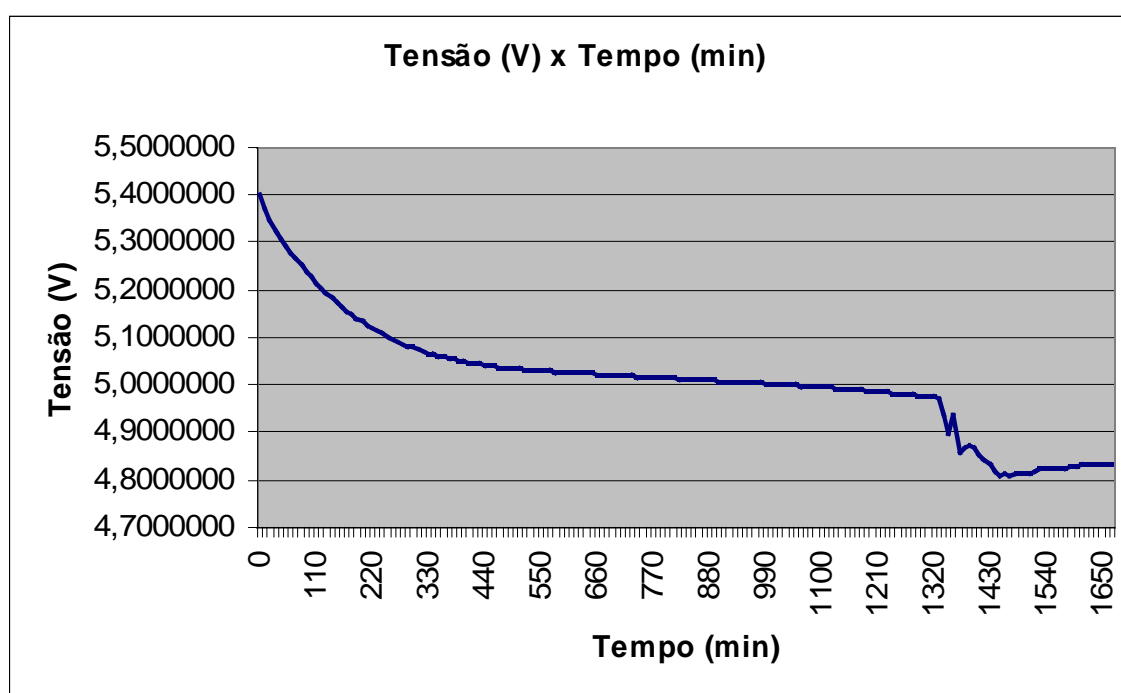
**Gráfico 6.10 – Tensão de saída na bateria e nos reguladores**

Podemos perceber claramente que não houve regulação para o regulador de 4,8V. Isso foi devido ao fato da diferença entre a tensão de entrada e tensão de saída ser menor que o especificado no item 6.4.2. Mais uma vez lembramos que o uso do regulador LM317 para a saída de 4,8V não será válido, uma vez que a tensão de entrada nunca terá um potencial satisfatório para fornecer 4,8V na saída.

De qualquer maneira verifica-se que as baterias não duraram satisfatoriamente mais do que 2 horas. Isso provavelmente se deve por 2 motivos: as baterias poderiam não estar completamente carregadas ou então o sistema está consumindo muita potência.

### 6.5.2. Segundo teste de autonomia

Este teste foi concebido para poder verificar o que aconteceu de anormal no teste do item 6.5.1. Agora os resistores dos reguladores foram modificados, conforme descrito no item 6.4.3 e o jogo de baterias utilizado (3A, 3B, 3C e 3D) foi carregado por 48 horas com uma carga de 30 mA, conforme ilustrado no item 6.2.8. O gráfico correspondente segue abaixo:



*Gráfico 6.11 – Tensão nas baterias no teste de autonomia*

Podemos verificar uma queda de tensão de 0,2V entre as horas 22 e 24 com variações entre estes momentos e, logo depois, uma queda mais suave com um pequeno crescimento na tensão até o final do teste.

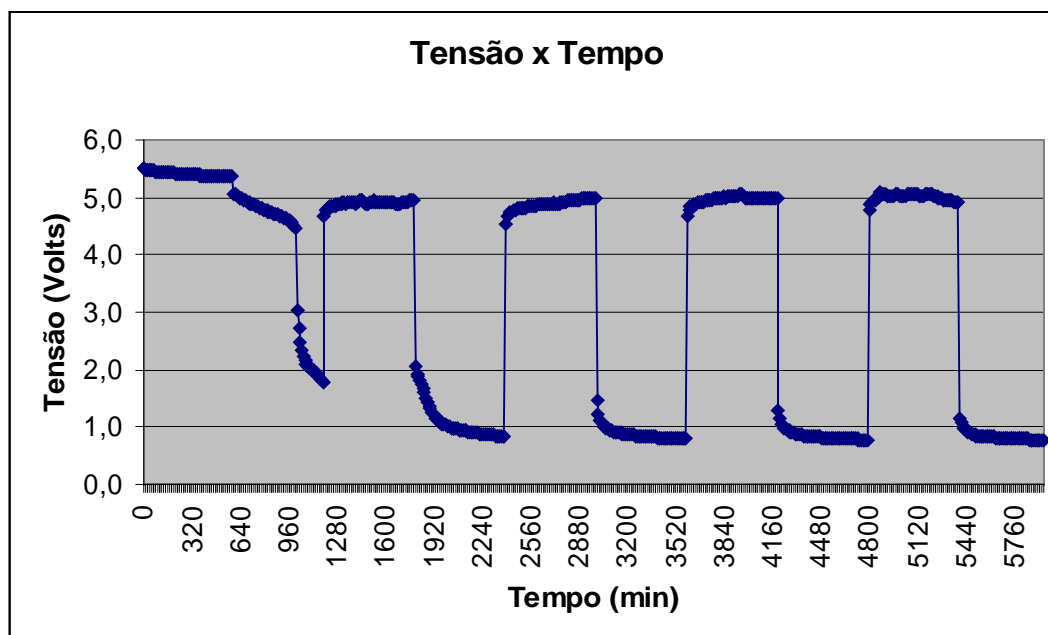
Esse pequeno crescimento de tensão no final do teste pode ser interpretado como uma queda na corrente dos reguladores de 4,8V e de

3,6V. Segundo a tabela 6.30, quando a tensão das pilhas está por volta de 4,8V, a tensão do regulador de 4,8V cai para 3,2V e a tensão do regulador de 3,6V cai para 3,3V. Essas quedas de tensão causam uma diminuição na corrente que passa pelos reguladores, fazendo com que a tensão na bateria suba um pouco.

O teste foi interrompido com 29 horas de duração e a tensão ainda estava acima da tensão nominal das baterias. Além disso, a configuração de resistores de carga dos reguladores estava para o máximo consumo de potência, ou seja, se na mais onerosa das configurações o sistema funcionou satisfatoriamente por, pelo menos 29 horas, na situação de campo, onde o nó estará recebendo luz solar quase que diariamente e os circuitos de carga só irão atuar esporadicamente, este cenário tende a durar vários dias.

#### **6.5.3. Teste “dia” e “noite”**

Este teste foi concebido para tentar simular a situação em que por um momento há ajuda do painel solar e depois o painel sai de cena, sendo responsabilidade das baterias segurar o sistema. O jogo de baterias utilizado foi o 3 (3A, 3B, 3C e 3D), os testes foram realizados segundo a topologia indicada na figura 5.19 e o gráfico dos resultados segue abaixo:



*Gráfico 6.12 – Tensão nas baterias no teste de dia e noite*

Este gráfico nos mostra que o tempo de carga das baterias não foi suficiente para suprir a corrente na ausência da fonte de alimentação, ou seja, quando a fonte de tensão estava atuando a maior parte da corrente estava fluindo pelos reguladores e não pelas pilhas, fazendo com que estas não carregassem conforme o ideal.

## 7. Conclusão

Neste projeto foi possível idealizar e dimensionar uma topologia para a construção da fonte de alimentação das estações remotas de campo e montar uma estrutura equivalente em laboratório, com dispositivos e equipamentos que permitiram elaborar e realizar uma série de testes que nos remeteram a várias conclusões.

Infelizmente não foi possível tentar simular o ambiente em que o circuito de alimentação da fonte realmente se encontrará quando implementado no sistema de controle de irrigação, como temperatura e umidade, por exemplo. Devido ao tempo exíguo foi possível apenas a realização de alguns testes básicos para verificar os dados fornecidos pelos fabricantes e para testar a funcionalidade do sistema equivalente.

Para o projeto idealizado podemos contar com o resultado dos testes realizados com o circuito equivalente. Eles servem como subsídio para a elaboração de novos testes, verificação de falhas, validação da topologia e dos dispositivos recomendados para o projeto final.

O projeto realizado é extremamente válido para comprovar o funcionamento da topologia utilizada, das pilhas, das tensões utilizadas e das correntes em questão.

Tivemos a oportunidade de identificar como limitação do LM317 a utilização como regulador de tensão para a saída de 4,8V. Devido às características intrínsecas desse modelo de regulador, não é possível que a tensão de entrada tenha um valor próximo ao da tensão de saída. Como foram utilizadas no funcionamento do circuito apenas 4 pilhas com tensão nominal de 4,8V e tensão de carga de 6V, o regulador de 4,8V não operou em nenhum momento em condições ideais. Só quando a fonte de tensão era conectada, permitindo a carga das baterias, é que o regulador funcionava em condições de operação.

Isso não acontecerá tão facilmente no projeto idealizado, visto que o regulador recomendado, o LP2985, possui uma queda de tensão para a corrente que vai passar de apenas 60 mV, ou seja, quando as baterias atingirem perto de 4,8V na entrada, a saída começará a cair gradativamente.

Portanto, acreditamos que o projeto idealizado pode ser colocado em prática futuramente, com o desenvolvimento de novos testes como, por exemplo, variação brusca de temperatura, variação de umidade, testes de autonomia para diversas condições de carga, além de ser testado um painel solar que esteja conforme as especificações que constam neste projeto.



## 8. Bibliografia

- [1] Instituto do Milênio. SCMN. **Especificações para o Sistema de Controle de Irrigação (Livro Branco)**. Campinas, SP. Julho de 2003.
- [2] Sedra, A.S. and Smith, K.C. **Microeletrônica**. Makron Books, 2000.
- [3] Rezende, Sérgio M. **A física de materiais e dispositivos eletrônicos**. Recife, 1996.
- [4] **AA Battery Solar Charger**. Apresenta um circuito solar que carrega baterias AA. Disponível: <<http://www.solorb.com/elect/solarcirc/aacharge/>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [5] Harry Lythall. **Batteries by SM0VPO**. Apresenta tecnologias de baterias. Disponível em: <<http://w1.859.telia.com/~u85920178/begin/batt-00.htm>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [6] Seiichi Inoue. **Circuit explanation for Battery charger**. Mostra uma das aplicações do LM317. Disponível em: <[http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/e\\_car2\\_3.htm](http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/e_car2_3.htm)>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [7] Han Summers. **Datasheets**. Apresenta datasheets de vários dispositivos. Disponível em: <<http://www.hanssummers.com/electronics/datasheets/>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [8] Peter Hayles. **NiCd Battery Charger**. Apresenta o modelo de topologia de circuito utilizando o microprocessador PIC16C711. Disponível em: <<http://www.angelfire.com/electronic/hayles/charge1.html>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.

- [9] Chris. **Power supplies and Battery Chargers**. Mostra esquemáticos de reguladores idealizados pelo autor. Disponível em: < <http://www.acs.comcen.com.au/buildregs.html> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [10] Techlib.com Power Supplies. **Regulators and Power Supplies**. Mostra algumas utilizações do LM317 e alguns circuitos. Disponível em: < <http://www.techlib.com/electronics/regulators.html> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [11] Silicon Solar. **Solar Cells**. Mostra os produtos fabricados pela empresa: painéis e células solares. Disponível em: < [http://www.siliconsolar.com/solar\\_cells.htm](http://www.siliconsolar.com/solar_cells.htm) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [12] Cláudio Monteiro. **Sistemas Fotovoltaicos**. Fornece explicações sobre sistemas fotovoltaicos. Disponível em: < <http://power.inescn.pt/claudio/PV.html> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [13] Go Sollar Power. **Solar Cells**. Mostra empresas fornecedoras de produtos para aplicações solares. Disponível em: < <http://www.gosolarpower.com/solarcells/> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [14] EcoBusinessLinks. **Solar Energy Manufacturers**. Mostra empresas fornecedoras de produtos para aplicações solares. Disponível em: < [http://www.ecobusinesslinks.com/links/solar\\_energy\\_solar\\_power\\_panels.htm#2.%20PV%20Manufacturers](http://www.ecobusinesslinks.com/links/solar_energy_solar_power_panels.htm#2.%20PV%20Manufacturers) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [15] Tony Van Roon. **Solar-cell NiCad Charger, with the MAX639 from Maxim**. Mostra um circuito de carregamento utilizando o microprocessador MAX639. Disponível em: < <http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/solarlg.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

- [16] Solar-e.com. **Solar-e.com - Solar cells for electricity**. Mostra como montar um simples carregador solar. Disponível em: < <http://www.solartec.iinet.net.au/solare/secondary/solarcellsforelectricity4.htm>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [17] INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos**. Mostra uma série de informações de temperatura, umidade, insolação para as diferentes regiões brasileiras. Disponível em: < [http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo\\_climatologia\\_I.html](http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo_climatologia_I.html)>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [18] Unicamp. **Instituto do Milênio**. Fornece um resumo das atividades do Instituto do Milênio. Disponível em: < <http://www.ccs.unicamp.br/scmn/>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [19] Gold Peak Industries. **Batteries**. Fornece os datasheets das pilhas fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.gpina.com/industrial/batteries/NiCd/NiCdspecs.htm>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [20] Google. **Google Directory**. Fornece vários fabricantes de baterias recarregáveis. Disponível em: < [http://directory.google.com/Top/Business/Electronics\\_and\\_Electrical/Batteries/Rechargeable/](http://directory.google.com/Top/Business/Electronics_and_Electrical/Batteries/Rechargeable/)>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [21] GPI. **Nickel Cadmium**. Fornece informações sobre as baterias GP. Disponível em: < [http://www.gpbatteries.com.hk/Consumer/General/Nickel\\_Cadmium/Nickel\\_Cadmium.asp](http://www.gpbatteries.com.hk/Consumer/General/Nickel_Cadmium/Nickel_Cadmium.asp)>. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [22] Panasonic. **Panasonic Nickel Cadmium Batteries**. Fornece informações sobre as baterias de níquel cádmio da Panasonic. Disponível em: < <http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/chem/niccad/>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.

- [23] Sanyo. **Sanyo Industrial Batteries**. Permite realizar uma pesquisa em busca das baterias fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/chem/niccad/http://www.sanyo.com/batteries/specs.cfm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [24] Ken A. Nishimura. **Some Ramblings about NiCd Batteries**. Esclarece os mitos acerca das pilhas de NiCd. Disponível em: < <http://www.columbia.edu/~fuat/cuarc/NiCd.html> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [25] House of Batteries. **Nickel Cadmium**. Revendedora de várias marcas de pilhas. Disponível em: < <http://www.houseofbatteries.com/nickel.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [26] Revista Lumière. **Energia Solar**. Faz uma pequena explicação sobre efeito o fotovoltaico e semicondutores. Disponível em: < <http://www.brasilsolar.com.br/energiasolar.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [27] Saft. **SAFT : The Battery Company**. Apresenta os modelos de baterias fabricados pela empresa. Disponível em: < [http://www.saftbatteries.com/120-Techno/10-10\\_produit.asp?paramtechno=Nickel+systems&Intitule\\_Produit=VT](http://www.saftbatteries.com/120-Techno/10-10_produit.asp?paramtechno=Nickel+systems&Intitule_Produit=VT) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [28] Jiangmen. **Jiangmen J.J.J Battery Co.,Ltd.** Apresenta os modelos de baterias fabricadas pela empresa. Disponível em: < [http://www.jjjbattery.com/en/product\\_nicd.htm#](http://www.jjjbattery.com/en/product_nicd.htm#) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [29] BYD Company. **BYD COMPANY LIMITED**. Apresenta os modelos de baterias fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.byd.com.cn/products.asp> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

- [30] CANROM PHOTOVOLTAICS INC. **SOLAR ENERGY PRODUCTS**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.canrom.com/products/index.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [31] Plastecs. **Solar Cells**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < [http://www.plastecs.com/solar\\_cells.htm](http://www.plastecs.com/solar_cells.htm) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [32] Quark. **Solar Cells**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.quark-pvp.com/SCells.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [33] Astro Power. **Solar Cells**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.astropower.com/solarcells.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [34] EspectroLab. **Solar Cells**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.spectrolab.com/cells/> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [35] Shell Solar. **Solar Cells**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.shell.com/home/Framework?siteId=shellsolar> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [36] Atlantic Solar. **Solar Cells**. Apresenta os modelos de células solares fabricadas pela empresa. Disponível em: < <http://www.atlanticsolar.com/panels/oem.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.
- [37] ST Microelectronics. **ST Power Schottky**. Apresenta os modelos de diodos fabricados pela empresa. Disponível em: <

<http://www.st.com/stonline/products/selector/541.htm> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[38] National Semiconductor. **National Semiconductor Products Catalog: Analog - Regulators**. Apresenta alguns modelos de reguladores fabricados pela empresa. Disponível em: < <http://www.national.com/catalog/AnalogRegulators.html> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[39] Analog Devices. **Power/ Supervisory/ Hot-Swap : Power Management Products**. Apresenta alguns modelos de reguladores fabricados pela empresa. Disponível em: < [http://www.analog.com/Analog\\_Root/sitePage/mainSectionContent/0,2132,level4%253D%25252D1%2526ContentID%253D18536%2526level1%253D263%2526level2%253D%25252D1%2526level3%253D%25252D1,00.html](http://www.analog.com/Analog_Root/sitePage/mainSectionContent/0,2132,level4%253D%25252D1%2526ContentID%253D18536%2526level1%253D263%2526level2%253D%25252D1%2526level3%253D%25252D1,00.html) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[40] Maxim. **Battery Charger Regulates Input Voltage**. Apresenta o modelo de topologia de circuito utilizando o microprocessador MAX639. Disponível em: < [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/56/ln/en](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/56/ln/en) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[41] Fairchild Semiconductor. **Fairchild P/N 1N4004**. Apresenta especificações do diodo 1N4004. Disponível em: < <http://www.fairchildsemi.com/pf/1N/1N4004.html> >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[42] Fairchild Semiconductor. **Sistemas Solares fotovoltaicos**. Apresenta considerações sobre a influência da inclinação do painel na eficiência. Disponível em: < [http://www.ecolatina.com.br/br/download/Roberto\\_Zilles-Sist\\_solares\\_Fotovoltaicos.pdf](http://www.ecolatina.com.br/br/download/Roberto_Zilles-Sist_solares_Fotovoltaicos.pdf) >. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[43] Walt Kester. **Battery Chargers**. Apresenta um quadro comparativo entre os diferentes tipos de tecnologias de pilhas. Disponível em: <  
[http://www.analog.com/UploadedFiles/Associated\\_Docs/515855288952091670040857Power\\_sect5.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Associated_Docs/515855288952091670040857Power_sect5.pdf)>. Acesso em: 4 dezembro 2003.

[44] AAU CUBESAT - Student Satellite. **System Analysis**. Apresenta um grande estudo sobre a caracterização de painéis solares. Disponível em: <  
<http://www.cubesat.auc.dk/documents/psu/Chapter3.pdf>>. Acesso em: 4 dezembro 2003.

## 9. Anexos

### 9.1 Anexo 1 – Datasheet LM317

#### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	

Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C

ESD Tolerance (Note 5)

3 kV

#### Operating Temperature Range

LM117	-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

#### Preconditioning

Thermal Limit Burn-In	All Devices 100%
-----------------------	------------------

#### Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V
			<b>0.01</b>	<b>0.02</b>		<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	%/V
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%
			<b>0.3</b>	<b>1</b>		<b>0.3</b>	<b>1.5</b>	%
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	μA
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		<b>0.2</b>	<b>5</b>		<b>0.2</b>	<b>5</b>	μA
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		<b>1</b>			<b>1</b>		%
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		<b>3.5</b>	<b>10</b>		<b>3.5</b>	<b>10</b>	mA
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V K, T, S Packages	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
	H Package	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
	MP Package	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V K, T, S Packages	0.15	0.4		0.15	0.4		A
	H Package	0.075	0.2		0.075	0.2		A
	MP Package	0.55	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003			0.003		%
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		<b>65</b>			<b>65</b>		dB
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF	<b>66</b>	<b>80</b>		<b>66</b>	<b>80</b>		dB
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 125°C, 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	°C/W
	MDT Package					5		°C/W
	H Package		12	15		12	15	°C/W
	T Package		4	5		4		°C/W
	MP Package		23.5			23.5		°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		°C/W
	MDT Package (Note 6)					92		°C/W
	H Package		140			140		°C/W
	T Package		50			50		°C/W
	S Package (Note 6)		50			50		°C/W

Figura 9.1 – Datasheet resumido do LM317

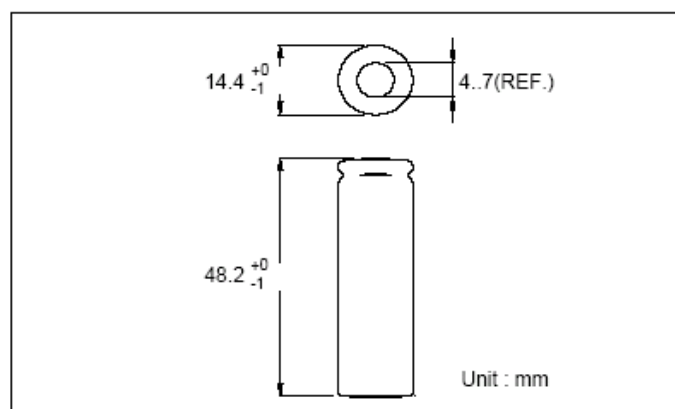


## 9.2 Anexo 2 – Datasheet GP Batteries GP-60AAS

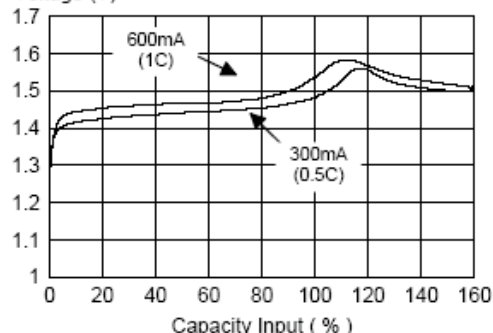
### Data Sheet

### Model No.: GP60AAS

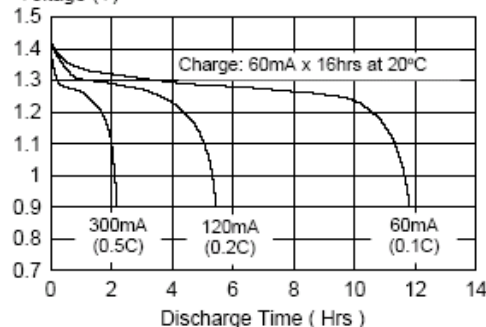
Type	: Rechargeable Nickel Cadmium Cylindrical Cell
Nominal Dimension (with Sleeve)	: $\Phi = 14.4\text{mm}$ H = 48.2mm
Applications	: Recommended discharge current 30 to 1800mA
Nominal Voltage	: 1.2V
Capacity	: Minimum: 600mAh Typical: 660mAh when discharged at 120mA to 1.0V at 20°C
Charging Condition	: 60mA for 16 hrs at 20°C
Fast Charge	: 300mA to 600mA (0.5 to 1C) with charge termination control Recommended control parameters: $-\Delta V$ : 10 - 20mV Timer : 120% nominal input
Service Life	: >500 cycles (IEC standard)
Continuous Overcharge	: 60mA maximum current for 1 year No conspicuous deformation and/or leakage
Weight	: 19.0g
Internal Resistance	: Average 36m $\Omega$ upon fully charged (Range 27-42m $\Omega$ ) at 1000Hz
Max. Charging Voltage	: 1.5V at 60mA charging
Ambient Temperature Range	: Standard Charging : 0 to 45°C Fast Charging : 10 to 45°C Discharging : -20 to 50°C Storage : -20 to 35°C



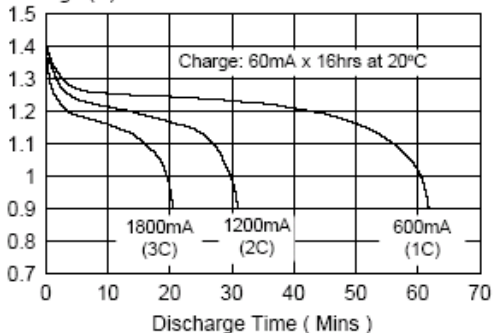
Fast Charge (Charge control required)  
Voltage (V)



Low Rate Discharge  
Voltage (V)



High Rate Discharge  
Voltage (V)



\* The information (subject to change without prior notice) contained in this document is for reference only and should not be used as a basis for product guarantee or warranty. For applications other than those described here, please consult your nearest GP Sales and Marketing Office or Distributors.

Figura 9.2 – Datasheet GP60AAS



## LP2985

### Micropower 150 mA Low-Noise Ultra Low-Dropout Regulator in SOT-23 and micro SMD Packages

#### *Designed for Use with Very Low ESR Output Capacitors*

#### General Description

The LP2985 is a 150 mA, fixed-output voltage regulator designed to provide ultra low-dropout and low noise in battery powered applications.

Using an optimized VIP™ (Vertically Integrated PNP) process, the LP2985 delivers unequalled performance in all specifications critical to battery-powered designs:

**Dropout Voltage:** Typically 300 mV @ 150 mA load, and 7 mV @ 1 mA load.

**Ground Pin Current:** Typically 850  $\mu$ A @ 150 mA load, and 75  $\mu$ A @ 1 mA load.

**Enhanced Stability:** The LP2985 is stable with output capacitor ESR as low as 5 m $\Omega$ , which allows the use of ceramic capacitors on the output.

**Sleep Mode:** Less than 1  $\mu$ A quiescent current when ON/OFF pin is pulled low.

**Smallest Possible Size:** SOT-23 and micro SMD packages use absolute minimum board space.

**Precision Output:** 1% tolerance output voltages available (A grade).

**Low Noise:** By adding a 10 nF bypass capacitor, output noise can be reduced to 30  $\mu$ V (typical).

Multiple voltage options, from 2.5V to 5.0V, are available as standard products. Consult factory for custom voltages.

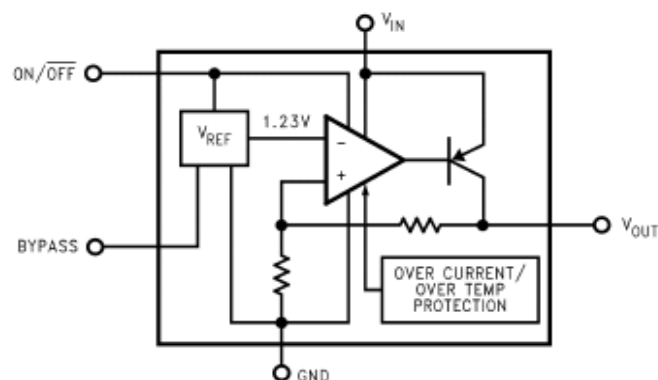
#### Features

- Ultra low dropout voltage
- Guaranteed 150 mA output current
- Smallest possible size (SOT-23, micro SMD package)
- Requires minimum external components
- Stable with low-ESR output capacitor
- <1  $\mu$ A quiescent current when shut down
- Low ground pin current at all loads
- Output voltage accuracy 1% (A Grade)
- High peak current capability
- Wide supply voltage range (16V max)
- Low  $Z_{OUT}$ : 0.3 $\Omega$  typical (10 Hz to 1 MHz)
- Overtemperature/overcurrent protection
- -40°C to +125°C junction temperature range
- Custom voltages available

#### Applications

- Cellular Phone
- Palmtop/Laptop Computer
- Personal Digital Assistant (PDA)
- Camcorder, Personal Stereo, Camera

#### Block Diagram



## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Junction Temperature Range	-40°C to +125°C
Lead Temp. (Soldering, 5 sec.)	260°C
ESD Rating (Note 2)	2 kV
Power Dissipation (Note 3)	Internally Limited

Input Supply Voltage (Survival)	-0.3V to +16V
Input Supply Voltage (Operating)	2.5V to +16V
Shutdown Input Voltage (Survival)	-0.3V to +16V
Output Voltage (Survival, (Note 4))	-0.3V to +9V
I <sub>OUT</sub> (Survival)	Short Circuit Protected
Input-Output Voltage (Survival, (Note 5))	-0.3V to +16V

## Electrical Characteristics (Note 10)

Limits in standard typeface are for T<sub>J</sub> = 25°C, and limits in **boldface type** apply over the full operating temperature range. Unless otherwise specified: V<sub>IN</sub> = V<sub>O(NOM)</sub> + 1V, I<sub>L</sub> = 1 mA, C<sub>IN</sub> = 1 µF, C<sub>OUT</sub> = 4.7 µF, V<sub>ON/OFF</sub> = 2V.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LP2985AI-X.X (Note 6)		LP2985I-X.X (Note 6)		Units
				Min	Max	Min	Max	
$\Delta V_O$	Output Voltage Tolerance	I <sub>L</sub> = 1 mA		-1.0	1.0	-1.5	1.5	%V <sub>NOM</sub>
		1 mA ≤ I <sub>L</sub> ≤ 50 mA		-1.5	1.5	-2.5	2.5	
				<b>-2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>-3.5</b>	<b>3.5</b>	
		1 mA ≤ I <sub>L</sub> ≤ 150 mA		-2.5	2.5	-3.0	3.0	
				<b>-3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>-4.0</b>	<b>4.0</b>	
$\frac{\Delta V_O}{\Delta V_{IN}}$	Output Voltage Line Regulation	V <sub>O(NOM)</sub> + 1V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 16V	0.007		0.014		0.014	%/V
					<b>0.032</b>		<b>0.032</b>	
V <sub>IN</sub> - V <sub>O</sub>	Dropout Voltage (Note 7)	I <sub>L</sub> = 0	1		3		3	mV
					<b>5</b>		<b>5</b>	
		I <sub>L</sub> = 1 mA	7		10		10	
					<b>15</b>		<b>15</b>	
		I <sub>L</sub> = 10 mA	40		60		60	
					<b>90</b>		<b>90</b>	
		I <sub>L</sub> = 50 mA	120		150		150	
					<b>225</b>		<b>225</b>	
		I <sub>L</sub> = 150 mA	280		350		350	
					<b>575</b>		<b>575</b>	
I <sub>GND</sub>	Ground Pin Current	I <sub>L</sub> = 0	65		95		95	µA
					<b>125</b>		<b>125</b>	
		I <sub>L</sub> = 1 mA	75		110		110	
					<b>170</b>		<b>170</b>	
		I <sub>L</sub> = 10 mA	120		220		220	
					<b>400</b>		<b>400</b>	
		I <sub>L</sub> = 50 mA	350		600		600	
					<b>1000</b>		<b>1000</b>	
		I <sub>L</sub> = 150 mA	850		1500		1500	
					<b>2500</b>		<b>2500</b>	
		V <sub>ON/OFF</sub> < 0.3V	0.01		0.8		0.8	
		V <sub>ON/OFF</sub> < 0.15V	<b>0.05</b>		<b>2</b>		<b>2</b>	
V <sub>ON/OFF</sub>	ON/OFF Input Voltage (Note 8)	High = O/P ON	1.4	<b>1.6</b>		<b>1.6</b>		V
		Low = O/P OFF	0.55		<b>0.15</b>		<b>0.15</b>	
I <sub>ON/OFF</sub>	ON/OFF Input Current	V <sub>ON/OFF</sub> = 0	0.01		<b>-2</b>		<b>-2</b>	µA
		V <sub>ON/OFF</sub> = 5V	5		<b>15</b>		<b>15</b>	

Figura 9.3 – Datasheet resumido LP2985



October 2001

## LP2983

### Micropower 150 mA Voltage Regulator in SOT-23 Package For Output Voltages $\leq 1.2V$

*Designed for Use with Very Low ESR Output Capacitors*

#### General Description

The LP2983 is a 150 mA, fixed-output voltage regulator designed to provide tight voltage regulation in applications with output voltages  $\leq 1.2V$ .

Using an optimized VIP™ (Vertically Integrated PNP) process, the LP2983 delivers unequalled performance in all critical specifications:

**Ground Pin Current:** Typically 825  $\mu A$  @ 150 mA load, and 75  $\mu A$  @ 1 mA load.

**Enhanced Stability:** The LP2983 is stable with output capacitor ESR down to zero, which allows the use of ceramic capacitors on the output.

**Smallest Possible Size:** SOT-23 package uses absolute minimum board space.

**Precision Output:** 1% tolerance output voltages available (A grade).

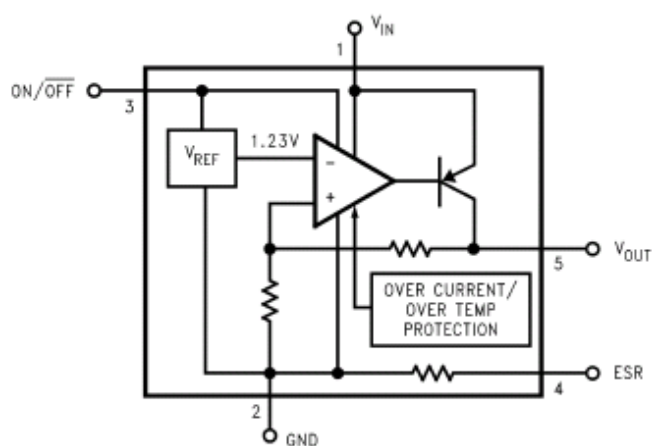
#### Features

- Guaranteed 150 mA output current
- Smallest possible size (SOT-23 package)
- Requires minimum external components
- Stable with low-ESR output capacitor
- Low ground pin current at all loads
- Output voltage accuracy 1% (A Grade)
- High peak current capability
- Wide supply voltage range (16V max)
- Low  $Z_{OUT}$ : 0.3 $\Omega$  typical (10 Hz to 1 MHz)
- Overtemperature/overcurrent protection
- $-40^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$  junction temperature range

#### Applications

- Cellular Phone
- Palmtop/Laptop Computer
- Personal Digital Assistant (PDA)
- Camcorder, Personal Stereo, Camera

#### Block Diagram



20029101

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Junction Temperature Range	-40°C to +125°C
Lead Temp. (Soldering, 5 sec.)	260°C
ESD Rating (Note 2)	2 kV

## Power Dissipation (Note 3)

Input Supply Voltage (Survival)	-0.3V to +16V
Input Supply Voltage (Operating)	2.2V to +16V
Shutdown Input Voltage (Survival)	-0.3V to +16V
Output Voltage Survival, (Note 4)	-0.3V to +9V
$I_{OUT}$ (Survival)	Short Circuit Protected
Input-Output Voltage Survival, (Note 5)	-0.3V to +16V

## Internally Limited

## Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and limits in **boldface type** apply over the full operating temperature range. Unless otherwise specified:  $V_{IN} = V_O(\text{NOM}) + 1\text{V}$ ,  $I_L = 1\text{ mA}$ ,  $C_{IN} = 1\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_{OUT} = 2.2\text{ }\mu\text{F}$ ,  $V_{ON/OFF} = 2\text{V}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	LP2983AI-X.X (Note 6)		LP2983I-X.X (Note 6)		Units
				Min	Max	Min	Max	
$\Delta V_O$	Output Voltage Tolerance			-1.0	1.0	-1.5	1.5	%
		$1\text{ mA} \leq I_L \leq 50\text{ mA}$		-2.0	2.0	-2.5	2.5	
		$1\text{ mA} \leq I_L \leq 150\text{ mA}$		-2.5	2.5	-3.0	3.0	
$\frac{\Delta V_O}{\Delta V_{IN}}$	Output Voltage Line Regulation	$V_O(\text{NOM}) + 1\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$	0.01		0.016		0.016	% / V
					<b>0.032</b>		<b>0.032</b>	
$I_{GND}$	Ground Pin Current	$I_L = 0$	65		95		95	$\mu\text{A}$
		$I_L = 1\text{ mA}$	75		110		110	
		$I_L = 10\text{ mA}$	120		220		220	
		$I_L = 50\text{ mA}$	300		500		500	
		$I_L = 150\text{ mA}$	825		1200		1500	
		$V_{ON/OFF} < 0.15\text{V}$	6		12		12	
		$V_{ON/OFF} < 0.05\text{V}$	<b>0.2</b>		<b>2</b>		<b>2</b>	
$V_{IN(\text{min})}$	Minimum $V_{IN}$ required to maintain Output Regulation		2.05		2.20		2.20	V
$V_{ON/OFF}$	ON/OFF Input Voltage (Note 7)	High = O/P ON	1.4	<b>1.6</b>		<b>1.6</b>		
		Low = O/P OFF	0.1		0.05		0.05	
$I_{ON/OFF}$	ON/OFF Input Current	$V_{ON/OFF} = 0$	0.01		-2		-2	$\mu\text{A}$
		$V_{ON/OFF} = 5\text{V}$	5		15		15	
$e_n$	Output Noise Voltage (RMS)	BW = 10 Hz to 100 kHz, $C_{OUT} = 10\text{ }\mu\text{F}$ $V_{OUT} = 1.2\text{V}$	60					$\mu\text{V}$
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}}$	Ripple Rejection	$f = 1\text{ kHz}$ $C_{OUT} = 2.2\text{ }\mu\text{F}$	65					dB
$I_O(\text{SC})$	Short Circuit Current	$R_L = 0$ (Steady State) (Note 8)	400					mA
$I_O(\text{PK})$	Peak Output Current	$V_{OUT} \geq V_O(\text{NOM}) - 5\%$	250					

Figura 9.4 – Datasheet resumido LP2983