

LEONARDO CIOCARI

**CONTROLE E MONITORAMENTO DO
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
EQUIPAMENTOS RESIDENCIAIS VIA ANDROID**

FLORIANÓPOLIS, 2013

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA - IFSC
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ELETRÔNICOS**

LEONARDO CIOCARI

**CONTROLE E MONITORAMENTO DO
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
EQUIPAMENTOS RESIDENCIAIS VIA ANDROID**

**Monografia apresentada
ao Curso de Pós-Graduação em
Desenvolvimento de Produtos
Eletrônicos como requisito
parcial à obtenção do título
de Especialista em
Desenvolvimento de Produtos
Eletrônicos.**

**Orientador: Clóvis Antônio
Petry, Dr. Eng.**

FLORIANÓPOLIS, 2013

CONTROLE E MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE EQUIPAMENTOS RESIDENCIAIS VIA ANDROID

LEONARDO CIOCARI

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos e aprovado em sua forma final pela banca examinadora do Curso de Pós-graduação em desenvolvimento de produtos eletrônicos do Instituto Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 04 de Outubro de 2013

Banca Examinadora

Clovis Antonio Petry, Dr. Eng.

Joel Lacerda, Dr. Eng.

Charles Borges de Lima, Dr. Eng.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu orientador por sua dedicação e empenho para a conclusão do trabalho e ao Instituto Federal de Santa Catarina pela oportunidade.

RESUMO

Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um equipamento que permite controlar e monitorar o consumo de energia elétrica de equipamentos residenciais, por meio de um dispositivo Android. Pesquisados produtos similares encontrados no mercado, foi desenvolvido um protótipo em placa de circuito impresso com capacidade para monitorar cargas de até 5 A em 220 V, configurado para usar a tarifa de energia elétrica de Santa Catarina. Ao final, são apresentados o custo do protótipo e os testes realizados nele. A comparação da medição de consumo com outros equipamentos de medidas possibilitou concluir-se que a solução proposta apresenta bons resultados quanto a precisão nos resultados obtidos.

Palavras-chave: Monitoramento, Controle, Bluetooth, Android, Consumo de Energia, Automação Residencial.

ABSTRACT

This paper presents the development process of a equipment that allow people control and monitor the power consumption of residential equipments, through a Android device. Is made a survey of similar products existing in the market and developed a prototype on printed circuit board with capacity to monitor loads up to 5 A at 220 V, configured to use the energy fare of Santa Catarina. At the end, the cost is shown and tests are made, showing a comparison of power consumption using the prototype and other power metering equipments, acquiring the prototype's precision.

Keywords: Monitoring, Control, Bluetooth, Android, Energy Consumption, Residential Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Forma de onda de uma corrente alternada.....	19
Figura 2 - Efeito Hall.....	21
Figura 3 - Curva típica sensor Hall linear.....	22
Figura 4 - Aplicativo de teste rodando no AVD.....	24
Figura 5 - OWL micro+	26
Figura 6 - P4200 Kill A Watt Wireless	27
Figura 7 - Wireless Electricity Energy Monitor (HA102) ...	29
Figura 8 - Cenário de uso do sistema	32
Figura 9 - Componentes de hardware	33
Figura 10 - Sensor ACS-712 de 5A	35
Figura 11 - Módulo Bluetooth.....	36
Figura 12 - Fonte CA/CC.....	38
Figura 13 - Conexão lógica do hardware, parte 1.....	42
Figura 14 - Divisor de tensão	44
Figura 15 - Hardware montado na matriz de contatos	45
Figura 16 - Fluxograma do <i>firmware</i>	46
Figura 17 - Fluxograma do aplicativo Android	50
Figura 18 - Tela principal do aplicativo Android.....	51
Figura 19 - Tela de gráfico de consumo	53
Figura 20 - Tela de ajuda, parte 1	54
Figura 21 - Tela de ajuda, parte 2.....	55
Figura 22 - Protótipo em placa universal	58
Figura 23 - Protótipo com todos os elementos conectados	59
Figura 24 - Protótipo final	60
Figura 25 - Tela do aplicativo no teste com ferro elétrico.	62
Figura 26 - Tela do aplicativo no teste de longa duração.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de equipamentos residenciais.....	17
Tabela 2 - Precisão dos sensores de corrente OWL micro+	27
Tabela 3 - Comparativo entre os monitores de energia ...	30
Tabela 4 - Tipo de sensores de corrente ACS-712	34
Tabela 5 - Comandos do sistema	47
Tabela 6 - Testes de consumo.....	61
Tabela 7 - Custo ACcontrol	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADT - *Android Developer Tools*

AM - *Amplitude Modulation*

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

AUD - *Australia Dollar*

AURESIDE - Associação Brasileira de Automação Residencial

AVD - *Android Virtual Device*

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina

CI - Circuito Integrado

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GBP - *United Kingdom Pound*

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e

Serviços

kWh - Kilowatt-Hora

MP3 - *MPEG-1/2 AudioLayer 3*

PIS - Programa de Integração Social

ProcelEficiência - Programa Celesc de Eficiência

Energética

RMS - *Root Mean Squared*

SIG - *Special Interest Group*

SMD - *Surface-Mount Device*

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USD - *United States Dollar*

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Definição do problema	13
1.3 Objetivo geral.....	14
1.4 Objetivos específicos	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Automação residencial.....	15
2.2 Custo de energia elétrica e consumo elétrico de equipamentos residenciais.....	16
2.3 Medição de valor eficaz em sinais senoidais	18
2.4 Sensores de corrente	20
2.5 Sistema operacional android	23
2.6 Tecnologia bluetooth.....	24
2.7 Produtos comerciais similares	25
2.7.1 Owl Micro+.....	25
2.7.2 P4200 Kill A Watt Wireless.....	27
2.7.3 Wireless Electricity Energy Monitor (Ha102)	28
3. DESENVOLVIMENTO.....	31
3.1 Sistema proposto	31
3.2 Seleção dos componentes de hardware	34
3.2.1 Sensor de corrente	34

3.2.2	Módulo sem fio	36
3.2.3	Fonte.....	37
3.2.4	Regulador de tensão	38
3.2.5	Relé	39
3.2.6	Microcontrolador	39
3.3	Ferramentas de desenvolvimento	40
3.4	Desenvolvimento do hardware	41
3.5	Desenvolvimento do firmware	45
3.5.1	Fluxo principal.....	47
3.5.2	Interrupção do timer	48
3.6	Desenvolvimento do <i>software</i>	49
3.7	Testes com o sistema proposto	58
4.	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

Com a popularização da informática na última década, os avanços nas áreas de telecomunicações e sistemas móveis, o cenário econômico mais favorável em nosso país e a popularização de tecnologias que por muitos anos foram de uso restrito e/ou nobre, cada vez mais, as pessoas tem acesso à informação e equipamentos ricos em funcionalidades.

Dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets* estão cada vez mais presentes na vida das pessoas. O Android é um dos sistemas operacionais dominantes nesses dispositivos que as pessoas costumam manusear diariamente e, conseqüentemente, adquirem o conhecimento necessário para operá-los e mantê-los funcionando. Devido a essa praticidade, esses dispositivos são ideais para que novas funcionalidades sejam agregadas à eles, conforme se tem observado a cada ano.

A convergência de funções para dispositivos móveis permite que eles possam realizar, além de suas funções primárias (como efetuar ligações telefônicas, por exemplo), funções que eram realizadas por dispositivos dedicados, por exemplo: máquina fotográfica, filmadora, MP3 *player*, gravador de voz, controle-remoto de TV/garagem, controle de ar-condicionado, entre outros. Esta convergência permite aos fabricantes de eletroeletrônicos usufruírem dos benefícios destes dispositivos, que podem ser usados como interface para seus produtos e/ou complementá-los.

Paralelo aos avanços tecnológicos, há uma grande preocupação mundial com o consumo de energia elétrica dos equipamentos eletroeletrônicos e com o uso racional e consciente da energia, para poupar os recursos do planeta e reduzir o desperdício de energia. Com isto, surgiram novas políticas e diretrizes, tanto para as empresas fabricantes de equipamentos quanto para seus consumidores, que cada vez mais são motivados a prestar atenção ao consumo de seus equipamentos. Existem, por exemplo, incentivos por parte das concessionárias de energia, aliados à campanhas na mídia.

Neste trabalho, é proposto o desenvolvimento de um sistema que possibilita às pessoas monitorar o consumo de energia elétrica de seus equipamentos residenciais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido à exigência de equipamentos mais econômicos e eficientes no mercado e às políticas impostas aos fabricantes para atenderem a esta demanda, os usuários necessitam de informações em tempo real sobre o consumo de energia de seus equipamentos, para que possam monitorá-los e conferir resultados, como a redução na conta de energia elétrica. Mas, para isto ser possível, os consumidores precisam ser abstraídos de questões técnicas, e sem muito esforço, de forma prática, terem condições de atingir este objetivo.

Dadas essas necessidades, este trabalho justifica-se, pois, permite não só monitorar o consumo de equipamentos residenciais, como também controlá-los (ligar/desligar). De forma objetiva e simples, os consumidores poderão monitorar o consumo (potência e custo em Reais/R\$) de equipamentos residenciais através de seus dispositivos móveis, como *tablet* e/ou *smartphone*, por meio de um aplicativo que agrega esta funcionalidade a eles.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Produtos similares encontrados no mercado geralmente possuem vários componentes, dimensões grandes e precisam ser importados. Além disso, sua interface não é adaptada para consumidores brasileiros, pois apresentam informações em outros idiomas e muitos só possuem suporte na moeda corrente do país de origem.

Essa falta de meios acessíveis para o consumidor brasileiro verificar o consumo de energia elétrica de seus equipamentos residenciais torna necessária uma alternativa nacional, um equipamento com preço acessível e que ao mesmo

tempo possua as mesmas ou superiores características aos dos produtos similares disponíveis no mercado.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa desenvolver o protótipo de um equipamento que possibilita monitorar e controlar equipamentos elétricos residenciais, com foco no acompanhamento do consumo de energia.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar produtos similares no mercado;
- Analisar a tarifação da energia elétrica;
- Avaliar técnicas para determinação do valor eficaz de sinais senoidais;
- Projetar um *hardware* para a obtenção do consumo de energia de equipamento CA;
- Desenvolver um *software* para a leitura de consumo de energia.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizam-se diversas tecnologias e técnicas, é fundamental compreendê-las para que sejam usadas e exploradas de forma clara, simples e eficiente. Assim, torna-se necessária uma análise dos principais tópicos envolvidos:

- Automação residencial;
- Custo da energia elétrica e consumo elétrico de equipamentos residenciais;
- Medição de valor eficaz em sinais senoidais;
- Sensores de corrente;
- Sistema operacional Android;
- Tecnologia Bluetooth;
- Produtos comerciais similares.

2.1 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Conforme a Associação Brasileira de Automação Residencial (AURESIDE, 2013), a automação residencial consiste em sistemas que trazem para as pessoas diversos benefícios em suas atividades diárias, como: economia de energia elétrica (a energia pode passar a ser usada apenas quando e onde é necessária), conveniência (luzes podem ser ligadas/desligadas e/ou automaticamente por meio de uma interface centralizada), segurança (câmeras podem ser instaladas e acessadas remotamente), economia de tempo (aparelhos de televisão/som podem ter o volume diminuído ao tocar a campainha da residência), conforto (controle remoto das funções do sistema) e acessibilidade (sistemas controlados por som e interfaces diferentes para cada necessidade).

A automação residencial surgiu após a automação industrial e comercial, que por motivações econômicas vieram antes. No Brasil, na década de 1970, surgiam os primeiros sistemas de automação industrial, e em seguida a automação

comercial que teve grande destaque com o sistema de código de barras e os avanços na área da informática, com a popularização do computador e *softwares* para gerenciamento e supervisão (AURESIDE, 2013).

A AURESIDE, composta por projetistas e instaladores de sistemas de automação residencial, contém em seu sítio (www.areside.org.br) uma série de informações sobre a realidade da automação residencial no Brasil. Segundo a entidade, muitos dos equipamentos instalados no país estão isolados em lugares e funções específicas, não existe uma integração entre os sistemas. Como consequência, isto acaba trazendo frustrações para o usuário, tanto no uso quanto na convivência com estes sistemas. Os membros da AURESIDE reforçam que uma das principais preocupações dos projetistas e instaladores deve ser justamente a integração entre sistemas, o que do contrário, acarreta em uma grande confusão operacional.

Na busca dessa integração, um dos desafios está no meio físico no qual os equipamentos se comunicam e seus protocolos, pois muitos são proprietários. Uma das soluções é a adoção da tecnologia sem fio, que evita o problema do 'casamento' de tecnologia entre cabos de sistemas diferentes, além de permitir uma maior acessibilidade. Para isto, existem tecnologias que se utilizam da faixa de rádio frequência de 2,4 Ghz, como o Bluetooth e o zigBee.

2.2 CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA E CONSUMO ELÉTRICO DE EQUIPAMENTOS RESIDENCIAIS

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a responsável pelo cálculo das tarifas de energia elétrica de todas as distribuidoras do país. O cálculo leva em conta os custos de geração da energia, transporte até o consumidor (transmissão e distribuição) e os encargos setoriais. Os governos federal, estadual e municipal também cobram na conta de energia o PIS/COFINS, ICMS e a contribuição para iluminação pública (ANEEL, 2013).

Os custos da energia elétrica são separados em grupos e subgrupos, conforme o perfil da unidade consumidora. O consumidor residencial que utiliza baixa tensão (110 V/220 V) pertence ao subgrupo 'B1'. Segundo a distribuidora de energia elétrica de Santa Catarina (CELESC), o cálculo final de sua tarifa pode ser obtido pela Equação 1 (CELESC, 2013):

$$\text{Custo R\$} = \frac{\text{Tarifa homologada ANEEL}}{\left(\frac{100 - (\text{PIS} + \text{COFINS} + \text{ICMS})}{100}\right)} \quad (\text{Equação 1})$$

O valor pago na fatura de energia vem sob a forma de duas tarifas: Tarifa de Energia (TE) mais a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Através da soma dessas duas tarifas, é possível obter o resultado da fórmula. A cobrança é realizada por Kilowatt-Hora consumido (kWh) (CELESC, 2013).

O consumo dos equipamentos é medido pela sua potência em Watts no decorrer do tempo, obtido pela multiplicação da sua tensão de funcionamento pela corrente consumida, dados que podem ser verificados no manual do equipamento. No sítio do Programa Celesc de Eficiência Energética (ProcelEficiência) é possível encontrar informações sobre o consumo dos principais equipamentos em uma residência, a Tabela 1 mostra alguns deles:

Tabela 1 - Consumo de equipamentos residenciais

Equipamento	Potência (Watts)	Tempo ligado (horas/dia)	Consumo Mensal (kWh)	Custo (R\$)
Lâmpada incandescente	100	6	18	5,40
Lâmpada fluorescente	32	6	5,76	1,73
Microondas (grande)	1400	0,5	21	6,30
Ar condicionado (7500 BTU)	950	6	171	51,33
Ar condicionado (12000 BTU)	1400	6	252	75,64
Chuveiro (verão)	3200	0,5	48	14,41
Chuveiro (inverno)	5400	0,5	81	24,31

Equipamento	Potência (Watts)	Tempo ligado (horas/dia)	Consumo Mensal (kWh)	Custo (R\$)
Aspirador de pó	1000	0,5	15	4,50
Ferro elétrico	1000	0,5	15	4,50
Lavadora de roupa (água fria)	600	0,5	9	2,70
Secadora de roupa	2000	0,5	30	9,01
Ventilador de teto	200	6	36	10,81
Computador	200	6	36	10,81
TV (20 polegadas)	150	4	18	5,40
Freezer (pequeno)	62,5	24	45	13,51
Refrigerador (pequeno)	50	24	36	10,81

Fonte: PROCELEFICIENCIA, 2013.

Conhecer o consumo de cada equipamento é fundamental para controlar os gastos com energia elétrica e assegurar que o equipamento esteja funcionando de acordo com as especificações do fabricante.

2.3 MEDIÇÃO DE VALOR EFICAZ EM SINAIS SENOIDAIS

O valor eficaz de um sinal senoidal é conhecido como RMS (*Root Mean Squared*). RMS é o valor efetivo de uma tensão ou corrente que varia com o tempo. No caso de uma tensão alternada, por exemplo, é o valor equivalente de sua tensão caso fosse contínua. Se uma lâmpada alimentada por 220 V eficazes em corrente alternada é alimentada por 220 V em corrente contínua, ela irá brilhar com a mesma intensidade (RAENG, 2013), conforme se pode ver na Figura 1.

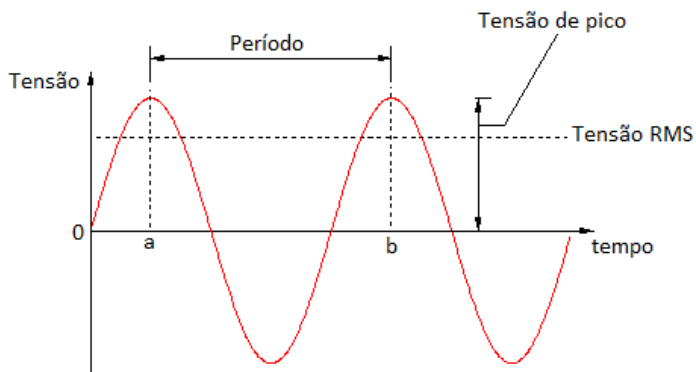


Figura 1 - Forma de onda de uma corrente alternada

Para obter o valor RMS de um sinal senoidal $y = f(t)$ que varia no tempo de 'a' até 'b', usa-se a Equação 2:

$$Y_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b y(t)^2 dt} \quad (\text{Equação 2})$$

Que pode ser descrita como: a raiz quadrada do valor médio dos valores elevados ao quadrado em um certo período. Para obter o valor RMS de um sinal discreto, usa-se a Equação 3 (ALMEIDA, 2009):

$$Y_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (x[i])^2} \quad (\text{Equação 3})$$

2.4 SENSORES DE CORRENTE

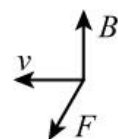
Existem várias técnicas para se medir corrente elétrica, mas devido ao baixo custo, apenas três se destacam: resistiva, transformadores de corrente e efeito Hall. As outras técnicas são muito mais caras, de uso raro ou ainda emergentes (ALLEGRO, 2013).

A técnica resistiva consiste em utilizar um resistor de baixa resistência em série com o condutor por onde passa a corrente a ser medida, o valor depende da corrente máxima que se deseja medir. Porém, devido a essa característica, há perdas pela passagem de corrente no resistor, pela potência dissipada que consequentemente gera calor e pode demandar o uso de resistores de potência de grande porte, além de não haver isolamento da rede elétrica. A corrente ao passar pelo resistor gera uma tensão, usada como base por um circuito externo que então obtém o valor da corrente. Devido à tensão gerada pelo resistor ser muito baixa, ainda há a necessidade do uso de um amplificador em sua saída. Em síntese, a técnica converte corrente em tensão (ALLEGRO, 2013).

A técnica de transformadores de corrente está entre as últimas tecnologias de baixo custo, devido ao uso de um transformador, ela só serve para corrente alternada. A maioria dos transformadores de corrente de baixo custo são desenvolvidos para faixas de frequências estreitas, são mais caros que sensores resistivos e de efeito Hall, e não podem ser usados para correntes contínuas. Porém, não apresentam perdas, possuem isolamento da rede elétrica, não possuem tensão de *offset* quando não há corrente e não requerem fontes de alimentação externa (ALLEGRO, 2013).

A técnica de efeito Hall possui este nome devido ao seu descobridor, Edwin Hall, que em 1879 descobriu que uma tensão surge em uma placa condutora quando um campo magnético passa através desta placa em uma direção perpendicular ao seu plano, conforme mostra a Figura 2.

Lorentz Force

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$


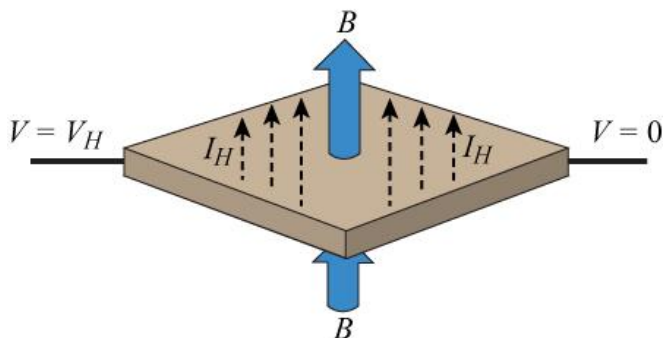


Figura 2 - Efeito Hall

Fonte: ALLEGRO, 2013.

O princípio básico do efeito Hall é a força Lorentz. Quando um elétron se move em uma direção ' v ', perpendicular ao campo magnético aplicado ' B ', apresenta uma força ' F ' (força Lorentz) perpendicular ao sentido da corrente ' v ' e ao campo magnético ' B '. Em resposta a esta força ' F ', os elétrons se movem em um caminho curvo ao longo do condutor e então uma tensão surge através da placa, esta é a tensão de Hall ' V_H '. Sua polaridade é determinada pela direção do campo magnético aplicado e é proporcional à força do campo magnético, conforme a Equação 4 (ALLEGRO, 2013):

$$V_h = \frac{I B}{P n q t}$$

(Equação 4)

Onde:

- V_h - tensão de Hall através da placa;
- I - corrente que passa pela placa;
- q - magnitude da carga dos portadores de carga;
- P_n - número de portadores de carga por unidade de volume;
- t - espessura da placa.

Devido às suas propriedades, o sensor de efeito Hall também é conhecido como sensor magnético. Nesta tecnologia encontram-se os sensores de efeito Hall lineares, que apresentam como saída um sinal proporcional ao campo magnético aplicado. A Figura 3 mostra a curva de transferência típica deste tipo de sensor:

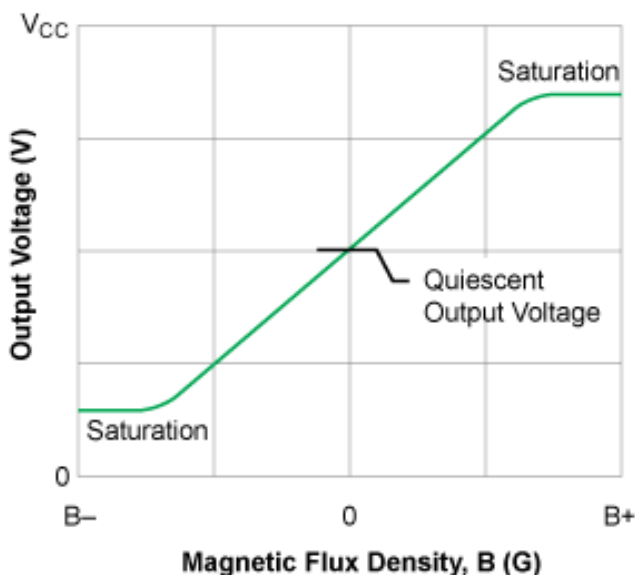


Figura 3 - Curva típica sensor Hall linear

Fonte: ALLEGRO, 2013.

Quando não há campo magnético 'B', ou seja, ele é nulo, a tensão de saída do sensor corresponde à metade da tensão de

alimentação ($V_{cc}/2$), essa tensão é conhecida como tensão de *offset*. Quando há um campo magnético positivo ou negativo, a tensão de saída do sensor varia linearmente para mais ou menos, respectivamente, até seus limites, onde ocorre a saturação (ALLEGRO, 2013).

2.5 SISTEMA OPERACIONAL ANDROID

Android é um sistema operacional móvel, desenvolvido pela Google. Atualmente é o mais utilizado em equipamentos móveis, como *smartphones* e *tablets*, são ativados mais de um milhão de dispositivos todos os dias (ANDROID DEVELOPER, 2013).

A Google possui diversos parceiros que utilizam seu sistema Android, entre eles estão os maiores fabricantes de eletroeletrônicos do mundo, como: Samsung, HTC, Motorola, Sony e Asus (ANDROID, 2013). Com isso, o sistema busca sua expansão em sincronia com as novas tecnologias que seus parceiros incluem no *hardware* dos seus dispositivos, possibilitando uma evolução rápida do Android. Consequentemente, ao fornecer aos desenvolvedores acesso à estas tecnologias, resultam em aplicativos cada vez mais inovadores, avançados e úteis para os consumidores finais.

O Android é um sistema operacional aberto, baseado no sistema Linux. Para se desenvolver aplicativos para a plataforma, é disponibilizado um pacote oficial de ferramentas, chamado de ADT (*Android Developer Tools*). Nele contém uma versão do ambiente de desenvolvimento integrado Eclipse em Java para Android que permite o desenvolvimento, depuração e geração do binário final. Esse ambiente de desenvolvimento integrado também proporciona a criação de dispositivos Android virtuais, chamados de AVD (*Android Virtual Device*), que possibilitam a emulação de um sistema operacional Android e o teste do aplicativo que está sendo desenvolvido, no caso de não haver um dispositivo Android real/físico para se testar. Na Figura 4, pode-se ver um aplicativo de teste rodando no AVD.

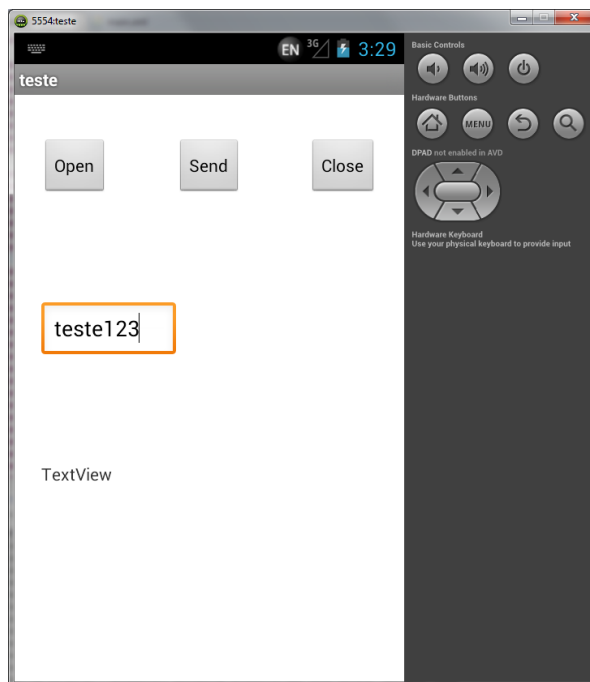


Figura 4 - Aplicativo de teste rodando no AVD

2.6 TECNOLOGIA BLUETOOTH

Bluetooth é uma tecnologia de transmissão de dados sem fio, de curta distância, com segurança e baixo consumo de energia. A comunicação é feita por meio de rádio frequência na faixa de 2,4 Ghz, que é de livre uso na maioria dos países, incluindo o Brasil.

A tecnologia foi criada pela Ericsson em 1994, como uma alternativa sem fio à comunicação serial RS-232. Em 1998, Ericsson, Intel, Nokia, Toshiba e IBM formaram um grupo conhecido como SIG (*Special Interest Group*), responsável por manter, especificar e evoluir o padrão Bluetooth. Atualmente, o SIG contém mais de 18.000 membros (BLUETOOTH, 2013).

A tecnologia Bluetooth está presente em bilhões de produtos, como: *mouse*, carro, celular, aparelhos médicos e até escova de dentes. Bluetooth permite a troca de dados como: voz, música, foto e vídeo entre dispositivos (BLUETOOTH, 2013).

Os dispositivos Bluetooth são categorizados em classes. Os classe 3 possuem alcance de até 1 metro, classe 2 até 10 metros e classe 1 até 100 metros. Os dispositivos mais comuns são os de classe 2, presentes em *smartphones* e *tablets*, com consumo em torno de 2,5 mW. Embora a especificação oficial determine um alcance mínimo, os fabricantes são livres para ajustar a potência conforme suas necessidades (BLUETOOTH, 2013).

Para que dispositivos Bluetooth se comuniquem, eles precisam ser capazes de interpretar *profiles*, que são como serviços que os dispositivos fornecem para que outros os acessem. Estes serviços variam dependendo da finalidade do dispositivo que os fornece. Dentre os *profiles*, destaca-se o RFCOMM, um protocolo simples para transporte de dados que emula a antiga porta serial RS-232 (BLUETOOTH DEVELOPER, 2013). A comunicação entre dois dispositivos é realizada entre servidor e cliente, no qual o servidor aguarda a conexão do cliente (RFCOMM, 2013).

2.7 PRODUTOS COMERCIAIS SIMILARES

Este trabalho não propõe um equipamento inédito, existem alguns similares no mercado, porém cada um possui vantagens e desvantagens. A seguir, são mostrados alguns dos equipamentos encontrados.

2.7.1 OWL MICRO+

No sítio da empresa OWL (theowl.com), encontra-se o "OWL micro+", um monitor de consumo de energia sem fio. O produto consiste em 3 componentes: um transmissor, um *display*

e um cabo (sensor de corrente), como pode ser visto na Figura 5 (OWL, 2013).



Figura 5 - OWL micro+

Fonte: Adaptado de OWL(2013)

O sistema funciona da seguinte forma: o cabo/sensor (item b da figura) é colocado nos condutores da rede elétrica onde se deseja medir o consumo de energia, e é conectado à unidade transmissora (item a). A unidade transmissora envia os dados por um protocolo proprietário na frequência de 433 MHz, para a unidade *display* (item c), que então mostra o valor do consumo com base na tarifa previamente configurada pelo usuário. A unidade *display* é uma tela móvel, dedicada apenas para o usuário configurar e visualizar os dados, com alcance de até 30 metros sem obstáculos (OWL, 2013).

Ambas as unidades usam baterias, a atualização do consumo é feita a cada 6 ou 12 segundos (selecionável). O produto acompanha um cabo/sensor de 71 A, mas suporta cabos/sensores de até 200 A, a precisão pode ser vista na Tabela 2 (OWL, 2013):

Tabela 2 - Precisão dos sensores de corrente OWL micro+

Corrente RMS	<1 A	1 A a 3 A	3 A a 71 A	>71 A
Precisão	Não especificado	Maior que 10%	Maior que 5%	Não especificado

Fonte: Adaptado de OWL, 2013.

O manual do produto informa que a tensão é fixa e informada pelo usuário, e pode variar de 100 V a 400 V, usada como base no cálculo do custo da energia pelo sistema (OWL, 2013). O produto pode ser adquirido pelo sítio do fabricante e custa GBP 29,99.

2.7.2 P4200 KILL A WATT WIRELESS

No sítio da empresa P3 International encontra-se o "P4200 Kill A Watt Wireless", um monitor de consumo de energia sem fio. Ele é composto por duas unidades, conforme mostra a Figura 6:



Figura 6 - P4200 Kill A Watt Wireless

Fonte: P3 INTERNATIONAL, 2013.

Similar ao produto da OWL, ele possui uma unidade *display* móvel à bateria, que permite ao usuário visualizar os dados de consumo e configurar o equipamento, a unidade possui alcance de até 100 metros, sem obstáculos. O sensor é fisicamente similar a uma tomada, serve para conectar o equipamento, seu lado oposto é conectado a uma tomada convencional. O produto funciona somente em rede de tensão 110 V e suporta no máximo 15 A. A transmissão dos dados entre as unidades é feita na frequência de 916,5 MHz, usando modulação AM (P3 INTERNATIONAL, 2013).

O usuário precisa somente configurar o valor da tarifa de energia elétrica. O produto possui além do sensor de corrente, um sensor de tensão que informa o valor em tempo real (P3 INTERNATIONAL). O produto pode ser adquirido através da loja do sítio do fabricante (shop.p3international.com) e custa USD 69,99.

2.7.3 WIRELESS ELECTRICITY ENERGY MONITOR (HA102)

No sítio da empresa MIEO encontra-se o "Wireless Electricity Energy Monitor (HA102)", um produto similar ao "OWL micro+", conforme mostra a Figura 7:



Figura 7 - Wireless Electricity Energy Monitor (HA102)

Fonte: MIEO, 2013.

Como pode-se observar, ele é composto por um cabo/sensor de corrente, uma unidade transmissora e um monitor. Sua instalação é similar a do "OWL micro+". A transmissão ocorre por rádio frequência na faixa de 433,93 MHz, com alcance de até 70 metros sem obstáculos. O sensor de corrente mede até 70 A, ou seja, o produto possui um sensor de corrente de tecnologia por efeito Hall, no qual a tensão é informada pelo usuário (MIEO, 2013). O produto é encontrado por AUD 95,54 (Dx.com).

A Tabela 3 mostra um comparativo entre o custo dos produtos pesquisados (os preços foram convertidos para real com base na cotação em que se encontravam no dia 26/09/2013).

Tabela 3 - Comparativo entre os monitores de energia

Produto	Custo (R\$)	Tensão	Corrente máxima
OWL micro+	107,51	Informada manualmente, 100 V a 400 V	200 A
P4200 Kill A Watt Wireless	156,71	Automática, 115 V a 125 V	15 A
Wireless Electricity Energy Monitor (HA102)	200,07	Informada manualmente, 110 V a 240 V	70 A

Conforme é possível observar, atualmente, se o consumidor desejar monitorar o consumo de energia elétrica de seus equipamentos residenciais, precisa contar com alguns dos produtos disponíveis no mercado, muitos deles importados. Contudo, além dos impostos de importação e da espera pela chegada do produto, existem as dificuldades técnicas de instalação e uso, pois muitos desses equipamentos e *softwares* não estão em Português. Além disso, muitas vezes os produtos apresentam características do país de origem onde é produzido e do público alvo, como se observa no manual de um dos equipamentos pesquisados, não existe a opção de consumo em reais (R\$).

Os equipamentos possuem uma característica em comum, eles são modulares, porém isto os torna grandes e segmentados em várias unidades, podendo confundir o usuário leigo com os diversos nomes e siglas e frustrando sua expectativa e experiência. Outro ponto negativo, e destacado pela AURESID, é que todos possuem protocolo fechado, impedindo a integração com outros equipamentos.

Diante dessas observações, percebeu-se a necessidade do desenvolvimento de um equipamento compacto, de peça única, em Português, de uso simples e intuitivo.

3. DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa apresenta-se o fluxo de desenvolvimento do sistema proposto, contemplando os objetivos geral e específicos do trabalho, o que resultou em um produto comercial (ainda que protótipo). Para atingir tais objetivos, foram elaboradas algumas especificações de projeto apresentadas a seguir.

3.1 SISTEMA PROPOSTO

Após analisar os produtos similares encontrados no mercado e suas deficiências, conforme o problema visto no Capítulo 1.2, foram identificados e propostos os seguintes requisitos para o sistema:

- Preço competitivo em relação aos similares;
- Permitir ligar/desligar o equipamento;
- Comunicação sem fio;
- Compacto;
- *Software* simples e intuitivo;
- Protocolo aberto;
- Permitir integração com outros equipamentos/sistemas de automação residencial;
 - Sistema com isolamento da rede elétrica;
 - Funcionamento em rede elétrica de 110 V e 220 V.

A Figura 8 mostra o cenário de uso do sistema proposto, situando cada elemento envolvido.



Figura 8 - Cenário de uso do sistema

Conforme é possível observar, equipamentos residenciais (item a) são conectados à tomada normalmente, o *hardware* do sistema proposto (item b) é instalado dentro da tomada. A comunicação ocorre através de tecnologia sem fio com o *software* dos dispositivos móveis (item c).

Detalhando-se os itens, tem-se:

- Item a: São os equipamentos residenciais 110 V ou 220 V, nos quais se pretende controlar e monitorar o consumo de energia elétrica.
- Item b: É onde o equipamento proposto fica instalado, o *hardware* fica entre os condutores provenientes da rede elétrica e os terminais da tomada, controlando assim a passagem de energia elétrica para a tomada (e, conseqüentemente, o equipamento conectado) e monitorando o fluxo de corrente.

- Item c: São os dispositivos móveis que suportam o mesmo tipo de tecnologia sem fio do *hardware*, e permitem o controle e monitoramento da tomada (e conseqüentemente do equipamento residencial conectado à ela), por meio de uma interface para o usuário.

Considerando as funcionalidades propostas, o sistema necessita dos seguintes componentes de *hardware*: sensor de corrente, comunicação sem fio, alimentação auxiliar e unidade de processamento. A Figura 9 mostra os componentes de *hardware* em mais detalhes.

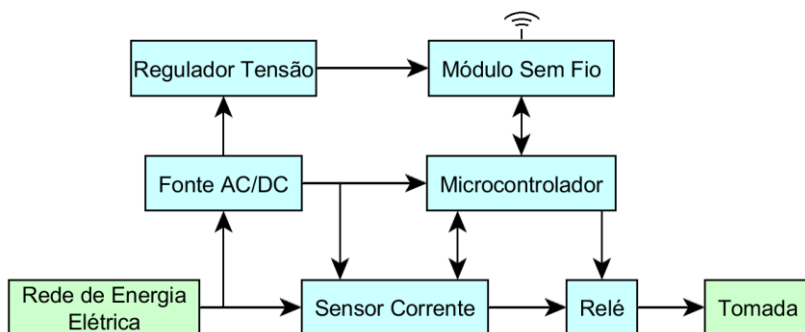


Figura 9 - Componentes de hardware

Em relação ao *software*, devido ao sistema ter protocolo aberto, fica a critério dos desenvolvedores construir o aplicativo como desejarem, desde que contemplem os objetivos do sistema. Conforme será visto no Capítulo 3, para o desenvolvimento do *software*, foi produzido um aplicativo que contempla as funções básicas do equipamento, em Android. Na prática, é como se fosse o aplicativo oficial fornecido pelo fabricante e que acompanha o produto.

Com base nestas definições, que visam atender os requisitos do projeto e viabilizar o sistema proposto, prossegue-se com a etapa de escolha e seleção dos componentes de *hardware*.

3.2 SELEÇÃO DOS COMPONENTES DE HARDWARE

O critério de escolha foi pautado nas seguintes características: custo, disponibilidade no mercado e dimensões. Conforme mostrado na Figura 9, o *hardware* é composto de:

- Sensor de corrente;
- Módulo sem fio;
- Fonte AC/DC;
- Regulador de tensão;
- Relé;
- Microcontrolador.

3.2.1 SENSOR DE CORRENTE

O sensor necessário precisa ser do tipo CA, compacto, e com tecnologia de efeito Hall (devido às características vistas no Capítulo 2, como *insertion loss*, isolamento da rede elétrica e baixo custo).

Em pesquisas com sensores com essas características, encontram-se módulos que usam como base o CI (Circuito Integrado) ACS-712 fabricado pela Allegro, com valor em torno de USD 2,50 (Ebay.com). Esse módulo é comercializado em três versões, todas com o mesmo custo. A Tabela 4 mostra a diferença entre as versões:

Tabela 4 - Tipo de sensores de corrente ACS-712

Versão	Corrente Suportada	Sensibilidade
ACS712T ELC-05B	5 A	185 mv/A
ACS712T ELC-20A	20 A	100 mv/A
ACS712T ELC-30A	30 A	66 mv/A

Como se pode observar, quanto menor a corrente suportada pelo sensor, maior é sua sensibilidade. Optou-se por usar a versão de 5 A (ACS712T ELC-05B), para se obter um equipamento final com maior precisão. Na Figura 10 está a imagem do sensor:

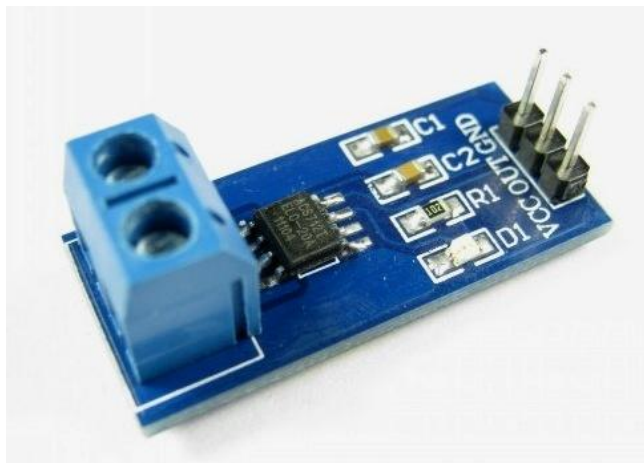


Figura 10 - Sensor ACS-712 de 5A

Fonte: EMBEDDED LAB, 2013.

As três versões são fisicamente semelhantes, mudando apenas o CI utilizado e o valor do capacitor, segundo as especificações do fabricante na folha de dados.

O módulo possui três pinos: VCC (alimentação de 5 V), GND (terra 0 V) e OUT (saída do sensor). O pino de interesse é o OUT, conforme visto no Capítulo 2, este é um sensor do tipo linear de efeito Hall, sendo assim, sua tensão de saída é proporcional à corrente medida, quando não há corrente passando pelo sensor, o pino OUT fica com VCC/2 Volts, como o sensor é alimentado por 5 V, fica aproximadamente 2,5 V.

A sensibilidade é de 185 mV/A, ou seja, varia 185 mV por Ampere. Se estiverem passando 5 A positivos, a saída do pino OUT será 3,425 V ($2,5 + 0,185 \cdot 5$), isso para corrente contínua positiva. Neste trabalho foi medida a corrente alternada (CA). Seguindo este mesmo exemplo, o pino de saída do sensor iria variar dentro de um período de 60 Hz entre 3,425 V e 1,575 V ($2,5 - 0,185 \cdot 5$), indicando -5 A e +5 A.

3.2.2 MÓDULO SEM FIO

A escolha do módulo está relacionada à tecnologia sem fio suportada pelos dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*, além do baixo custo e dimensão compacta. Dentro destas características encontram-se os módulos Bluetooth. Embora a tecnologia zigBee seja largamente usada em equipamentos de automação residencial, dispositivos móveis como os citados não possuem suporte nativo ao zigBee, por isso essa tecnologia não foi utilizada.

Módulos Bluetooth podem ser encontrados por volta de USD 5,00 (Ebay.com). Na Figura 11, pode-se ver o módulo:

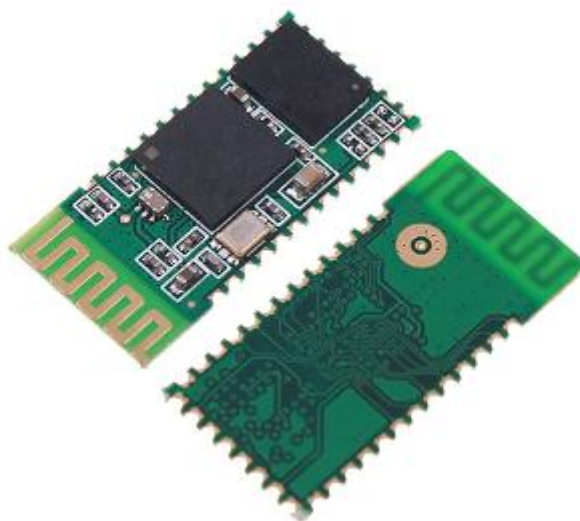


Figura 11 - Módulo Bluetooth

Fonte: Ebay, 2013.

Conforme visto no Capítulo 2, existem diversos serviços oferecidos pela tecnologia Bluetooth. Este módulo oferece o serviço RFCOMM, que atua como uma porta serial, sendo assim de fácil integração e uso. O módulo possui diversos pinos, mas

somente quatro são de interesse: VCC (alimentação 3,3 V), GND (terra 0 V), TX (envia dados) e RX (recebe dados).

O módulo possui um CI conhecido como "BT0417C", que vem em sua configuração padrão de fábrica pronto para operar a taxa de 9600 bps, 8N1 (8 *bits* de dados, sem paridade e 1 *bit* de *stop*). Basta alimentá-lo para ser possível detectá-lo através de um *smartphone*, por exemplo, seu nome de fábrica ao detectá-lo é 'Linvor'. Ao tentar uma conexão, será solicitada uma senha que é padrão de fábrica, '1234' ou '0000'.

Embora o módulo se encontre com os parâmetros mais comuns de uso, pode-se alterar alguns deles, como: nome do módulo, senha e velocidade de comunicação. Estas configurações precisam ser feitas através de comandos AT, de acordo com as indicações na folha de dados do fabricante, e necessita de uma conexão através de uma porta serial física (via cabo) no módulo. Não é possível configurá-lo através da própria conexão Bluetooth.

O módulo é classe 2 (alcance de até 10 metros sem obstáculos) e suporta velocidades de até 115.200 bps. A transmissão ocorre na faixa de 2,4 GHz, e conforme uma das vantagens presentes na tecnologia Bluetooth em termos de segurança, é criptografada. Além disso, como visto, só é possível configurá-lo com acesso físico ao módulo, evitando assim que qualquer conexão Bluetooth mal intencionada possa reconfigurá-lo.

3.2.3 FONTE

A escolha da fonte precisa de uma atenção especial, pois sua qualidade afeta diretamente o resultado das medições realizadas pelo sistema. Uma fonte compacta, estável e barata é o que se busca. Com base nessas características, e sabendo da divergência de tensão de alimentação entre o sensor de corrente (5 V) e o módulo Bluetooth (3,3 V), é necessário o uso de um regulador de tensão.

A fonte precisa ser do tipo CA/CC, pois ela ficará dentro da tomada e terá como entrada a tensão da rede. Como um dos requisitos do projeto é suportar 110 V e 220 V, ela também precisa identificar em qual tensão irá trabalhar automaticamente ao ser conectada na rede elétrica. Em pesquisas encontrou-se a fonte mostrada na Figura 12:



Figura 12 - Fonte CA/CC

Fonte: DX, 2013.

Como se pode observar, trata-se de uma fonte compacta do tipo CA/CC. Custa USD 2,00 (Dx.com), trabalha com 110 V ou 220 V automaticamente e fornece até 1 A de corrente. Como ela fornece os 5 V necessários para o sensor de corrente, só será necessário o uso de um regulador de tensão, para o módulo Bluetooth de 3,3 V.

3.2.4 REGULADOR DE TENSÃO

A necessidade do regulador de tensão surge devido às divergências na tensão de alimentação entre o módulo Bluetooth e o sensor de corrente. Sua escolha está vinculada à fonte de energia a ser usada para o sistema. Como a fonte escolhida fornece 5 V, é necessário um regulador de tensão de 3,3 V e que forneça a corrente necessária aos componentes que serão alimentados.

Assim, existe o regulador de tensão linear LM1117 de 3,3 V, com valor de aproximadamente R\$ 2,00, que fornece até 800 mA ou ainda 1 A (dependendo do fabricante). O LM1117 possui três pinos: entrada, saída e terra. O pino de entrada é alimentado com a tensão que se deseja converter/regular, por exemplo 12 V, e então seu pino de saída terá a tensão de 3,3 V.

3.2.5 RELÉ

Devido ao controle efetuado pelo sistema proposto e ao isolamento elétrico, que é um dos requisitos do projeto, optou-se pelo uso de um relé. Relé é um componente que permite realizar conexões físicas entre dois terminais, fechando ou abrindo o contato.

Como foram selecionados alguns componentes, tem-se duas tensões de trabalho (5 V e 3,3 V). Por isso, procurou-se por um relé que permitisse o controle usando uma dessas tensões, compacto, barato e que suportasse uma corrente compatível com a dos produtos similares. Com base nessas características optou-se pelo uso de um relé de 10 A.

O componente possui cinco terminais, basta alimentar sua bobina interna, que os contatos do pino Normalmente Aberto (NA) são fechados, permitindo assim a passagem de corrente entre esse pino e o terra (pino central), e, conseqüentemente, ligando um equipamento a que esteja conectado, por exemplo. Quando a alimentação da bobina é retirada, o pino NA volta ao seu estado natural. O processo inverso ocorre com o pino Normalmente Fechado (NF). Este tipo de relé pode ser encontrado no varejo por aproximadamente R\$ 2,50.

3.2.6 MICROCONTROLADOR

A unidade de processamento precisa ler uma tensão analógica do sensor de corrente, comunicar-se de forma serial com o módulo Bluetooth, alimentar-se de 5 V ou 3,3 V, ser compacto (sem uso de cristais externos por exemplo) e ter

capacidade de processamento suficiente para permitir ao sistema ler a corrente analógica do sensor, obter o sinal eficaz e enviar para o módulo Bluetooth, pois trata-se de um equipamento de tempo real.

Optou-se por utilizar o dsPIC da Microchip (modelo 33FJ12GP201), devido à disponibilidade do componente, ao conhecimento adquirido para operá-lo, e à infraestrutura disponível para gravá-lo e depurá-lo.

O dsPIC 33FJ12GP201 é um DSC (*Digital Signal Controller*) de 16 *bits*, possui oscilador interno, atinge até 40 MIPS, é alimentado por 3,3 V, com porta serial, conversor analógico digital de 10/12 bits (selecionável), memória *flash* de 12 *Kbytes*, memória RAM de 1 *Kbyte* e contém 18 pinos.

Embora esse microcontrolador seja indicado pelo fabricante para uso em aplicações maiores, devido a sua capacidade de processamento, como o projeto é um protótipo e ainda não se sabe a real demanda de processamento que irá existir, fica uma margem tanto em termos de capacidade de processamento quanto em disponibilidade de periféricos. Este é o componente de *hardware* mais caro do produto, com valor em torno de R\$ 15,87 (Farnellnewark.com.br).

3.3 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

O critério de escolha foi determinado principalmente pelo custo. Embora muitas vezes as pessoas não se dêem conta, os custos com *softwares* usados para o desenvolvimento dos produtos podem ser altos, e são repassados ao consumidor no valor desses produtos. Por isso, o critério adotado foi possuir *software* gratuito.

Para se desenvolver o *software* de monitoramento e *firmware* do sistema, foram utilizadas as ferramentas fornecidas por seus fabricantes, que são gratuitas, e/ou com algumas limitações, mas que não impedem a realização deste trabalho.

Para se desenvolver o *firmware* é usado o *software* fornecido pela Microchip, chamado de MPLab, um ambiente de desenvolvimento integrado, composto por editor de código, compilador *assembly/C*, e permite a conexão com o dsPIC para a gravação e depuração do sistema. Optou-se por programar em C, devido à produtividade e baixa complexidade. A limitação justifica-se pela otimização do código efetuada pelo compilador (C30), que é baixa, por causa do uso de sua versão gratuita. Para o desenvolvimento do *software*, optou-se pelo ADT, conforme visto no Capítulo 2.

Justificadas as escolhas, expostas as características do sistema, de posse de todos os seus componentes e com a infraestrutura de ferramentas pronta, parte-se para o desenvolvimento do *hardware* e *software*, que podem ser vistos nos capítulos a seguir.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

A Figura 13 mostra como fica a conexão lógica entre os elementos, omitindo apenas os capacitores, para simplificação visual.

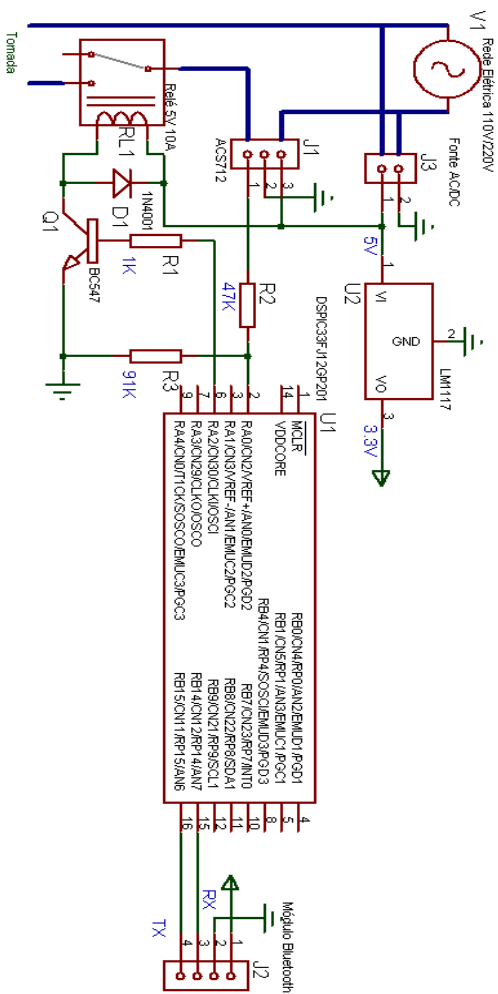


Figura 13 - Conexão lógica do hardware, parte 1

Conforme se pode observar, os condutores provenientes da rede elétrica (item V1) são usados para alimentar a fonte do sistema (item J3). Um desses condutores também é conectado ao sensor de corrente (item J1) e ao relé (item RL1) que, por sua vez, controla a conexão física do mesmo com a tomada, permitindo a alimentação de equipamentos conectados a ela.

A fonte do sistema (item J3) alimenta diretamente o sensor de corrente (item J1) e o relé (item RL1). Ela também é usada

como entrada para o regulador de tensão (item U2), para se obter os 3,3 V, usados para alimentar o dsPIC (item U1) e o módulo Bluetooth (item J2).

O pino RA0 do dsPIC é conectado à saída do regulador de tensão e o pino RA2 é conectado à base do transistor Q1, controlando o acionamento do relé e, conseqüentemente, o ligamento/desligamento da tomada. O módulo Bluetooth tem seus pinos de transmissão e recepção de dados (TX e RX respectivamente) conectados aos pinos RP15 e RP14 do dsPIC.

Conforme se pode observar, além dos componentes previstos para o *hardware*, foram necessários mais alguns ajustes, como a adição de um transistor para acionamento do relé, divisor de tensão para o conversor analógico digital do dsPIC e capacitores para filtragem de ruídos.

A adição do transistor foi necessária devido à tensão de operação do dsPIC ser 3,3 V e a corrente fornecida pelo pino ser de 4 mA, uma vez que o relé necessita de 5 V e 60 mA para ser acionado. A solução foi usar um transistor comum (BC547) como chave, conectando o pino do dsPIC de 3,3 V no seu terminal base, para controlar o estado do transistor entre saturação e corte. Optou-se por conectar o relé diretamente em 5 V e deixar para o transistor o controle de sua conexão ao terra/0 V. Para isso, também usou-se um resistor de 1K Ohms entre a base do transistor e o pino de controle do dsPIC.

A necessidade do uso de um divisor de tensão surgiu por causa do sensor de corrente, que ao medir uma corrente de 5 A, entrega em sua saída uma tensão de 3,425 V ($2,5+5*0,185$), superior à suportada pelo dsPIC, de no máximo 3,3 V. Portanto, o objetivo do divisor de tensão é reduzir essa tensão entregue pelo sensor, fazendo que comporte na faixa de operação do conversor analógico digital do dsPIC, que vai de 0 V a 3,3 V.

A fim de manter a compatibilidade do sistema com os outros sensores da família ACS-712, optou-se por reduzir o valor de tensão do pior caso, que ocorre quando o sensor entrega próximo de 5 V ao conversor analógico digital. Isso ocorre com o uso do ACS712-30A, que ao detectar 30 A, tem em sua saída

uma tensão de 4,48 V ($2,5+30*0,066$), assim, optou-se por suportar até 5 V, como margem de segurança. A Figura 14 mostra como fica o divisor de tensão:

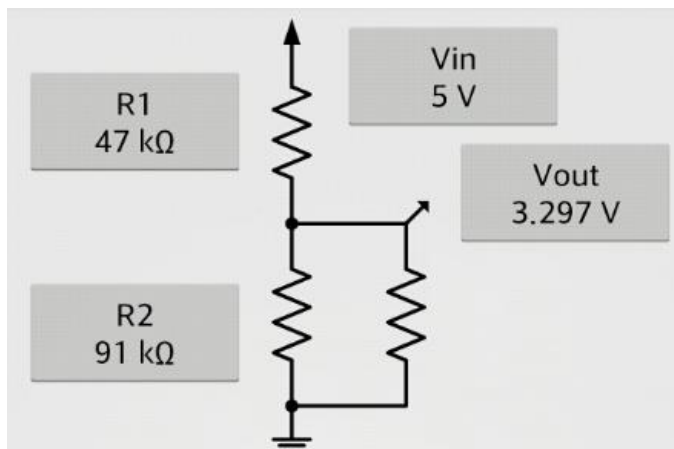


Figura 14 - Divisor de tensão

A conversão não fica exata em 3,3 V, devido ao valor dos resistores serem comerciais. Além desses acréscimos, foram necessários capacitores para a filtragem de ruídos, tanto para altas como para baixas frequências, decorrentes da qualidade da fonte de alimentação, e de outros fatores, como recomendação pelo fabricante do regulador de tensão, por exemplo. Por isso, foram utilizados capacitores cerâmicos de 10 pF para as altas frequências e capacitores eletrolíticos de 470 μ F e 100 μ F para as baixas frequências.

Para uma primeira montagem do protótipo, optou-se pelo uso de uma matriz de contatos, que facilita a conexão entre os componentes, além dos testes e depuração. Como o produto final é instalado dentro de uma tomada, sem muito espaço, é fundamental montar o *hardware* de forma compacta. Na Figura 15, pode-se ver como o protótipo ficou agrupado na matriz de contatos.

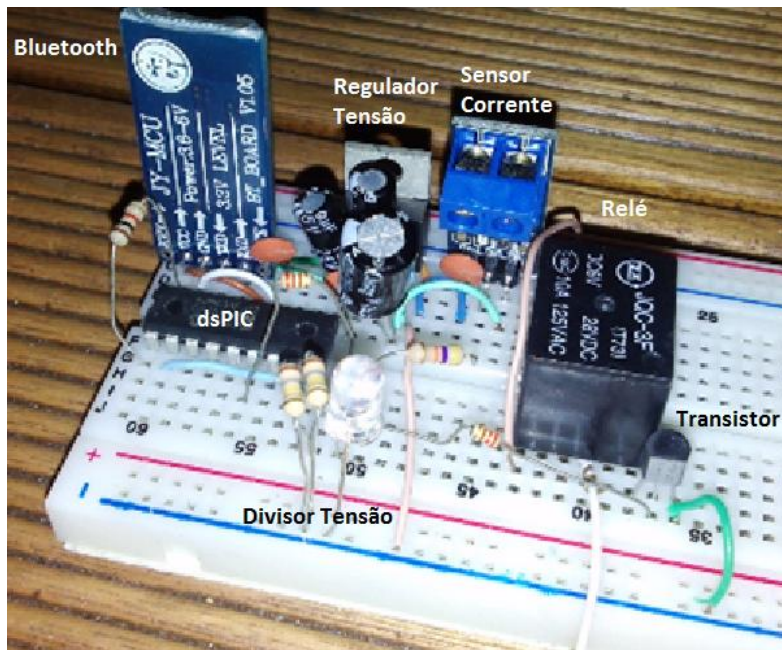


Figura 15 - Hardware montado na matriz de contatos

3.5 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE

O *firmware* precisa ser desenvolvido com foco em algumas facilidades nativas, para facilitar o desenvolvimento do *software* que se comunica com o equipamento. Um dos objetivos específicos é que o *firmware* possua protocolo aberto, a fim de permitir seu controle e integração com outros sistemas. A Figura 16 mostra o fluxograma do *firmware*:

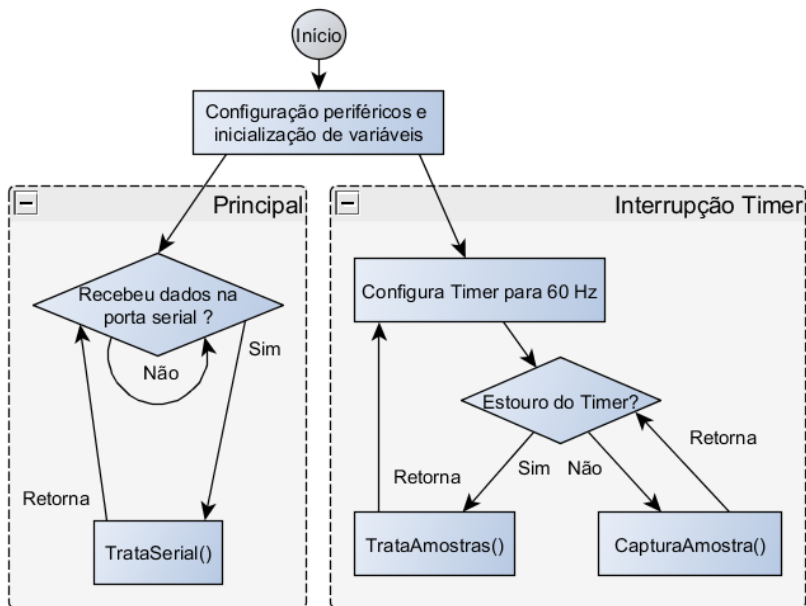


Figura 16 - Fluxograma do *firmware*

Conforme é possível observar, após o início tem-se a etapa de configuração e inicialização de variáveis, em seguida o código avança para dois fluxos em paralelo: um laço principal e uma interrupção do *timer*.

Na etapa de configuração e inicialização de variáveis, são realizadas as configurações específicas do dsPIC e dos periféricos utilizados, além da inicialização das variáveis. Essa etapa compreende as seguintes configurações:

- Processador em 40 MIPS;
- Porta serial para 115200 bps;
- Conversor analógico digital em 12 *bits*;
- Configuração dos pinos de entrada/saída (E/S);
- Configuração do *timer*.

Optou-se por utilizar a porta serial na velocidade máxima permitida pelo módulo Bluetooth, de 115.200 bps, a fim de se trabalhar com 'folga' e permitir um fluxo de dados em tempo real,

lembrando que ainda se trata de um protótipo, e não se sabe exatamente a real necessidade da velocidade. Além disso, essa 'folga' permite enviar dados de depuração, enquanto é desenvolvido.

A configuração dos pinos de E/S é feita com base na função de cada pino. Todos os pinos foram configurados como saída, com exceção do pino RP15, que é conectado ao TX do módulo Bluetooth, por onde são recebidos os dados pelo dsPIC. O módulo Bluetooth foi configurado para operar a 115.200 bps, conforme os comandos indicados em sua folha de dados. Após as configurações tem-se o fluxo principal.

3.5.1 FLUXO PRINCIPAL

O sistema monitora a porta serial, se chegar algum comando, a função "TrataSerial()" é invocada. Essa função é a responsável pelo protocolo aberto do sistema, ao receber um dado, é verificado se ele é válido, caso o seja, é comparado com uma tabela de comandos aceitos. No caso de o dado recebido ser um comando aceito, então a ação correspondente é efetuada. A Tabela 5 mostra os comandos aceitos pelo sistema e suas sintaxes:

Tabela 5 - Comandos do sistema

Comando	Sintaxe
Ler corrente atual	'1'
Ler estado da tomada	'2'
Ligar tomada	'3'
Desligar tomada	'4'

Conforme se pode observar, o sistema dispõe de quatro comandos nativos, com sintaxe simples, contendo apenas números em formato de texto.

O comando para leitura da corrente atual (sintaxe '1') serve para obter acesso ao valor de corrente atual que o sistema está lendo do equipamento conectado ao sensor. O retorno é no formato de ponto flutuante na unidade Ampere, da seguinte forma, "0.0426" para 0,0426 A. O comando para leitura do estado

da tomada (sintaxe '2') é empregado para ter acesso ao estado da tomada, se estiver ligada, o retorno será '1', se estiver desligada, o retorno será '0'. Os comandos para ligar a tomada (sintaxe '3') e desligá-la (sintaxe '4'), servem para ligar e desligar a tomada, respectivamente, sem apresentar retorno.

Optou-se por comandos de um dígito para fins de simplicidade e velocidade, pois são enviados em apenas 1 *byte*. A leitura do estado da tomada é feita pela análise do estado do pino de controle desta função (pino conectado ao relé). Isto significa que mesmo enviando o comando para ligá-la e, se por algum motivo se mantiver desligada, o sistema irá enviar o estado como desligado, evitando assim erros e/ou que o controle do estado da tomada precise ser feito pelo *software*. Paralelo ao laço principal, existe a interrupção do *timer*.

3.5.2 INTERRUPÇÃO DO TIMER

A interrupção do *timer* é configurada para ciclicamente capturar o sinal proveniente do sensor de corrente e efetuar a obtenção do valor RMS. Isso é feito da seguinte forma: durante um período de 60 Hz, frequência da rede elétrica no Brasil, que corresponde a 16,666 ms, captura-se o sinal CA recebido do sensor.

Nesse período de 16,666 ms são capturadas as amostras. Conforme o teorema de Nyquist, para que um sinal possa ser amostrado sem perda de informação e/ou frequência, ele deve ser amostrado acima do dobro da frequência mais alta presente neste sinal (BALCH, 2003). Optou-se por tomar 32 amostras, ou seja, a cada $16,666/32$ ms (1920 Hz) é capturada uma amostra, ficando acima do dobro da maior frequência (120 Hz). Após isto, tem-se um vetor com 32 valores.

Com as amostras capturadas, é possível obter o valor RMS do sinal, conforme visto no capítulo 2. Porém, primeiro é necessário (devido ao divisor de tensão) corrigir os valores deste vetor para corresponderem a real tensão de saída do sensor. Isso é feito multiplicando-se os valores amostrados (que são os

menores da real tensão de saída do sensor) pelo fator de correção 1,5151 (5 V/3,3 V), ou seja, uma amostra de 3,3 V será convertida para os originais 5 V.

O trecho de código responsável pela conversão/correção da tensão das amostras e obtenção do valor eficaz da corrente alternada pode ser visto no Quadro 1:

```
//Converte para mV as amostras do conversor analógico digital
for(n=0;n<32;n++)
Amostra[n] = Amostra[n]*(float)3300/4096; //3300 = 3.3V, 4096 = precisão do
conversor analógico digital

//Corrije valor de tensão das amostras, devido ao divisor de tensão
for(n=0;n<32;n++)
  Amostra[n] = Amostra[n]*1.5151;    //Fator correção do divisor de tensão

//Soma amostras
for(n=0;n<32;n++)
tmp += Amostra[n];

tmp /=32; //Calcula a média das amostras

//Faz média menos cada amostra
for(n=0;n<32;n++)
  Amostra[n] = tmp-Amostra[n];

//Eleve cada amostra ao quadrado
for(n=0;n<32;n++)
  Amostra[n] *= Amostra[n];

//Soma as amostras
tmp=0;
for(n=0;n<32;n++)
tmp += Amostra[n];

tmp /= 32;
tmp = sqrt(tmp);           //Calcula raiz quadrada da soma das amostras
tmp /=185;                //Divide pela sensibilidade do sensor, 185 mV/A
```

Quadro 1 - Código conversão das amostras e obtenção da CA RMS

3.6 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O objetivo do *software* é informar ao usuário o consumo do equipamento e permitir seu controle, abstraindo-se questões técnicas em busca dos objetivos do sistema, a fim de trazer a

melhor experiência possível. Desenvolveu-se um aplicativo em Android com funções básicas, conforme mostra o fluxograma da Figura 17:

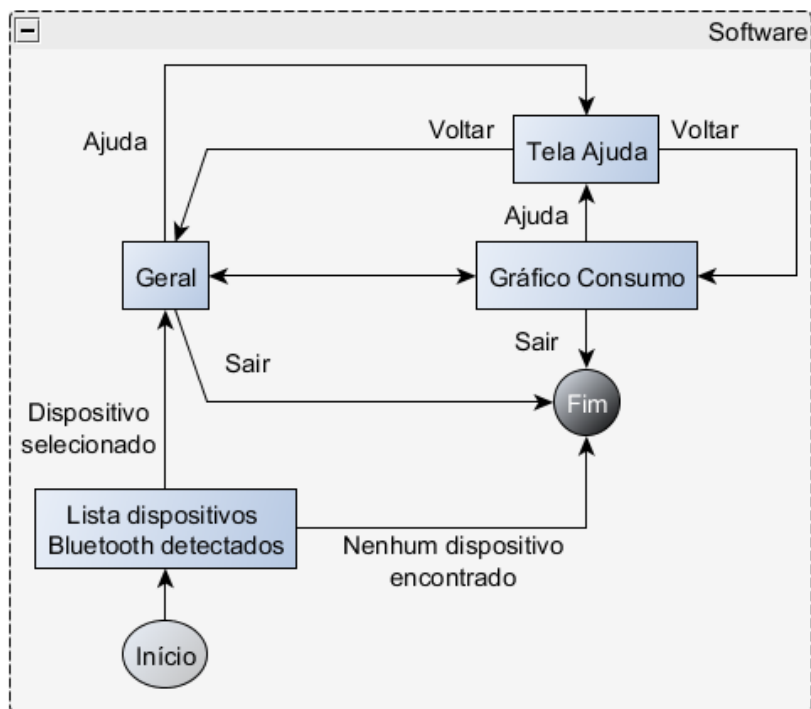


Figura 17 - Fluxograma do aplicativo Android

Conforme se pode observar, ao iniciar o aplicativo, os dispositivos Bluetooth são detectados, caso encontre o equipamento, o aplicativo prossegue para a tela principal, aba geral. Ainda nessa tela, existe a aba de gráfico de consumo. Ambas as telas possuem acesso à ajuda, além de permitirem comutar-se entre si e sair do aplicativo a qualquer momento.

A aba geral é a tela principal do aplicativo, é nela que é visualizado o consumo em tempo real do equipamento e o estado da tomada. Também é onde o usuário configura o valor da tarifa da energia e o valor da tensão da rede elétrica. Na Figura 18 é possível ver a tela principal, aba geral.



Figura 18 - Tela principal do aplicativo Android

Na figura acima, a tela é composta por três seções: consumo, tomada e configurações. A seção 'Consumo' é responsável por mostrar o valor do consumo atual do equipamento em Amperes e também sua potência em Watts. A seção armazena ainda os valores máximo e mínimo consumidos e realiza a média de todas as leituras de corrente, desde o início do aplicativo, ou até que o botão 'Reiniciar' seja pressionado, que também faz com que sejam zerados os campos.

A seção 'Tomada' é responsável pelo controle e visualização do estado da tomada. O botão que na Figura 18 é mostrado com o texto 'Ligar', automaticamente muda para 'Desligar' ao ser pressionado, detectando o estado da tomada para atualizar seu texto. O valor de tensão é mostrado com base na tensão selecionada pelo usuário na seção 'Configurações'.

Na seção 'Configurações', o usuário entra com os dados, sendo necessário escolher a tensão da rede (que será usada como base para o aplicativo obter a potência) e configurar o valor da tarifa de energia elétrica da concessionária de energia. A tela 'Ajuda', mostrada a seguir, contém a explicação de cada campo e de como obter o valor da tarifa de energia elétrica.

Na aba gráfico de consumo, é apresentado um gráfico com os valores do campo 'Atual' da aba geral. Esses valores são adicionados ao gráfico em tempo real, desde o início da aplicação ou até que o botão 'Reiniciar' da aba geral seja pressionado, momento em que os dados são apagados e o gráfico é reiniciado. A Figura 19 mostra a tela gráfico de consumo.

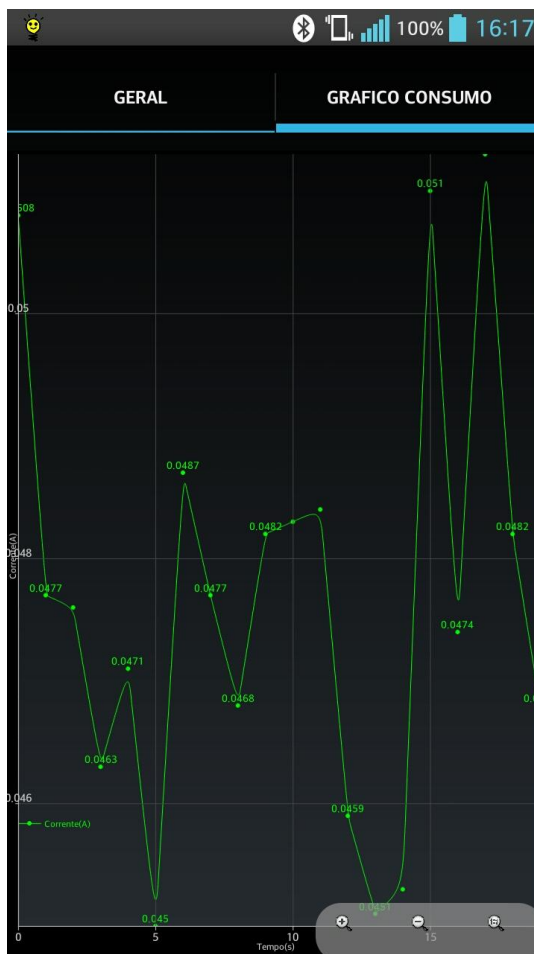


Figura 19 - Tela de gráfico de consumo

A tela possui dois eixos, vertical e horizontal, respectivamente, corrente em Amperes e tempo em segundos. Conforme o tempo avança, o gráfico compacta-se para ser comportado na tela. É possível mover a tela com toques, além de permitir zoom. Cada ponto do gráfico é identificado pelo seu valor de corrente representado.

A tela de ajuda foi desenvolvida com objetivo de guiar o usuário de forma simples para utilizar o *software*. Apesar de o

aplicativo possuir uma interface intuitiva, a tela de ajuda contém um exemplo de como obter o valor da tarifa de energia elétrica, esse é um dos passos fundamentais para que o campo 'Custo' da tela principal tenha o funcionamento correto. As Figuras 20 e 21 mostram a tela de ajuda:

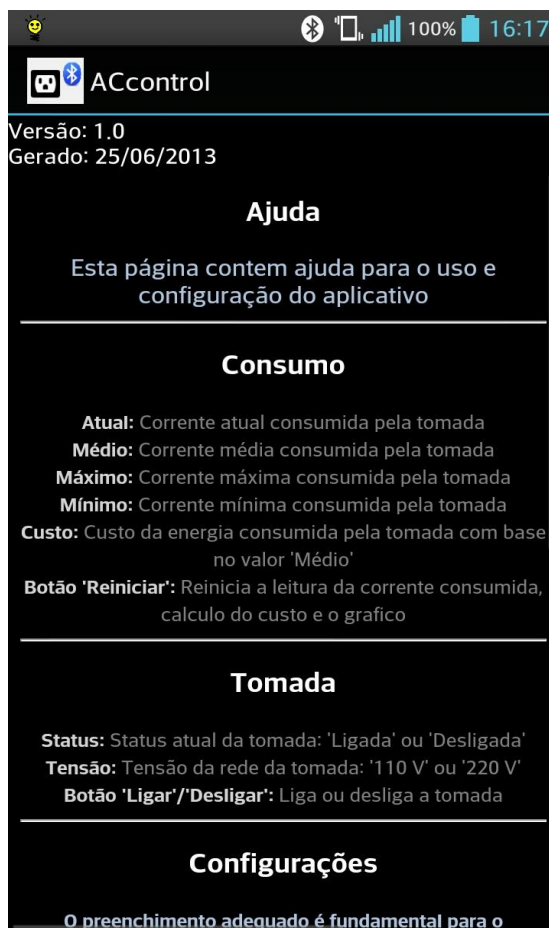


Figura 20 - Tela de ajuda, parte 1

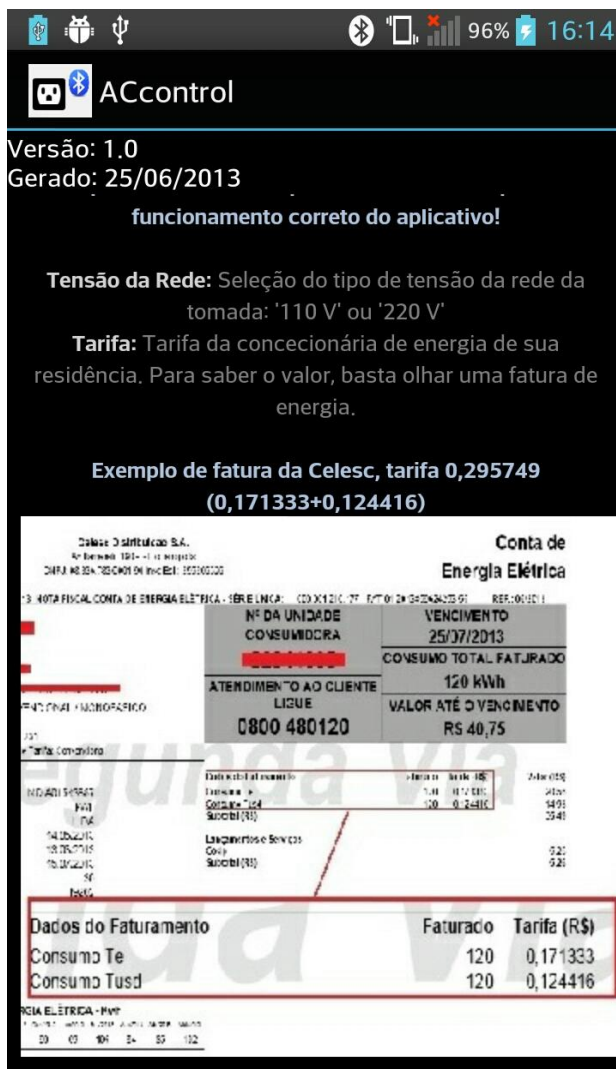


Figura 21 - Tela de ajuda, parte 2

Conforme se pode observar, a ajuda referente à tarifa de energia elétrica é fundamental. É possível voltar para a tela onde foi solicitada a ajuda, pressionando o botão voltar do dispositivo Android.

Em termos de desenvolvimento do *software*, apesar de o ambiente de desenvolvimento integrado permitir o desenho visual das telas, alguns dos seus atributos não estão disponíveis pela facilidade gráfica, sendo necessário acessá-los por meio de métodos e/ou atributos pelo código fonte.

O ADT permite que sejam baixados da internet exemplos para se trabalhar com diversas funcionalidades do Android, incluindo Bluetooth, no qual um exemplo de cliente/servidor é disponibilizado. A idéia implícita à comunicação serial Bluetooth, é criar um processo paralelo que fique 'ouvindo' a porta serial, enquanto o aplicativo roda em seu fluxo principal, sendo chamadas funções de retorno (*callback*) ao se receber algum dado do equipamento para permitir tratá-lo.

Ao se desenvolver o aplicativo, é possível escolher a plataforma alvo, *smartphone* ou *tablet*. Isso gera impactos em algumas funcionalidades peculiares a cada um desses dispositivos, por exemplo, em aspectos visuais, como o tamanho, *layout* da tela e funcionalidades disponíveis. Neste trabalho desenvolveu-se um aplicativo para *smartphone* e optou-se pela API 4.2.1 do Android, versão do Android presente no *smartphone* usado nos testes.

O aplicativo (e sistema como um todo) foi batizado de "ACcontrol", remetendo à ideia de controle de equipamento conectado à rede elétrica de corrente alternada (CA). Um ícone também foi desenvolvido, com o intuito de representar sua funcionalidade, optou-se por um fundo de cor similar ao branco, lembrando uma parede, com uma tomada e um ícone Bluetooth padrão. Esse ícone pode ser observado na parte superior das figuras referentes à tela de ajuda do aplicativo.

Devido à natureza do Android, o aplicativo pode ficar rodando em segundo plano, ao ser restaurado é possível continuar sua utilização normalmente. Enquanto está em segundo plano, o aplicativo continua executando, coletando os dados e efetuando as medidas de consumo e preenchimento do gráfico.

Foi adicionada uma funcionalidade para manter a tela do dispositivo móvel ligada enquanto o aplicativo estiver em primeiro plano. Assim, é possível acompanhar o consumo do equipamento sem que o sistema operacional tente diminuir o brilho e, em seguida, desligar a tela, operação padrão realizada pelo Android para economizar bateria, por se tratar de um dispositivo móvel.

3.7 TESTES COM O SISTEMA PROPOSTO

Como o sistema trabalha com correntes de até 5 A e a matriz de contatos suporta até 1 A, optou-se pelo desenvolvimento de um protótipo em placa. Utilizou-se uma placa de solda universal, para obtenção de produto final compacto e com capacidade de testar todo seu potencial em um cenário real. A placa pode ser vista na Figura 22:

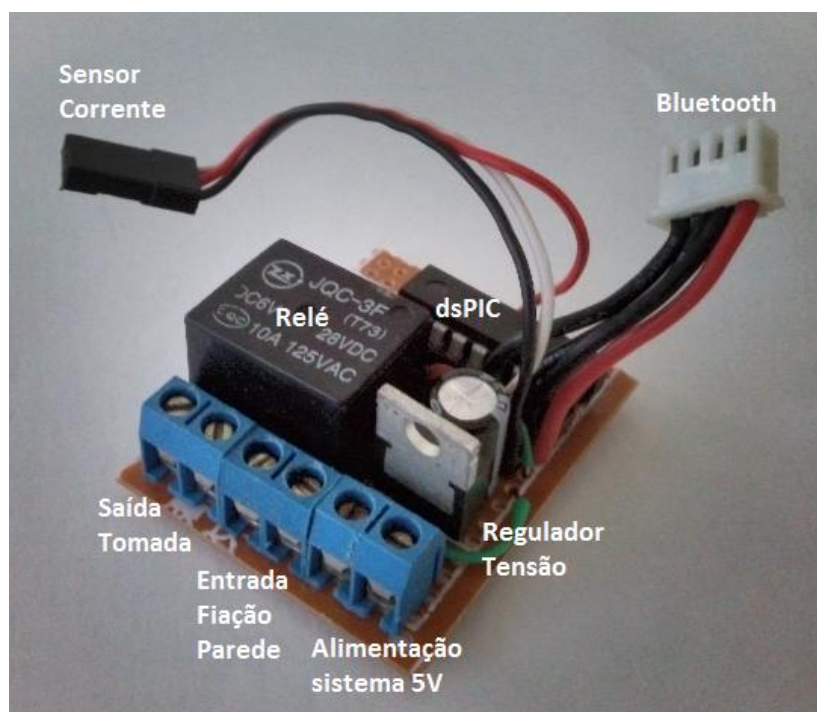


Figura 22 - Protótipo em placa universal

Optou-se por deixar modularizável a conexão do dsPIC, módulo Bluetooth e sensor de corrente, pois isto permite a atualização do *firmware*, troca do sensor de corrente por um de maior capacidade (conforme visto no Capítulo 3.4) e alteração dos parâmetros do módulo Bluetooth (conforme visto no Capítulo

3.2.2). Na Figura 23, pode-se ver a placa com todos os elementos conectados:

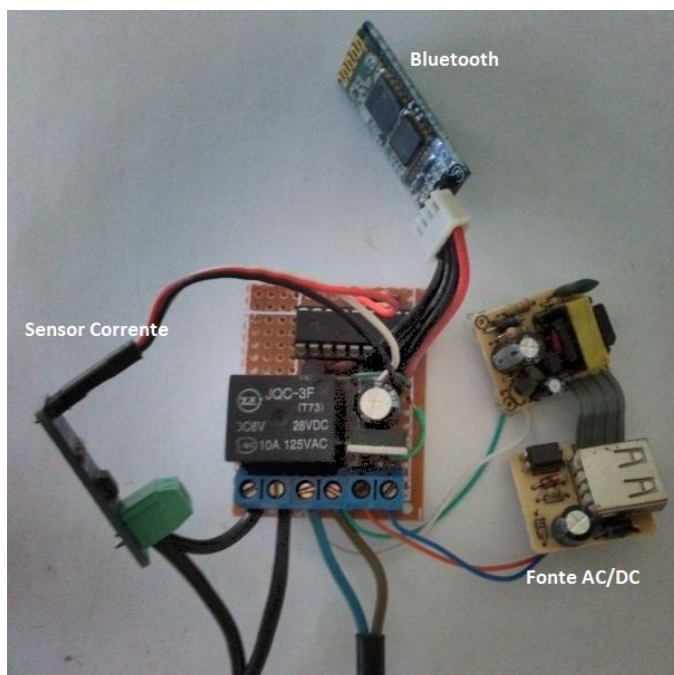


Figura 23 - Protótipo com todos os elementos conectados

Conforme pode se observar na figura 23, o módulo Bluetooth e o sensor de corrente são conectados. Nos terminais azuis são conectados a fonte para alimentação do sistema com 5 Volts, a fiação da parede e a fiação que leva à tomada (que fica em série com o sensor de corrente). Optou-se por extrair a placa da fonte e juntá-la com a do protótipo, para obter um produto final mais compacto.

O reagrupamento dos elementos para reduzir a dimensão do protótipo e obter a forma final para realização dos testes resultou no *layout* presente na Figura 24.

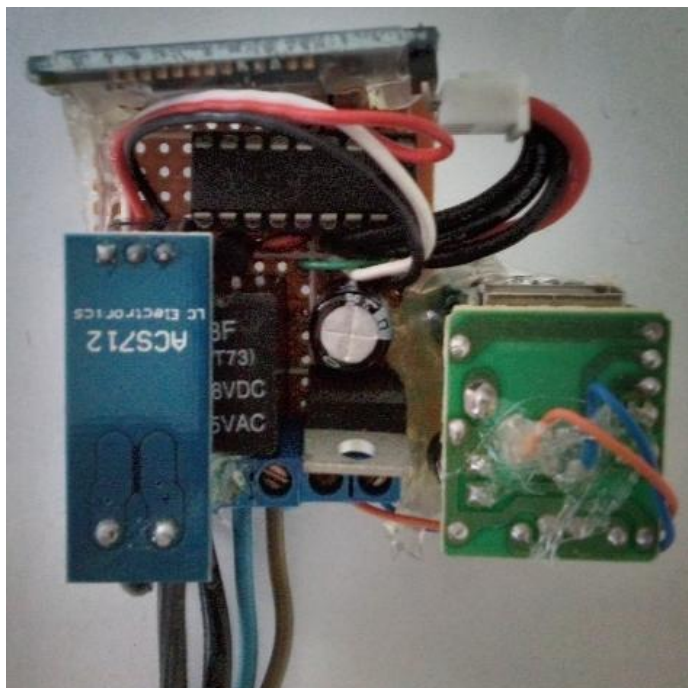


Figura 24 - Protótipo final

Conforme se pode observar, essa é a forma mais compacta que foi possível obter. Nesse formato, o protótipo tem aproximadamente 5,2 x 5,6 x 2,5 cm, sendo que a dimensão interna da tomada da residência do autor é de aproximadamente 6,1 x 9,7 x 4,4 cm.

Optou-se por realizar o teste com 2 equipamentos residenciais: um ventilador (que possui baixo consumo, testando a precisão do sistema) e um ferro elétrico (consumo próximo do limite do sistema, 5 A). Também foi usada uma 'régua' com 4 lâmpadas incandescentes de 220 W cada, sendo cada lâmpada ligada gradualmente. Os resultados do teste com o ACcontrol foram comparados com o resultado de um multímetro. A Tabela 6 mostra o resultado dos testes.

Tabela 6 - Testes de consumo

	ACcontrol	Multimetro	Diferença
Ventilador vel. Mínima	0,189 A	0,180 A	9 mA
Ventilador vel. Máxima	0,258 A	0,241 A	17 mA
Régua com 1 lâmpada	0,982 A	0,927 A	55 mA
Régua com 2 lâmpadas	1,93 A	1,842 A	88 mA
Régua com 3 lâmpadas	2,87 A	2,740 A	13 mA
Régua com 4 lâmpadas	3,82 A	3,653 A	167 mA
Régua com 5 lâmpadas	4,69 A	4,53 A	160 mA
Ferro elétrico	4,73 A	4,55 A	180 mA

A Figura 25 apresenta a tela do aplicativo no teste com o ferro elétrico.



Figura 25 - Tela do aplicativo no teste com ferro elétrico

Um teste de longa duração também foi realizado, afim de verificar a estabilidade do sistema. O sistema permaneceu ligado por horas, suas leituras e gráficos mantiveram-se constantes, sem apresentar problema. A Figura 26 mostra um trecho do gráfico de consumo:

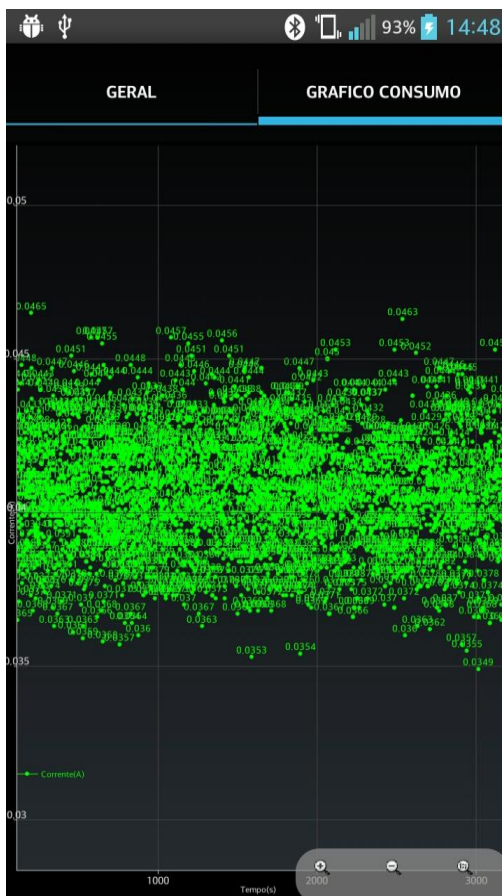


Figura 26 - Tela do aplicativo no teste de longa duração

A precisão do ACcontrol pode ser analisada comparando seus resultados em relação aos do multímetro. Com base no teste e no modelo do multímetro utilizado (Fluke 117), nota-se que a diferença de leitura entre os dois equipamentos aumenta gradativamente, conforme aumenta o valor da corrente. Em relação aos produtos encontrados no mercado, não é possível realizar uma comparação da precisão sem ter acesso ao produto, entretanto, sabe-se que o "OWL micro+" (conforme visto na Tabela 2) começa a medir correntes somente a partir de 1 A e

com precisão maior que 10%, a partir de 3 A a precisão é um pouco melhor, maior que 5%.

Em relação ao controle do equipamento, ocorreu aleatoriamente (algumas vezes) a perda de conexão com o módulo Bluetooth, ao ligar/desligar a tomada, e conseqüentemente o equipamento conectado. A solução foi adicionar um capacitor eletrolítico de 470 uF na alimentação do módulo Bluetooth.

4. CONCLUSÃO

Pautado no objetivo geral proposto no trabalho, foi possível desenvolver o protótipo de um equipamento capaz de monitorar e controlar equipamentos residenciais, com foco no acompanhamento do consumo de energia. Em testes, foi possível verificar a precisão do equipamento desenvolvido a partir dos resultados das medições realizadas com um multímetro. A tabela 7 mostra em mais detalhes o custo do ACcontrol:

Tabela 7 - Custo ACcontrol

Componente	Custo (R\$)	Fornecedor
dsPIC 33FJ12GP201	15,87	Farnellnewark.com.br
Relé 5V 10A	2,50	Varejo
LM 1117 3,3V	2,00	Varejo
Fonte CA/CC	4,48	Dx.com
Módulo Bluetooth	11,17	Ebay.com
ACS712T ELC-05B	5,60	Ebay.com
Capacitor, Resistor, Terminais, Placa e etc.	8,00	Varejo
TOTAL		R\$ 49,62

É possível verificar que o ACcontrol, mesmo usando componentes comprados a preço de varejo, tem valor abaixo do mais barato entre os similares pesquisados, o "OWL micro+" de R\$ 107,55. Em uma futura versão do ACcontrol poderia ser utilizado um microcontrolador mais adequado, como o ATtiny85 da ATMEL, ele possui todos os periféricos necessários, metade do tamanho físico e custo em torno de R\$ 5,42 (Farnellnewark.com.br), reduzindo-se, assim, o valor e as dimensões do produto.

Em relação à aparência, por se tratar de um produto residencial, geralmente é algo fundamental. Mas o ACcontrol é um produto que não fica visível ao consumidor, por isso seu *design* e aparência precisam garantir que o produto fique seguro

e compacto para ser comportado dentro da tomada, proporcionando um bom funcionamento.

Quanto ao quesito segurança, o produto mantém isolada a rede elétrica do sistema digital. Por mais que seja usado o sensor de 5 A, segundo o fabricante, ele suporta até cinco vezes a corrente máxima de medição, ou seja 25 A. Em uma residência, 25 A em 220 V corresponde a 5.500 W. Conforme visto no Capítulo 2.2, somente um chuveiro com operação configurada para inverno consome próximo a esta potência, em torno de 5.400 W. Ainda assim, existe a opção de usar as outras versões de sensores, como o de 20 A e 30 A.

Em relação à praticidade, o ACcontrol por padrão mantém a tomada conectada à rede elétrica. Isso é útil no caso de uma queda de energia, pois o equipamento que estiver conectado à tomada volta a ligar no retorno da energia. Caso contrário, seria necessário reconectar em cada tomada que possui o ACcontrol instalado e ligá-la via *software*. Este comportamento padrão da conexão da tomada poderia ser incluído em uma futura versão do produto, pois para alguns equipamentos pode não ser interessante voltar a ligar após uma queda ou sucessivas falhas de energia em um curto período.

O diferencial do ACcontrol é o custo, inferior aos similares, e o tamanho compacto, além disso conta com algo que nenhum outro tem, o protocolo aberto. Isto permite que outros produtos o agreguem como parte de um sistema maior e/ou sejam adicionadas novas funcionalidades, por exemplo, o controle e monitoramento pela internet, um dispositivo com acesso a internet conecta-se ao ACcontrol e faz a comunicação entre a mesma e o ACcontrol. Outra possibilidade é de algum dispositivo ficar monitorando o ACcontrol e ao atingir determinado consumo desligar a tomada, e/ou enviar um aviso para alguém.

No que tange à precisão, conforme visto nos testes, produtos como o "OWL micro+" medem somente o consumo a partir de 1 A, com precisão maior de 10%. Cada vez mais equipamentos residenciais buscam consumir menos, hoje em dia existem equipamentos residenciais com consumo menor de 1 A, o que tornaria inútil o uso do "OWL micro+", por exemplo. No

caso do ACcontrol, de acordo com os testes, ele mede desde baixas correntes como a do ventilador de 189 mA com uma precisão similar à do multímetro.

Uma nova versão seria interessante para a real comercialização do produto, pois reduziria não só o custo, como as dimensões físicas. Entretanto, essa versão do ACcontrol cumpre os objetivos geral e específicos do trabalho, além dos requisitos de projeto, mostra que mesmo sendo uma primeira versão, supera algumas das características encontradas em produtos similares no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEGRO. Acesso em: 05/07/2013. Disponível em: <<http://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications>>;

ALMEIDA, B. R. **Controle Digital de um Condicionador de Tensão Alternada**. 2009 Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos), IFSC, Florianópolis 2009.

AMAZON. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em: <<http://www.amazon.co.uk/Dsc-16bit-40mips-13-Pdip18/dp/B008R70R74>>.

ANDROID DEVELOPER. Acesso em: 04/07/2013. Disponível em: <<http://developer.android.com/about/index.html>>.

ANDROID. Acesso em: 04/07/2013. Disponível em: <<http://www.android.com/about>>.

ANEEL. Acesso em: 09/07/2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=93&idPerfil=4&idiomaAtual=0>>.

AURESIDE. Acesso em: 10/07/2013. Disponível em: <<http://www.aureside.org.br/quemsomos/default.asp?file=beneficios.asp>>; <<http://www.aureside.org.br/temastec/default.asp?file=conbasicos.asp>>; <<http://www.aureside.org.br/quemsomos/default.asp?file=missao.asp>>; <<http://www.aureside.org.br/temastec/default.asp?file=conbasicos02.asp>>.

BALCH, M. A comprehensive guide to digital electronics and computer system architecture. Editora MCgraw-hill, 2003.

BARB. RFCOMM WITH TS 07.10 - Serial Port Emulation.Revisão v12. 2012.

BLUETOOTH DEVELOPER. Acesso em: 03/07/2013. Disponível em:

<<http://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/Profiles.aspx>>.

BLUETOOTH. Acesso em: 03/07/2013. Disponível em:

<<http://www.bluetooth.com/Pages/sig-membership.aspx>>;

<<http://www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx>>.

CELESC. Acesso em: 08/07/2013. Disponível em:

<http://www.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=105>;

<http://celesc.com.br/portal/images/arquivos/documentos/tarifas_2012.pdf>

DX. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em:

<<http://dx.com/p/ultra-mini-1000ma-usb-power-adapter-charger-100-240v-eu-plug-29417>>;

<<http://dx.com/p/ct4-ha102-3-5-lcd-wireless-energy-monitor-set-117470>>

EBAY. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em:

<http://www.ebay.com/itm/Wireless-Bluetooth-RF-Transceiver-Module-RS232-TTL-3-3VDC-30ft-Built-in-antenna-/400503972202?pt=US_USB_Bluetooth_Adapters_Dongles&hash=item5d3fe5a16a>;

<http://www.ebay.com/itm/1PCS-20A-range-ACS712-current-sensor-module-/270977916829?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3f178adf9d>

EL HAGE, Fabio S.; FERRAZ, Lucas e DELGADO, Marco Antonio de P. Estrutura tarifaria de energia eletrica. Editora Synergia, 2011.

EMBEDDED LAB. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em:

<<http://embedded-lab.com/blog/?p=4469>>.

ISO CURRENCY SYMBOL. Acesso em: 10/09/2013. Disponível em: <<http://www.currencysymbols.in>>.

MIEO. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em: <<http://www.mieo.com/pid11404073/Wireless+Electricity+Energy+Monitor+%28HA102%29.htm>>; <<http://img1.cdn.tradevv.com/Y201207M1502421T1G1570906/20122448823341.pdf>>.

ODD WIRES. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em: <<http://www.oddwires.com/lm1117t-3-3v-voltage-regulator>>.

OWL. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em: <http://www.theowl.com/shop/index.php?target=products&product_id=49>; <<http://www.theowl.com/products/owlmicro.php>>; <www.theowl.com/helpcentre/owlmicro.html>.

P3 INTERNATIONAL. Acesso em: 20/07/2013. Disponível em: <<http://www.p3international.com/products/p4200.html>>; <http://www.p3international.com/manuals/p4200_manual.pdf>.

PROCELEFICIENCIA. Acesso em: 08/07/2013. Disponível em: <<http://proceleficiencia.celesc.com.br/index.php?novasessao=14>>.

RAENG. Acesso em: 07/07/2013. Disponível em: <http://www.raeng.org.uk/education/diploma/maths/pdf/exemplars_engineering/8_RMS.pdf>.

RUDOLPH, Larry e HUANG, Albert S. Bluetooth essentials for programmers. Editora Cambridge UK, 2013.