

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALYSSON PERCICOTTY DA COSTA  
FERNANDA CINIELLO SERMANN  
GUSTAVO GRZYBOWSKI DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MEDIÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2016

ALYSSON PERCICOTTY DA COSTA  
FERNANDA CINIELLO SERMANN  
GUSTAVO GRZYBOWSKI DA SILVA

## **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Cesar Betini

CURITIBA  
2016

Alysson Percicotty da Costa  
Fernanda Ciniello Sermann  
Gustavo Grzybowski da Silva

Desenvolvimento de um protótipo para medição de energia elétrica

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 19 de setembro de 2016.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

## **ORIENTAÇÃO**

---

Roberto Cesar Betini, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Roberto Cesar Betini, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lilian Moreira Garcia, Dra.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alvaro Augusto W. de Almeida  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

COSTA, Alysson Percicotty. SERMANN, Fernanda Ciniello. DA SILVA, Gustavo Grzybowski. Desenvolvimento de um protótipo para medição de energia elétrica. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Departamento de Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de medição de consumo de energia elétrica no setor residencial que apresente valores monetários, baseado no sistema tarifários, ao consumidor, na área abrangida pela COPEL, em tempo real. Após o aprofundamento dos conhecimentos na teoria envolvida e nos medidores inteligentes existentes iniciou-se o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e foram coletados de dados para discussão dos resultados. Para que fosse possível verificar se os resultados obtidos no protótipo estavam corretos, foi realizado uma serie de medições em outros equipamentos de uso residencial, com o objetivo de realizar as comparações dos valores encontrados no protótipo com valores obtidos pelo medidor de energia certificado e calibrado fornecido pela COPEL.

**Palavras chave:** medidor de energia, consumo, energia elétrica, eficiência energética, arduino.

## ABSTRACT

COSTA, Alysso Percicotty. SERMANN, Fernanda Ciniello. DA SILVA, Gustavo Grzybowski. Development of a prototype for electricity metering. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Departamento de Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This study aims to develop an electricity consumption measuring system in the residential sector to present monetary values based on the tariff system, the consumer, in the area covered by COPEL, in real time. After the completion of knowledge in the theory involved and existing smart meters began the development of the prototype. The prototype was implemented a case study for validation of their operation and were collected data to discuss the results. To make it possible to verify the results obtained in the prototype were correct, a series of measurements in other residential equipment was carried out, in order to make comparisons of the values found in the prototype with values obtained by certified and calibrated power meter provided by COPEL.

**Keywords:** power meter, consumption, electricity, energy efficiency, arduino.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Custos de Infraestrutura de Medição. ....	13
Figura 2 - Subcomponentes Tarifários.....	19
Figura 3 - Composição Tarifária. ....	20
Figura 4 - Arquitetura de Rede de Comunicação em Smart Grid. ....	25
Figura 5 - Painel Touch Screen SnapGrid. ....	27
Figura 6 - Interface do SnapGrid. ....	28
Figura 7 - Medidor de Energia Kron, MKE-02.....	28
Figura 8 - Kill a Watt. ....	29
Figura 9 - Monitor de Energia Power-Mate.....	30
Figura 10 - Monitor EnergySmart.....	30
Figura 11 - Diagrama em Blocos do Projeto.....	33
Figura 12 - Sensor YHDC não invasivo. ....	34
Figura 13 - Forma de Utilização do Sensor. ....	34
Figura 14 - Resumo da placa Arduino UNO. ....	35
Figura 15 - Protótipo Montado com a Placa Arduino UNO. ....	36
Figura 16 - Módulo Wireless ESP8266.....	38
Figura 17 - Módulo Bluetooth HC-05. ....	39
Figura 18 - Relação de alcance e taxa de transmissão. ....	40
Figura 19 - Fluxograma do Firmware.....	42
Figura 20 - Diagrama do Protótipo.....	45
Figura 21 - Primeira Montagem do Protótipo.....	46
Figura 22 - Montagem Final do Protótipo. ....	47
Figura 23 - Diagrama do módulo Bluetooth. ....	47
Figura 24 – Conexão do Display LCD ao Arduino. ....	48
Figura 25 - Circuito para Medição de Tensão.....	50
Figura 26 - Circuito para Medição de Corrente.....	51
Figura 27 - Interface do Ambiente de Desenvolvimento Integrado.....	53
Figura 28 - Etapa de Calibração do Software.....	58
Figura 29 - Interface Aplicativo Android.....	59
Figura 30 - Código de Interface Gráfica do Aplicativo. ....	60
Figura 31 - Exibição de Valores no Display LCD e Aplicativo.....	61

Figura 32 - Medidor Eletrônico e Carga Resistiva Variável. ....	62
Figura 33 - Medição Realizada no Aquecedor e Secador de Cabelo. ....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo Técnico dos Medidores .....	31
Tabela 2 - Relação de Informações dos Sistemas Wireless.....	41
Tabela 3 - Materiais Utilizados. ....	43
Tabela 4 - Código do Projeto.....	54
Tabela 5 - Valores Obtidos para Calibração.....	64
Tabela 6 - Valores Obtidos do Aquecedor de Ambiente.....	65
Tabela 7 - Valores Obtidos do Secador de Cabelo.....	66

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Tensão de Pico do Adaptador CA com Carga .....	49
Equação 2 – Tensão de Pico do Adaptador CA sem Carga.....	49
Equação 3 – Tensão de pico da saída .....	50
Equação 4 – Corrente de Pico no Primário .....	52
Equação 5 – Corrente de Pico no Secundário.....	52
Equação 6 – Resistência à carga ideal.....	52
Equação 7 – Erro percentual .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EBC	Empresa Brasil de Comunicação
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GTZ	Agência de Cooperação Alemã
LAN	Local Area Network
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NAN	Neighborhood Area Network
PIB	Produto Interno Bruto
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
WAN	Wide Area Network
PIS	Programa de Integração Social
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CPMF	Contribuição Provisória sobre Movimentações Financeiras

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	TEMA.....	12
1.1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.2	PROBLEMA.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	JUSTIFICATIVA.....	14
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	SITUAÇÃO ATUAL DA GERAÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL.....	17
2.2	SISTEMAS DE TARIFAS DE ENERGIA.....	18
2.3	MEDIÇÃO DE ENERGIA.....	21
2.4	IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA.....	22
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS JÁ EXISTENTES NO MERCADO PARA A MEDIÇÃO</b> .....	<b>24</b>
3.1	Home Area Network.....	24
3.2	Home Energy Monitor.....	25
3.3	Sistemas para Medição de Consumo de Eletrodomésticos.....	26
3.4	Comparativo entre as formas de medição atuais e a proposta.....	31
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO TEÓRICA DOS CONCEITOS UTILIZADOS PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO</b> .....	<b>33</b>
4.1	SENSOR DE CORRENTE NÃO INVASIVO SCT-013 20A.....	33
4.2	MICROCONTROLADOR ARDUINO.....	35
4.3	COMUNICAÇÃO WIRELESS.....	36
4.3.1	WI-FI.....	37
4.3.2	BLUETOOTH.....	38
4.3.3	ZIGBEE.....	39
4.3.4	COMPARAÇÕES.....	40
4.4	FIRMWARE.....	41
4.5	SOFTWARE.....	42
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO</b> .....	<b>43</b>
5.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	43
5.2	MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	44
5.2.1	O PROTÓTIPO.....	44

5.2.1.1	MONTAGEM DO SISTEMA ELETRÔNICO.....	47
5.2.1.2	MEDIÇÃO DA TENSÃO COM UM ADAPTADOR CA-CA .....	49
5.2.1.3	MEDIÇÃO DA CORRENTE COM TRANSFORMADOR DE CORRENTE	51
5.2.2	SOFTWARE .....	53
5.2.2.1	COMUNICAÇÃO ENTRE O ARDUINO E O SENSOR .....	53
5.2.2.2	APLICATIVO ANDROID .....	59
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E DIFICULDADES ENCONTRADAS .....</b>	<b>62</b>
6.1	TESTES DO PROTÓTIPO .....	62
6.2	CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO ERRO DO EQUIPAMENTO.....	62
6.3	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	64
6.4	DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	66
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Os diferentes tipos de energias mecânica, química, térmica e elétrica compõe o conjunto de modalidades energéticas de uso habitual, porém a energia elétrica pode ser transformada de maneira direta em qualquer outra energia, apresenta facilidade de transporte e grande alcance através das linhas de alta tensão. Assim a energia elétrica se converteu em uma das fontes energéticas mais utilizada no século XX. Desde que se passou a utilizar eletricidade como fonte energética, sua produção experimentou um crescimento vertiginoso. A importância dessa forma de energia se pode provar pelo fato de, modernamente, os países mais industrializados duplicarem o consumo de energia elétrica a cada dez anos (COPEL, 2015).

Este crescimento gera demanda da construção ou ampliação de novas fontes de energia elétrica, aumentando o impacto ambiental. Logo, é conveniente o uso de maneira eficiente da energia elétrica. Monica Menkes (2004) alega que a maioria dos autores que tratam das questões sobre eficiência energética apontam estas ações como sendo um dos instrumentos-chave para a diminuição dos impactos ambientais. Outros defendem que dependendo da forma e aplicação, podem contribuir para as metas de desenvolvimento sustentável.

O setor residencial é responsável por cerca de 23% do consumo total de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2012). De acordo com o balanço energético nacional de 2013 divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo residencial de eletricidade no Paraná aumentou 5% em relação ao ano de 2012, também divulgado pela EPE, o setor residencial foi o que mais contribuiu para o crescimento no consumo de energia em janeiro de 2015, a elevação ficou em 6,1% se comparado ao mesmo mês de 2014 (EPE, 2015).

Mesmo sendo responsável, o consumidor residencial não sabe o quanto está gastando em uma hora deixando uma luz acesa, assistindo televisão, deixando equipamentos no “stand by” entre outras atividades dependentes da energia elétrica. Não se visualiza consumo de energia como despesa em tempo real e muito menos o impacto ambiental. Devido à falta de consciência e preocupação com esse assunto, o consumo de forma eficiente parece ser um objetivo difícil de se alcançar.

A visão é um dos cinco sentidos que permitem aos seres vivos aprimorarem a percepção do mundo e é através dela que conscientizaremos o usuário dos benefícios de se consumir energia de forma mais eficiente apresentando em um

display informações técnicas e financeiras do consumo de energia elétrica em tempo real.

Já existem sistemas que executam o monitoramento em tempo real conhecidos como *Home Energy Monitors* que serão utilizados como base neste estudo, o protótipo a ser desenvolvido visa a redução de custos de implementação deste sistema em relação aos disponíveis no mercado para que sejam acessíveis ao consumidor residencial. Também o mecanismo proposto deve adaptar-se ao funcionamento do sistema tarifário brasileiro, ter um funcionamento e instalação simples, e apresentar uma interface amigável com as informações necessárias.

## **1.1 TEMA**

Protótipo de medição de consumo de energia elétrica para o consumidor residencial.

### **1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA**

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de medição de consumo de energia elétrica no setor residencial que apresente o valor em Real brasileiro ao consumidor, baseado no sistema tarifário nacional, utilizando o valor da tarifa fornecida pela COPEL, em tempo real.

## **1.2 PROBLEMA**

Diversas discussões estão sendo geradas em relação a situação energética atual no Brasil. No começo do ano de 2015 houve uma interrupção do fornecimento de energia em partes da região sul, sudeste e centro-oeste e, isto não mostra somente a necessidade de reforçar a produção de energia, mas também a grande necessidade da economia de energia e eficiência energética. Segundo um especialista em energia da Universidade de São Paulo, Guilherme Fillippo, "O consumo de energia do Brasil cresce todos os anos. Ele tem certa relação ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), mas também ao crescimento vegetativo da população e da renda das pessoas. A necessidade de aumentar o parque gerador nacional é uma constante. Todo ano

ele tem que crescer cerca 3% a 4%. Se houver atrasos de obras, como a de Belo Monte que não produz, vai faltar energia" (EBC, 2015).

Um dos fatores do crescimento do consumo energético é devido ao aumento da renda familiar. É fato que cada dia mais equipamentos elétricos chegam às residências e, devido a este maior consumo e maior custo da energia elétrica o aumento do interesse pelo seu controle e gerenciamento também vem crescendo.

Para que o usuário consiga verificar seu gasto e assim diminuí-lo, é realizado um gerenciamento do consumo de energia que é feito a partir de certos dispositivos. Dentro do conceito Smart Grid existem os Smart Meters (medidores inteligentes), que são utilizados para fazer o gerenciamento inteligente do consumo de energia elétrica nos estabelecimentos residenciais, industriais etc. Este tipo de medidor consegue mostrar em tempo real o quanto cada eletrodoméstico está gastando num exato momento, fazendo a distinção dos eletrodomésticos da casa (MIRANDA, 2011).

Como estas são tecnologias novas, os que se encontram no mercado ainda possuem preços elevados que nem sempre estão acessíveis a população. A Figura 1 mostra os valores referentes a instalação de um sistema de medição inteligente via rede de comunicações, sendo que o medidor representa 45% do custo da infraestrutura de medição.

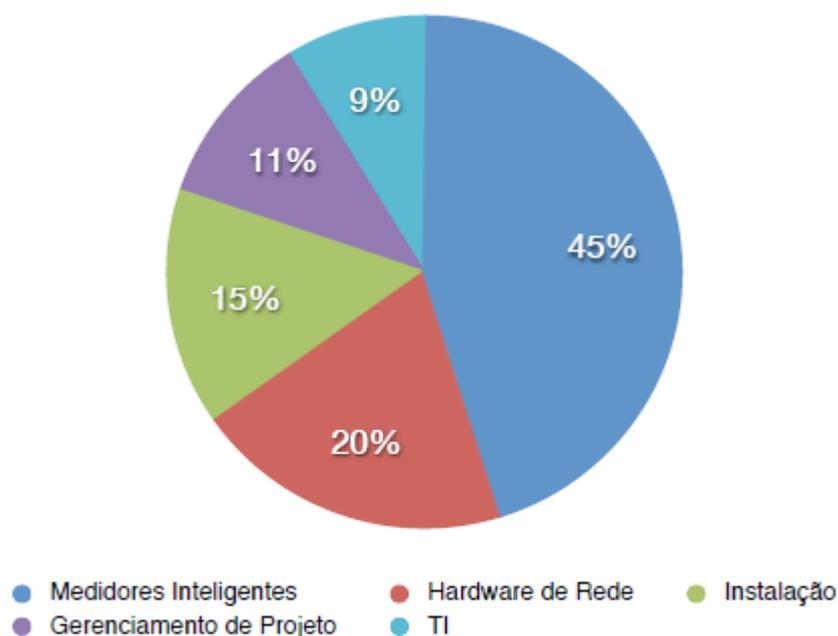


Figura 1 - Custos de Infraestrutura de Medição.

Fonte: MIRANDA, 2011.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de medição de consumo de energia elétrica residencial.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Para o desenvolvimento, aplicação e verificação do sistema foi necessário:

- Pesquisar os sistemas de medição de consumo de energia elétrica disponíveis no mercado;
- Definir e ampliar os conhecimentos teóricos necessários para o desenvolvimento do sistema;
- Implementar o sistema em um estudo de caso;
- Realizar análise técnica e financeira do projeto, discutindo os resultados alcançados.

## **1.4 JUSTIFICATIVA**

A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a diminuição dos impactos ambiental (MMA, 2015).

A importância das ações de eficiência energética nos países demonstra que é necessário o máximo aproveitamento da oferta de energia existente reduzindo a necessidade de realizar novos investimentos em usina e também, reduzindo o custo da produção e conseqüentemente o uso final da energia. A eficiência energética tende a reduzir as perdas ocorridas na distribuição de energia e ao mesmo tempo tornar mais eficiente o consumo de energia, postergando a necessidade de aumentar a capacidade já instalada e a necessidade de novos investimentos.

Segundo o Procel, o desperdício de energia chega a 40 milhões de kW, equivalente a US\$ 2,8 bilhões por ano no Brasil (MMA, 2015). Os consumidores industriais, residenciais e comerciais desperdiçaram 22 milhões de kW em 2014 no Brasil (MMA, 2015). As concessionárias de energia, por sua vez, com perdas técnicas e problemas na distribuição, são responsáveis pelos 18 milhões de kW restantes em perdas.

A implementação de redes inteligentes possibilita otimizar e tornar mais seguro o fornecimento de energia, recompor rapidamente o sistema elétrico em caso de interrupções, possibilitar a geração distribuída por fontes renováveis, estimular o uso de veículos elétricos, medir o consumo de energia, água e gás à distância, monitorar o consumo de energia pelos usuários, identificar pontos de perda de energia, testar aplicações e serviços para cidades inteligentes (COPEL, 2015).

A medição inteligente poderá auxiliar na redução de desperdícios de energia no setor residencial. Para que isso seja possível é necessário que os consumidores tenham fácil acesso às tecnologias disponíveis, com o monitoramento do consumo individual de cada dispositivo elétrico em sua residência mostrando de forma monetária quanto cada elemento do sistema elétrico residencial consome em um determinado espaço de tempo.

Atualmente os sistemas de medição são limitados em relação a quantidade e qualidade de informação que pode ser medida em um determinado ponto da residência. Além disto, a integração entre diferentes sistemas dentro da residência também é complexa tornando o trabalho desafiador.

Atualmente existem no mercado diversas tecnologias para este fim, porém ainda possuem custo elevado o que não se torna tão atrativo para os consumidores residenciais, visto que a economia de energia é vista a partir da conscientização do consumidor. Os medidores existentes no mercado brasileiro possuem preço que variam desde R\$120,00, com os mais caros podendo custar até R\$1000,00. Esta variação depende das funcionalidades do medidor e da sua forma de realizar a medição.

## **1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos técnicos, que

tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido neste estudo. Foram analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins.

Após o aprofundamento dos conhecimentos na teoria envolvida e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados para discussão dos resultados.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Capítulo 1 - Introdução com apresentação do tema proposto, problemas, objetivo geral, objetivo específico, local de estudo, justificativa e metodologia.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica com o estudo da importância do monitoramento do consumo de energia residencial.

Capítulo 3 – Apresentação das tecnologias já existentes no mercado para a medição.

Capítulo 4 – Apresentação teórica dos conceitos utilizados para desenvolvimento do protótipo.

Capítulo 5 – Desenvolvimento e implementação do protótipo.

Capítulo 6 – Avaliação dos resultados e dificuldades encontradas.

Capítulo 7 – Conclusões e desenvolvimentos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo tem como objetivo o embasamento teórico para a resolução do problema apresentado no trabalho. Será apresentado a situação da matriz energética atual e alguns conceitos sobre tarifas de energia, abrangendo os conceitos do sistema tarifário brasileiro atual.

### **2.1 SITUAÇÃO ATUAL DA GERAÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL**

A energia elétrica é originada a partir da energia mecânica, química, magnética, eletromecânica, fontes hidráulicas, solar, térmica, eólica, nuclear. Sua disponibilidade instantânea, transportada em altíssima velocidade e, em muitos casos, vencendo imensas distâncias entre os pontos de geração e de uso, tornou-a essencial para o desenvolvimento industrial dos últimos séculos. Porém conta algumas desvantagens que é a restrição ao seu armazenamento e as intempéries da natureza.

A energia hidráulica é proveniente da energia potencial gerada a partir da movimentação de uma massa de água, ou seja, depende que os reservatórios estejam sempre em níveis adequados.

Diferente das demais fontes renováveis, a energia hidráulica já representa uma parcela significativa da matriz energética mundial, com tecnologias devidamente consolidadas. Consiste na principal fonte geradora de energia para mais de 30 países e representa mais de 20% de toda a eletricidade gerada no mundo (ANEEL, 2002).

O Brasil possui um dos maiores potenciais energéticos do mundo, por conta do seu potencial hídrico, radiação solar, biomassa e força dos ventos. A maior parte da geração de energia no Brasil, em torno de 91%, é de origem hidráulica, o que torna o sistema muito vulnerável, visto que é dependente de uma única matéria-prima que é suscetível as intempéries da natureza.

A maior fonte de energia, no Brasil, vem de hidrelétricas, esta fonte é vulnerável à escassez da água. Mesmo que o país possua uma grande reserva de água por unidade territorial, nota-se que elas estão distribuídas de maneira desigual.

O consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo substancialmente ao longo dos anos. No setor residencial esse crescimento é justificado por fatores como o aumento no número de domicílios, cuja previsão é de que passará de 58 milhões

em 2009 para cerca de 75 milhões de unidades em 2020, e a posse de equipamentos também cresce de forma perceptível (MME, 2001).

Para agravar, o consumo energético cresce anualmente, e há necessidade do avanço e da criação de novas tecnologias para suprir as necessidades da população.

Uma vez que o consumo residencial no Brasil corresponde a cerca de 24,9% do consumo total de energia elétrica (BEN, 2015), onde grande parte corresponde a desperdícios, com a utilização de medidores de energia, podemos esperar uma redução deste consumo uma vez que irá ajudar a conscientizar o consumidor dos gastos desnecessários de energia elétrica que este possui.

## **2.2 SISTEMAS DE TARIFAS DE ENERGIA**

Tarifa de energia é o valor monetário estabelecido pela ANEEL fixado em R\$ (reais) por unidade de energia elétrica. Uma parte deste valor é formado pelos custos provenientes desde a geração até a sua disponibilização aos consumidores. É necessário compreender também que já que a energia elétrica é um bem essencial ela não se paga somente pelo consumo propriamente dito, mas também pela sua disponibilidade ou seja, 24 horas por dia nos 7 dias por semana.

Por exemplo, a tarifa de energia elétrica de um consumidor residencial é, de forma um pouco mais detalhada, constituída por custos com a aquisição de energia elétrica, custos relativos ao uso do sistema de distribuição, custos relativos ao uso do sistema de transmissão, perdas técnicas e não técnicas e encargos diversos (impostos) como Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social COFINS e Contribuição Provisória sobre Movimentações Financeiras (CPMF).

Os custos com a aquisição de energia do consumidor residencial do grupo B1, onde o fornecimento de tensão é inferior a 2,3kV são aqueles decorrentes da contratação de montantes de energia por meio dos leilões regulados. Os custos relativos ao uso do sistema de distribuição estão inseridos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), como as despesas de capital e os custos de operação e manutenção das redes de distribuição.

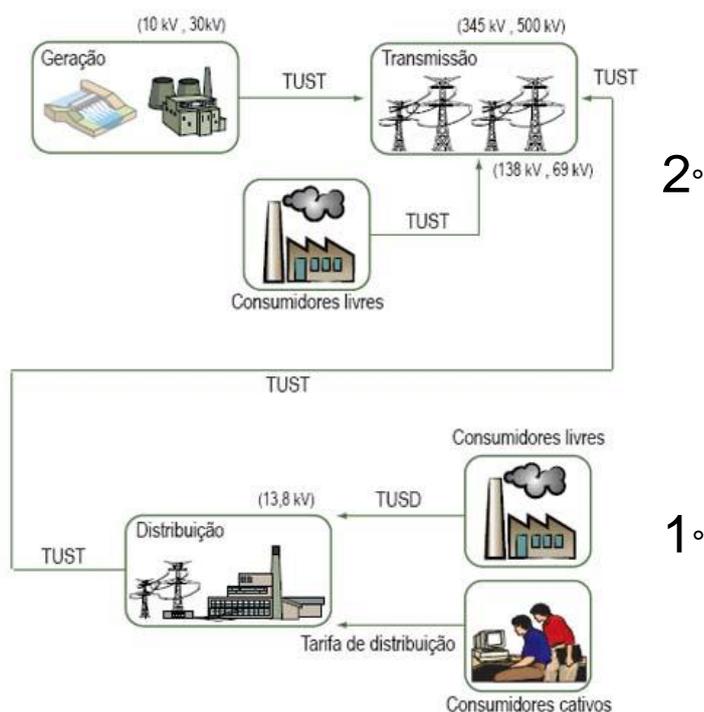


Figura 2 - Subcomponentes Tarifários.

Fonte: ABRADDEE, 2015.

Os custos relativos às perdas elétricas dividem-se em dois: perdas técnicas e perdas não técnicas. As perdas técnicas são inerentes a qualquer circuito elétrico. Qualquer fio condutor possui resistência elétrica, que causará a transformação da passagem de corrente elétrica em calor. Assim, todos os consumidores pagam pelas perdas técnicas de energia ocasionadas pelo seu próprio consumo. Já as perdas não técnicas são resultantes de furtos e problemas de medição.

Os encargos não são impostos ou tributos, mas sim contribuições instituídas por lei, cujos valores são estabelecidos por resoluções ou despachos da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. Cada encargo visa a obter recursos e a financiar necessidades específicas do setor elétrico. A ANEEL é a agência responsável implantação e execução de encargos, calculando seu valor e retendo os recursos a ele destinados.

Na Figura 03, é possível observar um gráfico elaborado pela ABRADDEE, que indica a atual composição tarifária média do Brasil, onde no cálculo desta média é considerado todos os tipos de consumidores brasileiros em 2015.

Podemos ver que o valor correspondente a geração, transmissão e distribuição de energia equivale a 56% da tarifa paga pelo consumidor, e 30% equivale

a encargos. Já 14% do valor é considerado lucro bruto da concessionária mais o custo de PMSOr.

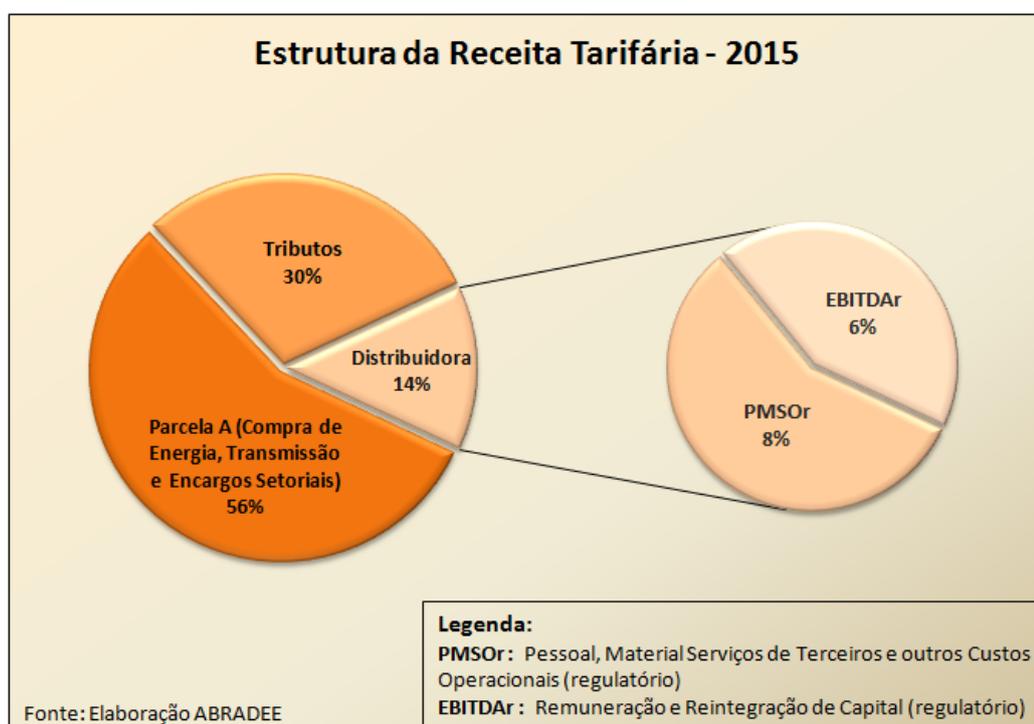


Figura 3 - Composição Tarifária.

Fonte: Adaptado de ABRADDEE, 2015.

A Figura 03 mostra que a atual estrutura tarifária brasileira proporciona só 6% de remuneração do capital investido (lucro) pelo setor de distribuição. Mesmo assim, o setor investe, por ano, 12,3 bilhões de reais em ampliação de redes, contratação de empregados, manutenção, pesquisa, entre outras (ABRADDEE, 2015).

Atualmente a estrutura tarifária do consumo de energia elétrica no Brasil é dividida de acordo com a tensão de fornecimento aos consumidores. Elas são divididas em dois grupos e cada um deles possuem subgrupos de acordo com a tensão fornecida.

a) Consumidores do grupo A (Alta Tensão): Consiste dos consumidores ligados em tensões iguais ou superiores a 2,3KV, subdivididos em:

- Subgrupo A1: 230KV ou mais
- Subgrupo A2: 88KV a 138KV
- Subgrupo A3: 69KV
- Subgrupo A3a: 30KV a 44KV
- Subgrupo A4: 2,3KV a 25KV
- Subgrupo AS: Subterrâneo (Redes elétricas subterrâneas)

b) Consumidores do grupo B (Baixa Tensão): Consiste dos consumidores ligados em tensão inferior a 2,3KV (110V, 220V e 440V), subdivididos em:

- Subgrupo B1: Residencial e Residencial de Baixa Renda
- Subgrupo B2: Rural, Cooperativa de Eletrificação Rural e Serviço Público de Irrigação
- Subgrupo B3: Demais Classes
- Subgrupo B4: Iluminação Pública

### **2.3 MEDIÇÃO DE ENERGIA**

Medidores são dispositivos ou equipamentos eletromecânicos ou eletrônicos capazes de mensurar o consumo de energia elétrica.

Durante a evolução dos sistemas elétricos, foi constante a preocupação com a medida das grandezas envolvidas. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada permanecia acesa (DAHLE, 2010).

Atualmente, a maior parte dos medidores de energia instalados são do tipo indução e são constituídos dos seguintes componentes:

- Elemento motor;
- Elemento móvel (disco);
- Ímã permanente;
- Registrador;
- Dispositivos de ajuste;
- Estrutura para montagem dos componentes.

Atualmente existem alguns sistemas de medições e leituras como medição distribuída, medição distribuída com leitura centralizada, medição distribuída com telemedição, medição e leitura centralizada e medições pré-pagas.

A medição distribuída possui equipamentos de medições individual em cada unidade consumidora, atende desde consumidores residenciais até indústrias. Para este processo exige que haja a presença de um leiturista para a aquisição dos dados registrados de consumo e demanda.

O sistema de medição distribuída com leitura centralizada é semelhante ao anterior, porém, utiliza-se um medidor exclusivo global, com intuito de realizar a

verificação da medição total das unidades consumidoras pertencentes a ele. Os medidores estão em cada unidade consumidora, pertencente ao conjunto, e são ligados a uma rede para que os dados registrados, de todos os consumidores do mesmo conjunto, sejam verificados a partir de um único ponto. As maiores vantagens deste modelo de medição são o aumento da segurança contra riscos de incêndio, curtos, sobrecorrentes e fraudes.

O modelo de medição distribuída com telemedição é a mais moderna e utiliza medidores eletrônicos de última geração. Estes medidores eletrônicos, além de possuírem a aquisição de dados de consumo de forma remota, também permitem que a concessionária possa realizar suspensão de fornecimento e restabelecimento da energia remotamente. Sua comunicação ocorre via rádio ou linha telefônica.

## **2.4 IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA**

A eficiência energética aparece como uma alternativa mais barata e eficiente, poupando os recursos naturais ao reduzir os desperdícios, diminuem-se os custos de produção, além de amortizar os investimentos em geração de energia.

Em 2010, um estudo da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia, ABESCO e da Agência de Cooperação Alemã, GTZ concluiu que o desperdício energético brasileiro chegou a R\$ 15 bilhões ao ano (ABESCO, 2010 e GTZ, 2010).

A implementação de estratégias que promovam o incremento da eficiência energética depende de orientações e dispositivos que sensibilizem os agentes consumidores, gestores do sistema, fabricantes de equipamentos e financiadores. Uma das formas mais práticas para motivar os consumidores é a sinalização econômica de suas ações, estabelecida através de uma adequada estrutura tarifária.

Muitas vezes, o acompanhamento do consumo através das contas de energia não é suficiente para um melhor conhecimento de como a eletricidade é consumida nos diversos equipamentos instalados, qual a participação de cada um no consumo e sua influência sobre o valor da conta. Nesses casos se torna necessário um acompanhamento mais frequente, diário ou semanal, através da leitura direta dos medidores de consumo.

Em instalações que apresentam maior porte ou complexidade, a análise das características de consumo pode ser dificultada, pois geralmente só está disponível

um único ponto de medição totalizando todo o consumo. É conveniente, então, a instalação de medidores em pontos estratégicos. Esse procedimento permite acompanhar não só o consumo de eletricidade, como também fornecer informações que possibilitem determinar a forma como a energia é consumida. Esse tipo de controle é fundamental para priorizar os pontos a serem atacados e identificar as ações a serem empregadas para redução do consumo. Existem diversos softwares de acompanhamento, que podem ser utilizados para elaborar relatórios gerenciais.

A possibilidade da redução dos gastos com energia elétrica e o monitoramento da qualidade da energia recebida pela unidade consumidora vem ganhando espaço quando se fala de consumo de energia e com isso verifica-se o aumento do interesse pelo gerenciamento de energia.

Neste conceito de gerenciamento de energia, criado pela atração na diminuição dos gastos, se torna possível a supervisão em tempo real do fluxo de energia da unidade consumidora, podendo então controlar o consumo, demanda, afim de minimizar os desperdícios.

### **3 APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS JÁ EXISTENTES NO MERCADO PARA A MEDIÇÃO**

Este capítulo apresenta alguns dos sistemas disponíveis para monitoramento de consumo de energia elétrica. E em seguida abordamos as principais diferenças destes com o sistema proposto neste trabalho. Previamente é relevante esclarecermos que os medidores inteligentes são utilizados para a obtenção de informações como tensão, corrente, potência e outros, porém, os usuários não têm interesse em dados técnicos e precisam ter acesso a informações mais comuns como quanto em dinheiro está sendo gasto por determinado eletrodoméstico. Dessa forma, é possível visualizar de maneira clara o quanto cada dispositivo consome e facilmente compreender o consumo de energia elétrica.

#### **3.1 Home Area Network**

A comunicação na rede smart grid pode ser subdividida em 3 segmentos: a Wide Area Network (WAN) cobre desde o centro de operação e parte da rede elétrica inteligente sendo responsável pela rede de alta tensão e parte da de média tensão. A Neighborhood Area Network (NAN) abrange a comunicação vinda da WAN até a Home Area Network (HAN) e cobre a rede de média tensão e baixa tensão. A Home Area Network é responsável pela comunicação residencial, ou seja, o consumidor inteligente (RIVEIRA, 2013). A HAN é um tipo de rede LAN (Local Area Network) com objetivo de facilitar a comunicação entre os medidores inteligentes e os dispositivos eletrodomésticos (BEM-TOVIM, 2014).

Dentre estas três subdivisões de redes elétricas inteligentes podemos classificá-las de acordo com a sua utilização e formas de comunicação. Na Figura 4 é possível verificar esta tipologia de rede de telecomunicações já citada, onde nos mostra que consumidores inteligentes, foco deste projeto, estão classificados na utilização de redes HAN, as quais podem utilizar rede de comunicações via wireless (Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth).

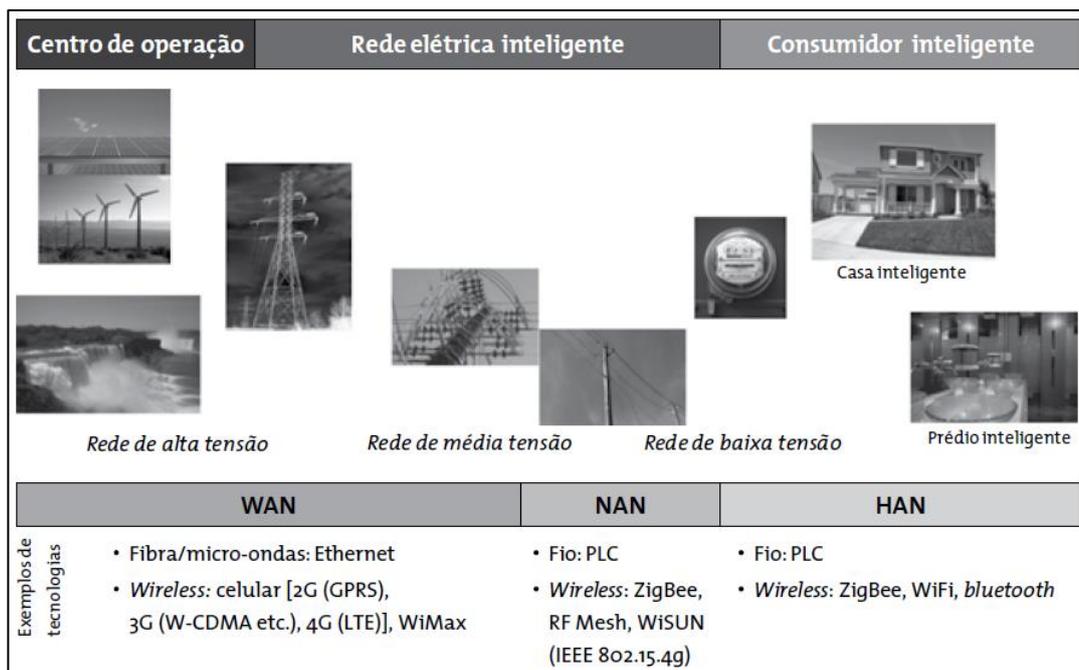


Figura 4 - Arquitetura de Rede de Comunicação em Smart Grid.

Fonte: RIVEIRA, 2013.

A solução para transmissão de dados nas redes pode adotar simultaneamente diferentes tecnologias. Do ponto de vista do meio por que trafega a informação, há soluções cabeadas (fibra óptica, cabo coaxial ou cabos metálicos) ou sem fio (redes de celulares, radiofrequência, WiMax, ZigBee, Bluetooth, entre outros) (RIVEIRA, 2013).

Para escolher a tecnologia a ser adotada para a rede de comunicações implantada é necessário que seja verificado diversos fatores, entre os quais os custos envolvidos, a distância entre os sensores e medidores até o ponto concentrador de dados e deste até a rede da concessionária, a topologia física do local, a área de cobertura, a taxa de transmissão, o desempenho do sistema, a atenuação e ruídos. Esta rede deve atender requisitos como largura de banda, escalabilidade, confiabilidade, segurança, entre outros.

### 3.2 Home Energy Monitor

Mesmo com o avanço tecnológico dos medidores inteligentes e da utilização da rede HAN para facilitar a comunicação entre os dispositivos essa tecnologia é

pouco acessível ao consumidor por se tratar de um sistema complexo, de difícil utilização e preços altos para o consumidor.

Para satisfazer a esta lacuna foram desenvolvidos os Home Energy Monitors que fornecem em tempo real informações do custo hora referente ao consumo de energia elétrica do equipamento em análise, fácil utilização e preços mais acessíveis. Atualmente existem muitos modelos disponíveis para compra com preços que variam conforme suas funcionalidades, foram desenvolvidos exclusivamente para ajudar o consumidor a controlar seus consumos de forma a reduzir sua demanda, além disso são portáteis, mais simples e mais baratos que os contadores inteligentes e conseguem medir e tratar os consumos elétricos em tempo real, porém não substituem o contador tradicional.

Os mais comuns são do tipo plug-in, que realizam a medição de dispositivos individualmente, esses medidores ficam localizados entre a tomada de fornecimento de energia e o aparelho do qual se deseja medir o consumo (JOSUÉ, 2010) e alguns ficam localizados junto ao medidor eletromecânico ou ao quadro elétrico.

### **3.3 Sistemas para Medição de Consumo de Eletrodomésticos**

Dependendo da aplicação a que se destinam, existem sistemas de monitoração que medem os consumos de apenas um equipamento elétrico e outros que conseguem medir os consumos totais de eletricidade em uma habitação. Nesta sessão será apresentado alguns modelos.

- SnapGrid

Na Figura 05 podemos visualizar o sistema desenvolvido pela iHouse, no Brasil, onde o consumo pode ser mostrado por ambientes ou equipamentos podendo visualizar o consumo em tempo real ou de modo acumulado, com a opção de prever o valor da conta de luz para o fim do mês, a informação é exibida em kilowatts e reais, fácil utilização e compreensão (IHOUSE, 2015).



Figura 5 - Painel Touch Screen SnapGrid.

Fonte: iHouse, 2015.

O SnapGrid é composto por um painel touch screen, e uma CPU de 16 canais, sendo que cada canal recebe pastilhas individuais de medição. Cada pastilha mede o consumo do disjuntor associado, informando à CPU principal. O painel touch screen promove fácil interação com o usuário, podem ter configurações avançadas onde até 4 CPUs podem estar associadas a um painel LCD permitindo que diversos quadros elétricos sejam monitorados de forma centralizada (IHOUSE, 2015).

A interface com o usuário pode ser vista na Figura 06 aonde diversas informações são apresentadas como o consumo de todos os canais, o consumo separado pelos dispositivos, em qual unidade está sendo apresentado o valor, modos de exibição e uma relação dos meses anteriores.

O usuário pode acessar o medidor remotamente, ou seja, não precisa estar no mesmo local do equipamento para colher as informações. Uma característica importante a ser ressaltada é que este equipamento faz a medição de um equipamento por vez, não sendo possível gerenciar mais de um eletrodoméstico simultaneamente.



Figura 6 - Interface do SnapGrid.

Fonte: iHouse, 2015.

#### ▪ MKE-02

O MKE-02, Figura 07, é desenvolvido pela Kron Instrumentos Elétricos LTDA no Brasil, sendo mais uma opção nacional, é um instrumento portátil que permite a medição de consumo de energia elétrica e potência média em W de qualquer equipamento com consumo até 4000W, a leitura é feita no próprio instrumento, através de um display de cristal líquido (KRON, 2015).

Este medidor é um equipamento portátil, ou seja, é possível deslocar o mesmo com facilidade.



Figura 7 - Medidor de Energia Kron, MKE-02.

Fonte: Kron, 2015.

- Kill a Watt

O Kill a Watt sistema apresentado na Figura 08 é desenvolvido pela P3 International nos Estados Unidos. Esta empresa apresenta uma variedade grande de sistemas plug-in, o Kill a Watt é um sistema que além de monitorar o consumo é capaz de analisar a qualidade da energia recebida através da tensão, tensão de linha e fator de potência. Apresenta um visor LCD aonde as informações são mostradas em Volts, Amperes, Watts, Hertz, Volt-Amperes ou Kilowatts-hora (P3I International, 2015).



Figura 8 - Kill a Watt.

Fonte: P3I International.

- Power-Mate

O Power-Mate é desenvolvido pela empresa australiana CCI (Computer Control Instruments), possui um LCD, Figura 09, aonde é disponibilizado diversos dados de energia medidos, incluindo a potência ativa e a reativa, além disto esse sistema estima as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes e possui uma elevada resolução e sensibilidade, permitindo medições de 1/1000 A e de 1/10 W. A versão mais avançada possui interface serial para comunicação com o computador, onde podem ser guardados e analisados os dados de energia medidos (CCI, 2015).

Este também é um dispositivo que mede apenas um equipamento por vez.



Figura 9 - Monitor de Energia Power-Mate.

Fonte: CCI, 2015.

- British Gas Smart Meters

A empresa inglesa British Gas comprou a também inglesa AlertMe que desenvolvia sistemas de monitoramento residencial, os produtos desenvolvidos pela British Gas são medidores de gás e eletricidade, sensores são instalados no quadro elétrico ou no medidor eletromecânico e os dados são transmitido via wireless para o monitor representado na Figura 10 aonde o consumidor pode gerenciar seu consumo (BRITISHGAS, 2015).



Figura 10 - Monitor EnergySmart.

Fonte: BritishGas, 2015.

### 3.4 Comparativo entre as formas de medição atuais e a proposta

Esta seção apresenta um comparativo técnico entre os dispositivos abordados na seção anterior e o sistema proposto neste trabalho. Na Tabela 1 é possível visualizar algumas diferenças entre estes sistemas como origem, preço e informações técnicas.

Tabela 1 - Comparativo Técnico dos Medidores

	Origem	Preço (US)	Informações técnicas
Snap Grid		\$ 700,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>→Display</li> <li>→Detalhes de consumo</li> <li>→Interface amigável</li> <li>→Monitoramento com acesso remoto</li> <li>→Banco de dados de consumo</li> <li>→Consumo periódico</li> <li>→Consumo em dinheiro</li> <li>→Mede um único dispositivo</li> </ul>
MKE-02		\$ 90,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>→Display</li> <li>→Portátil</li> <li>→Consumo periódico</li> <li>→Dispositivo portátil</li> </ul>
Kill a Watt		\$ 90,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>→Display</li> <li>→Detalhes de consumo</li> </ul>
Power-Mate		\$ 120,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>→Display</li> <li>→Controle automático</li> <li>→Detalhes de consumo</li> <li>→Conscientização ambiental</li> </ul>
EnergySmart		\$ 130,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>→Display</li> <li>→Detalhes de consumo</li> <li>→Interface amigável</li> <li>→Monitoramento Remoto</li> <li>→Banco de dados de consumo</li> <li>→Consumo periódico</li> <li>→Consumo em dinheiro</li> <li>→Dispositivo único</li> <li>→Transmissão via Wireless</li> </ul>
Proposta deste estudo		\$ 60,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>→Display</li> <li>→Detalhes de consumo</li> <li>→Interface amigável</li> <li>→Banco de dados de consumo</li> <li>→Consumo periódico</li> <li>→Consumo em dinheiro</li> <li>→Transmissão via Bluetooth</li> <li>→Dispositivo único</li> </ul>

Fonte: Os autores, 2015.

O sistema de medição de consumo de energia elétrica a ser desenvolvido se diferencia dos demais em alguns pontos. Os sistemas MKE-02, Kill a Watt e Powe-Mate são do tipo plug-in, como visto anteriormente, este tipo fica entre a tomada de fornecimento de energia e o aparelho do qual se deseja medir, são sistemas práticos para conhecer o consumo dos dispositivos separadamente em uma residência por não precisar de instalação, porém, a necessidade é de se ter o consumo de toda a residência de forma visual durante todo o dia, função não adequada a este tipo de sistema, além do caso do MKE-02 não fornecer os dados de forma monetária, considerando uma interface pouco amigável. Os sistemas SnapGrid e Energy Smart apresentam muitas funcionalidades como pode ser visto na Tabela 1, e são estes os dispositivos que utilizaremos como modelo, os sensores ficam junto ao quadro elétrico da residência, monitorando todo o consumo em tempo real, transmitindo os dados a um display aonde o usuário pode verificar seu consumo a qualquer momento do dia.

O sistema a ser desenvolvido pretende contemplar todas as funcionalidades dos sistemas presentes neste estudo com foco principalmente na redução de custo, transmissão de dados via Bluetooth e utilização de componentes eletrônicos mais acessíveis.

## 4 APRESENTAÇÃO TEÓRICA DOS CONCEITOS UTILIZADOS PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O objetivo deste trabalho é propor e desenvolver um protótipo que realize a medição do consumo de energia em tempo real de equipamentos residenciais ou de um determinado circuito. O diagrama em blocos da Figura 11 ilustra os elementos do sistema com suas respectivas interligações, que serão detalhados nos subitens deste capítulo.

O protótipo é composto por dois blocos, sendo um bloco composto por um sensor de corrente que ficará conectado ao equipamento a ser analisado [1] (um eletrodoméstico), um sensor de corrente não invasivo [2], microcontrolador Arduino [3] e um display [4] que é a interface do hardware, a ser desenvolvido. O microcontrolador possui uma porta USB [7] que é a entrada no Arduino. O segundo bloco foi um software [5] que é desenvolvido e utilizado para exibição dos resultados. Este software recebe os dados através de uma interface de comunicação wireless [6] conectada ao computador [5].

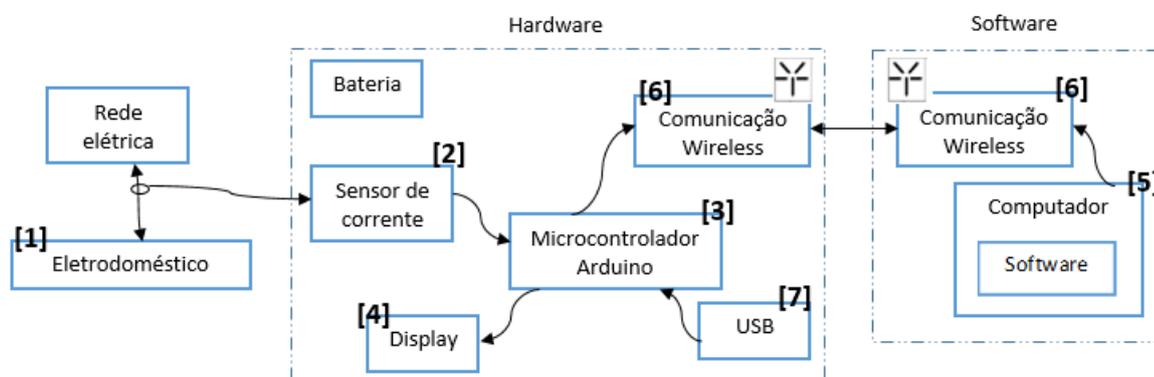


Figura 11 - Diagrama em Blocos do Projeto.

Fonte: Os autores, 2015.

### 4.1 SENSOR DE CORRENTE NÃO INVASIVO SCT-013 20A

O componente eletrônico escolhido para o monitoramento é o sensor de corrente SCT013 da YHDC, 2015, Figura 12, desenvolvido para aplicação em diversos circuitos elétricos. É compatível com o Arduino e entre outras plataformas de prototipagem é uma opção de qualidade e eficiência quando se fala em medir correntes de até 100A sem ser invasivo (YHDC, 2015). A grande vantagem deste

sensor é que não é necessário alterar o circuito a ser medido pois funciona como um amperímetro.

Utilizado para o desenvolvimento de projetos, o sensor de corrente da YHDC, que é mostrado na Figura 12, é capaz de realizar o monitoramento de corrente, proteção de motores AC, iluminação e diversos outros sistemas elétricos.

Este sensor possui dois fios que estão ligados diretamente à um plug P2, que pode ser facilmente retirado e utilizado de forma direta no projeto. A medição feita através deste componente é necessária para calcular o consumo de determinado eletrônico ou estimar o consumo no final do mês.

A utilização deste sensor é simples, sendo necessário apenas envolver o cabo de energia do equipamento que foi testado pelo sensor, conforme mostra a Figura 13.



Figura 12 - Sensor YHDC não invasivo.

Fonte: YHDC, 2015.



Figura 13 - Forma de Utilização do Sensor.

Fonte: Os autores, 2016.



Vamos utilizar as entradas analógicas para receber os sinais provenientes do sensor não invasivo e se comunicar através de um módulo para transmissão Bluetooth. A Figura 15 mostra a utilização da placa Arduino no protótipo.

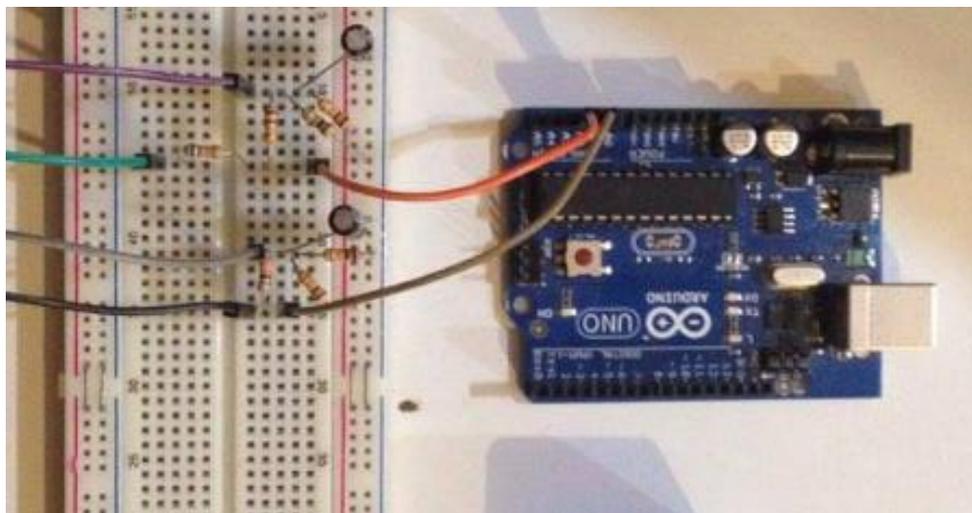


Figura 15 - Protótipo Montado com a Placa Arduino UNO.

Fonte: ARDUINO, 2015.

### 4.3 COMUNICAÇÃO WIRELESS

Esta tecnologia permite maior flexibilidade na comunicação, comparada aos meios tradicionais por cabos, pois utiliza ondas eletromagnéticas (ondas de rádio) para transmitir e receber sinais. Cada vez mais a comunicação sem fio se torna popular, devido à conveniência e mobilidade que proporciona, permite às pessoas se comunicarem no carro, aviões ou em qualquer outro veículo em movimento.

Os Sistemas de comunicação sem fio utilizam dispositivos chamados transmissores para gerar as ondas de rádio. Os transmissores modulam os sinais de rádio, transmitindo estes sinais para áreas distantes. Esses instrumentos operam em diferentes frequências de rádio, de modo que um dispositivo não se sobreponha e interfira com transmissões próximas de outros equipamentos. Os receptores de rádio captam esses sinais, decodificando-os para obter as mensagens originais. Os meios de comunicação de difusão pública, como rádio e a televisão, também utilizam tecnologia de sistemas de comunicações sem fio.

Este tópico apresenta as tecnologias estudadas para o desenvolvimento do sistema. Dentre as tecnologias disponíveis, destacam-se Wi-Fi, Bluetooth e Zigbee.

### 4.3.1 WI-FI

O IEEE é um grupo que promove pesquisas nas áreas de Engenharia Elétrica, e uma de suas áreas de pesquisas são as tecnologias sem fio, procurando cada vez mais aprimorá-las em questão de custo, alcance, desempenho, entre outros. Um de seus projetos criou o padrão IEEE 802.11, no início da década de 90, mas não recebeu muita atenção nos seus primeiros anos devido à baixa transferência de dados que possuía.

Quando começou, esse padrão possuía uma taxa de transferência na ordem de alguns Kb/s (quilo bytes por segundo), mas quando passou a alcançar a faixa de Mb/s (mega bytes por segundo), essa tecnologia começou a receber investimentos, com a finalidade de desenvolver equipamentos e periféricos que utilizassem redes sem fio para se comunicarem.

No padrão IEEE 802.11 pode-se destacar as seguintes premissas: suportar diversos canais, sobrepor diversas redes na mesma área de canal, apresentar robustez com relação à interferência e oferece privacidade e controle de acesso ao meio.

As redes Wi-Fi estão dentro desse padrão, e operam nas frequências não licenciadas, estando nas faixas de 2400 MHz ou 5800 MHz (BULHMAN; CABIANCA, 2006).

Para utilizar a tecnologia Wireless é necessário um componente que envie os dados do Arduino para o computador, este componente pode ser o módulo wireless ESP8266 conectado ao Arduino, mostrado na Figura 16. Com este podemos conectar o Arduino nas redes Wireless, enviando e recebendo dados nos modos AP (Ponto de Acesso). Foi configurado este módulo como web server, enviando dados para um browser.

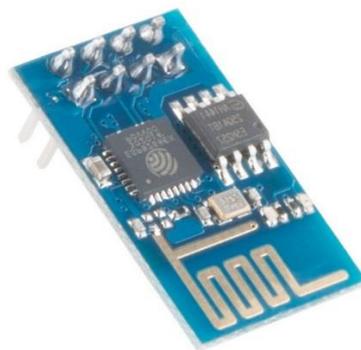


Figura 16 - Módulo Wireless ESP8266.

Fonte: ESP8266, 2015.

### 4.3.2 BLUETOOTH

O Bluetooth começou como um investimento da empresa Ericsson, com a finalidade de obter uma tecnologia para a comunicação entre celulares e acessórios através de sinais de rádio de baixo custo, para não utilizar cabos. Isso resultou em um sistema de rádio de curto alcance, nomeado MCLink, que poderia cumprir seu objetivo, devido a implementação ser fácil e barata.

Em 1998 foi criado o consórcio Bluetooth SIG, que unia outras empresas como Intel, IBM, Toshiba, Nokia e Ericsson, a fim de apoiar a tecnologia. Como eram empresas de diferentes ramos; como telecomunicações, fabricação de computadores e processadores, isso ajudou a desenvolver padrões que fornecessem uma interoperabilidade em vários tipos de dispositivos.

O Bluetooth pode operar em até 79 frequências (com algumas restrições em alguns países, diminuindo esse número para 23), e também opera em frequência não licenciada, com uma frequência de 2,45 GHz, e para obter as outras, pode haver espaçamentos de 1MHz. O padrão do Bluetooth é definido pelo IEEE 802.15.1. (ALECRIM, 2011).

Para economizar bateria e evitar acessos não autorizados, alguns dispositivos podem ser configurados para enviar informações em broadcast por alguns segundos (60 normalmente) e, em seguida, aceitam apenas conexões de dispositivos que conheçam seu endereço (RUFINO, 2011).

Essa tecnologia é bastante flexível e pode ser utilizada de inúmeras formas como: sincronismo de base de dados, redes ponto a ponto, acesso discado e redes. No sincronismo de base de dados, uma das aplicações mais simples consiste em

enviar e/ou receber um dado ou conjunto de dados, normalmente agendas de endereços, compromissos e informações similares. Também é possível copiar arquivos (RUFINO, 2011).

A solução encontrada para este projeto, foi a utilização do módulo Bluetooth HC-05, exemplificado na Figura 17, ao invés do módulo wireless ESP8266, através deste conseguiremos receber informações remotamente de uma forma simples e barata, que é sua maior vantagem para o desenvolvimento deste protótipo. Com isso enviaremos as informações coletadas de para o banco de dados a uma distância de até 10 metros. A transmissão de dados é feita por meio de radiofrequência, permitindo que um dispositivo detecte o outro independente de suas posições, sendo necessário apenas que ambos estejam dentro do limite de proximidade.

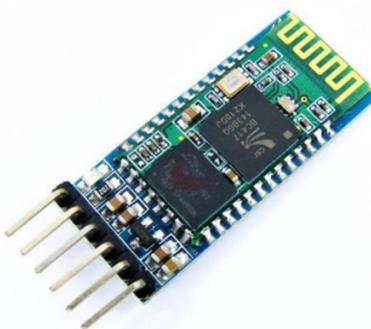


Figura 17 - Módulo Bluetooth HC-05.

Fonte: HC-05, 2015.

### 4.3.3 ZIGBEE

O protocolo ZigBee de comunicação foi criado pela ZigBee Alliance, com o intuito de produzir uma comunicação sem fio de baixo consumo, confiável e de baixa taxa de transmissão, para aplicações nas áreas de monitoramento e controle. Este protocolo utiliza a definição 802.15.4 do IEEE, que opera na banda de “licença livre”.

Existem muitos padrões de médias e altas taxas de transmissão para aplicações de voz, vídeo, redes de computadores, entre outros. Contudo, ainda não existe um padrão que atendas às necessidades dos dispositivos de controle e monitoramento. Tais redes precisam das seguintes características: baixa latência, baixo consumo de energia, a possibilidade de ampliar a rede para um grande número de dispositivos e manter uma baixa complexidade nos nós da rede (FRIAS, 2004).

De acordo com Frias, suas aplicações são empregadas principalmente na automação e controle predial (segurança, controle de acesso e iluminação), controle industrial (gerenciamento de ativos, controle de processos, etc.), periféricos para PC (teclado, mouse e joystick), controle remoto de produtos eletrônicos, automação residencial e comercial e na saúde pessoal (monitoração de pacientes, acompanhamento de exercício Físico).

#### 4.3.4 COMPARAÇÕES

As tecnologias de comunicação têm suas particularidades, com algumas vantagens e desvantagens.

A Figura 18 mostra a relação entre alcance e taxa de transmissão, onde temos um melhor alcance para o Wi-Fi, seguido pelo ZigBee e Bluetooth. Em contrapartida a tecnologia mais barata é Bluetooth seguida pelo ZigBee e Wi-Fi.

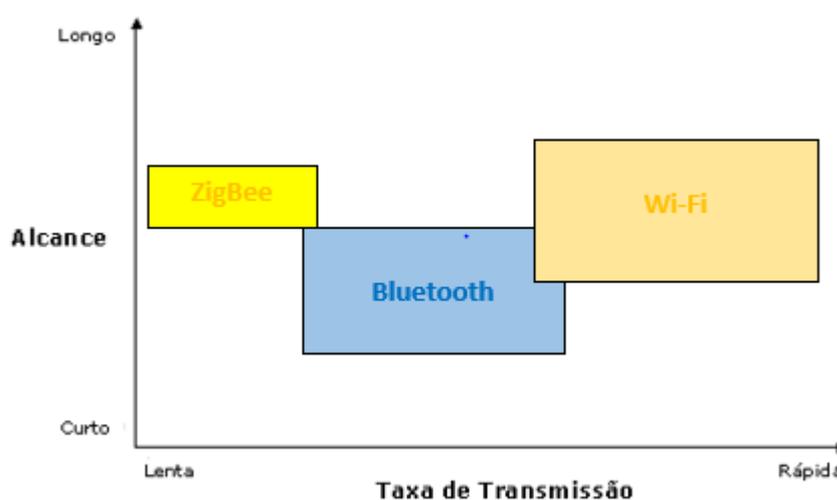


Figura 18 - Relação de alcance e taxa de transmissão.

Fonte: Adaptada de FRIAS, 2004.

A Tabela 2 apresenta dados sobre os 3 sistemas. Com essa comparação pode-se elaborar uma melhor escolha mediante o perfil adotado pelo projeto, pois sendo um projeto embarcado têm-se limitações de consumo, de alcance e de taxa de dados. Avaliando de forma econômica têm-se limitações de capacidade de processamento do sistema e de valores para a transmissão.

Tabela 2 - Relação de Informações dos Sistemas Wireless.

Tecnologias de Conexão Wireless			
	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi 802.11
Taxa de Dados	1 Mbits/s	20, 40 e 250 kbits/s	11 e 54 Mbits/s
Alcance	10 metros	10 a 100 metros	Até 100 metros
Topologia de Rede	Ponto de Acesso, pequenas redes	Ponto de acesso, ponto a ponto, estrela ou malha	Ponto de acesso (mista).
Frequência	2.4 GHz	868 MHz (Europa), 900 a 928 MHz (América do Norte), 2.4 GHz (mundial)	2.4 e 5 GHz
Consumo de Energia	Baixo	Muito Baixo	Alto
Aplicações Típicas	Entre dispositivos de conectividade <i>wireless</i> , Celulares, <i>laptops</i> , <i>headsets</i> , câmeras, impressoras	Controle e monitoramento industriais, Redes de sensores, construções de automação, brinquedos, jogos.	Conexões WLAN, Câmeras de segurança, Internet Banda Larga.

Fonte: Mobiledev & Design, 2010.

Para o desenvolvimento deste trabalho, como a distância de alcance necessária não é alta, foi determinado a utilização da tecnologia Bluetooth dado que:

- 1) Possui o menor custo benéfico.
- 2) O alcance concedido por esta tecnologia é satisfatória.

#### 4.4 FIRMWARE

O firmware, que foi desenvolvido utilizando o microcontrolador Arduino UNO, é o programa implementado dentro deste microcontrolador, responsável por receber o sinal do sensor de corrente, efetuar os cálculos necessário para termos a potência e então o consumo em reais utilizando as ferramentas do microcontrolador e efetuar o envio dos dados para o software através da interface wireless. A Figura 19 apresenta o fluxograma do firmware.

Funcionará da seguinte maneira, o Arduino envia um comando para o sensor ler o valor de corrente e exibe no aplicativo, quando o usuário solicitar, através do software, o Arduino receberá uma solicitação para que envie os dados coletados (via Bluetooth) para o aplicativo. Após os valores coletados estarem no aplicativo o

Arduino recebe um comando para que os dados sejam deletados, para que não acumule em sua memória.

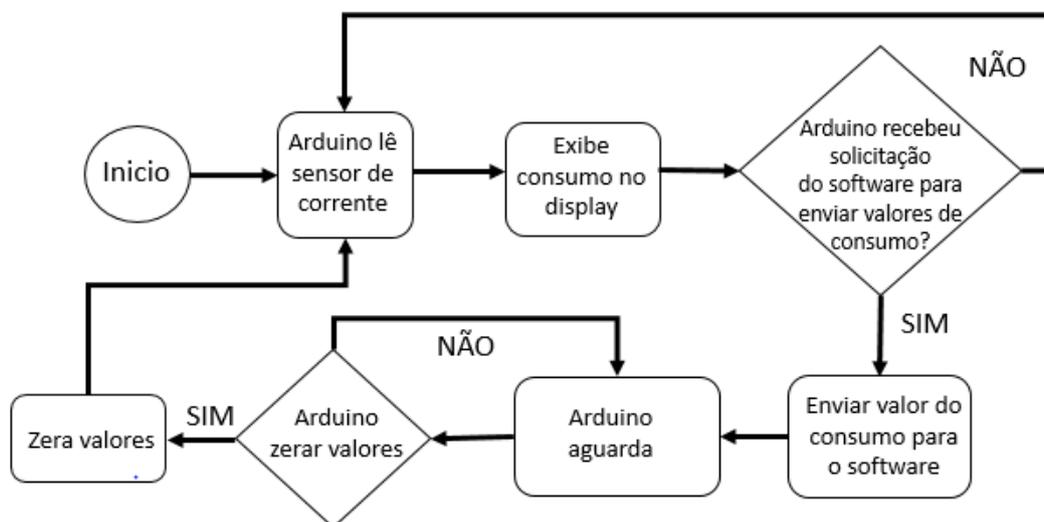


Figura 19 - Fluxograma do Firmware.

Fonte: Os autores, 2015.

#### 4.5 SOFTWARE

O *software* é o programa que vai organizar e demonstrar os resultados obtidos, ele é executado em um computador ou um aplicativo para celulares. Através do *software* o usuário recebe os valores de corrente, potência e consumo armazenado no microcontrolador e mostra na tela, podendo também ser gravado em um arquivo escolhido pelo usuário no início da execução do programa. A comunicação entre o *software* e o sensor é executada via interface Bluetooth, como mostra a Figura 11, página 27.

## 5 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento do projeto, definindo a relação dos materiais utilizados juntamente com o desenvolvimento do protótipo do medidor.

### 5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Na Tabela 3 estão citados os materiais que foram utilizados para a confecção do protótipo. Todos os componentes são de fácil acesso e baixo custo.

Tabela 3 - Materiais Utilizados.

Quantidade	Material
1	Adaptador CA-CA 6V
7	Resistor 10k $\Omega$
1	Resistor 68k $\Omega$ , Resistor 33 $\Omega$ , Resistor 1,5k $\Omega$ , Resistor 2,2k $\Omega$
2	Capacitor 10 $\mu$ F - 50V
1	Sensor de TC YHDC SCT-013-000
1	Arduino UNO
1	Modulo Bluetooth HC-05
1	Fonte de alimentação 6V
1	Display LCD 16x2
1	Filtro de linha
1	Placa de circuito impresso
1	Medidor de energia Landys Gys, modelo SAGA 1000
1	Carga variável
1	Multímetro
1	Aquecedor de ambiente 1000W
1	Secador de cabelo 1865W
1	Protoboard

Fonte: Os autores, 2016.

## 5.2 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

### 5.2.1 O PROTÓTIPO

O protótipo do medidor de energia foi construído para analisar o valor de corrente e tensão considerando um circuito monofásico, através destes dados foi possível realizar uma programação para chegar no cálculo da potência do equipamento ligado no sistema. Com base nisso, chegamos no valor da energia consumida por este aparelho em um determinado tempo.

Neste projeto foi utilizado um medidor de corrente não invasivo, ou seja, para medir a corrente do circuito não é necessário que se faça nenhuma alteração no mesmo. Ele comporta-se como um amperímetro e, se faz necessário apenas abrir o sensor e envolver o fio do equipamento que foi medido. Para que a medida seja mais precisa é necessário que apenas um fio seja envolvido no sensor, caso contrário pode-se ter valores incorretos ou zerados.

O sensor de corrente é o responsável por fornecer o nível de tensão adequada para as entradas analógicas do micro controlador, nesse caso 5V.

Para a coleta das amostras de corrente do protótipo, foram estudados sensores de corrente de efeito Hall que são dispositivos semicondutores que geram um sinal de corrente quando são inseridos em um campo magnético e uma tensão é aplicada a eles. É possível medir a corrente AC ou DC que circula por um condutor, pois esta produz um campo magnético (UFMG, 2010).

Como o sensor coleta dados apenas da corrente do circuito a ser medido foi necessário ter conhecimento prévio da potência do equipamento a ser medido. Escolhemos medir consumo de um secador de cabelo onde sua potência é de 1865W e de um aquecedor de ambiente onde sua potência é de 1000W. Outra grandeza que deve ser conhecida é a tensão da rede elétrica em Volts, fazemos esta medição utilizando um adaptador CA-CA para que não seja necessário trabalhar com alta tensão.

Os cálculos realizados pelo Arduino são simples. Para conhecer a corrente que o circuito está consumindo, a potência do equipamento é dividida pela tensão da rede. Para ter o consumo em R\$ é necessário saber o valor do kWh cobrado pela concessionária de energia.

O diagrama do protótipo foi projetado e simulado utilizando o software Proteus da Labcenter Eletronics Ltd e é apresentado na Figura 20.

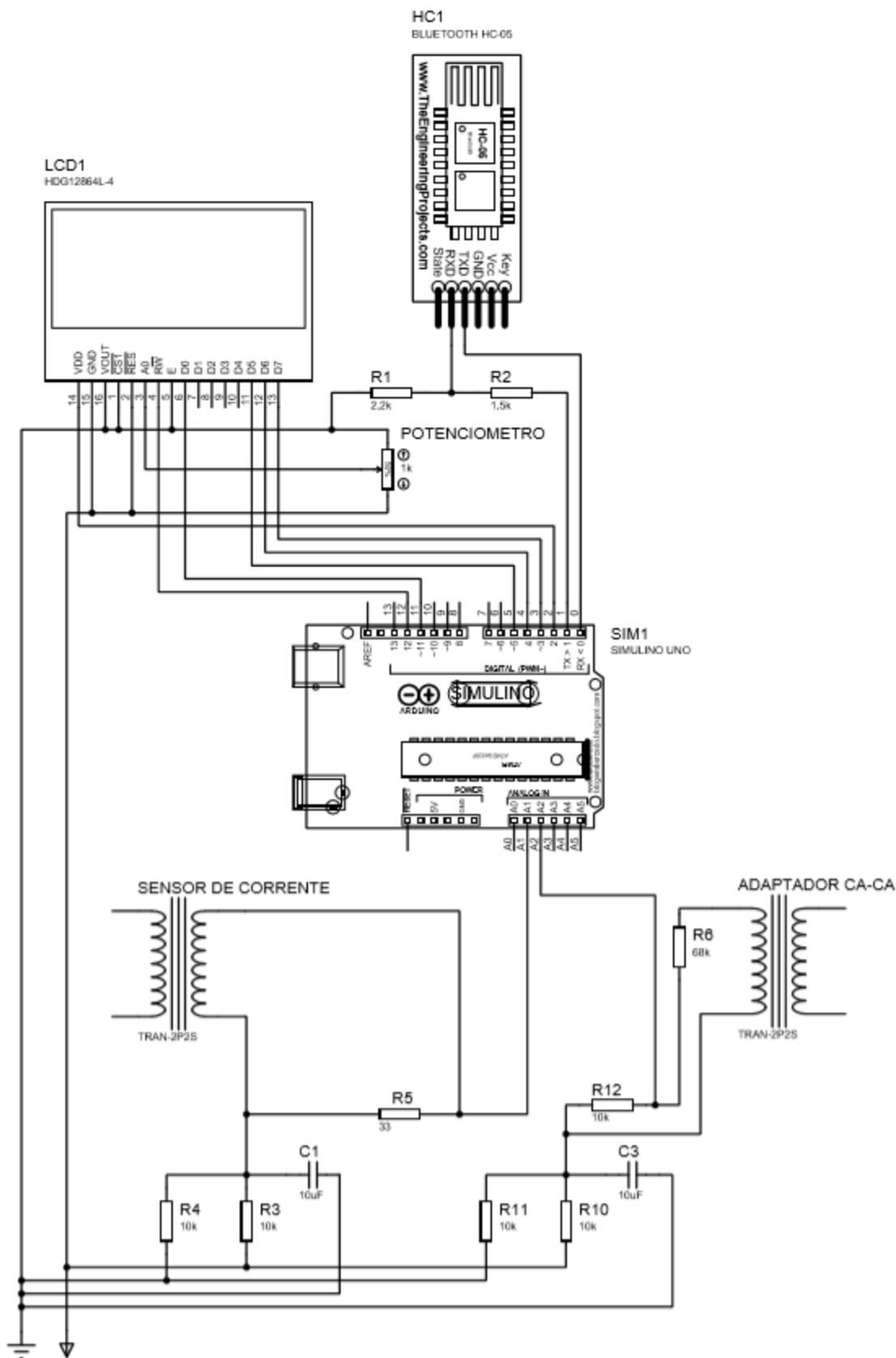


Figura 20 - Diagrama do Protótipo.

Fonte: Os autores, 2016.

A primeira montagem do protótipo foi desenvolvida em um protoboard, encaixando os periféricos e os componentes eletrônicos, realizando as conexões dos periféricos com cabos descascados. A alimentação do sistema foi feita a partir de uma bateria de 9V. A Figura 21 ilustra esta primeira montagem.

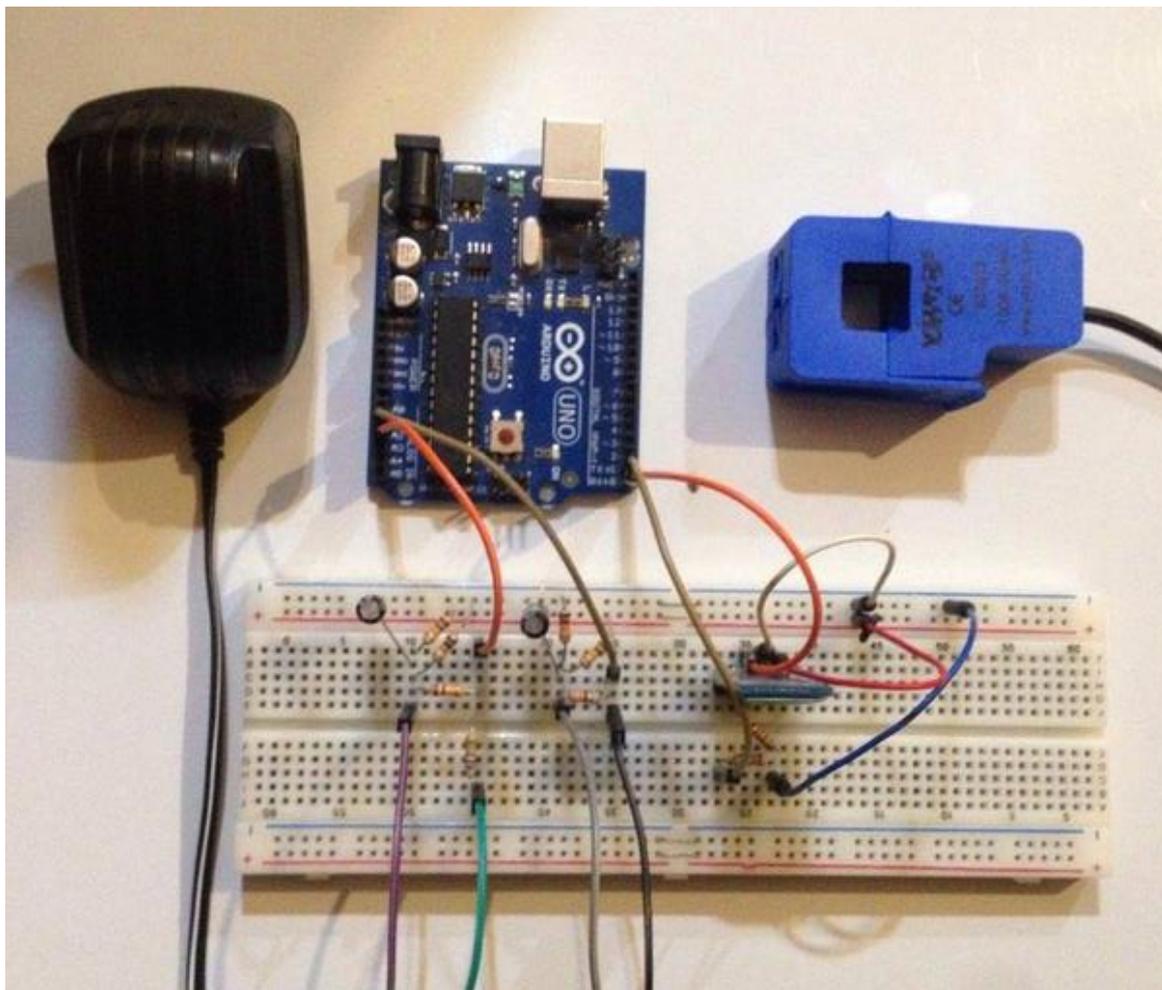


Figura 21 - Primeira Montagem do Protótipo.

Fonte: Os autores, 2016.

Para a montagem do hardware foi utilizado um pedaço de MDF para a fixação dos periféricos, sendo eles: um filtro de linha(1) para ligar o equipamento a ser medido, uma bateria de 9V(2) para alimentar o Arduino, a placa de circuito impresso(3), o Arduino(4), sensor de corrente(5), adaptador CA-CA(6) que deve estar envolvido no cabo do equipamento a ser medido. A Figura 22 ilustra a montagem final do protótipo.

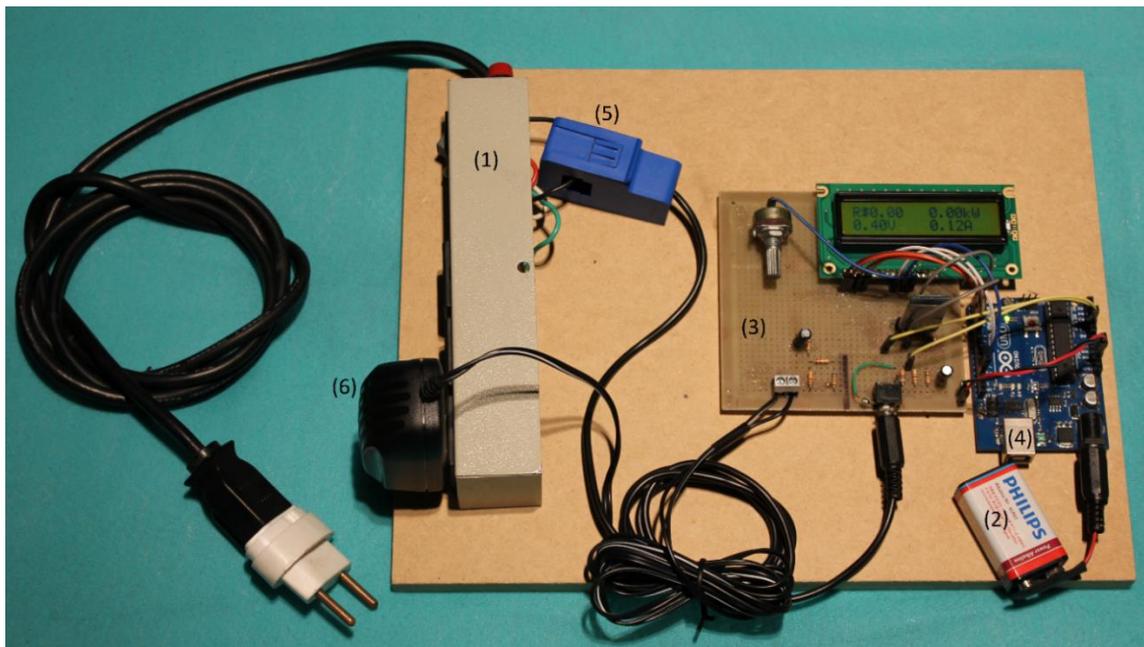


Figura 22 - Montagem Final do Protótipo.

Fonte: Os autores, 2016.

### 5.2.1.1 MONTAGEM DO SISTEMA ELETRÔNICO

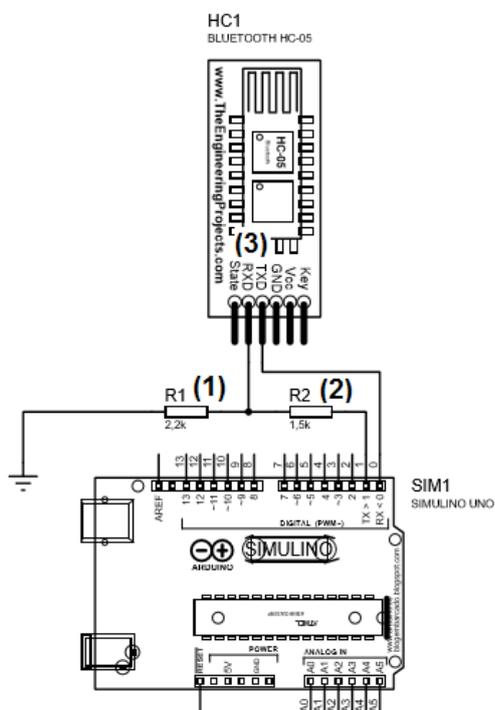


Figura 23 - Diagrama do módulo Bluetooth.

Fonte: Os autores, 2016.

O módulo Bluetooth utilizado neste projeto opera com tensão de 3,3V e para isso é aplicado um divisor de tensão pois a alimentação do circuito é de 5V. No circuito, Figura 23, usamos um resistor de  $2,2k\Omega$ (1) e outro de  $1,5k\Omega$ (2) ligados ao pino RX do módulo Bluetooth(3) , o que gerou um nível de sinal aproximadamente de 3,1V.

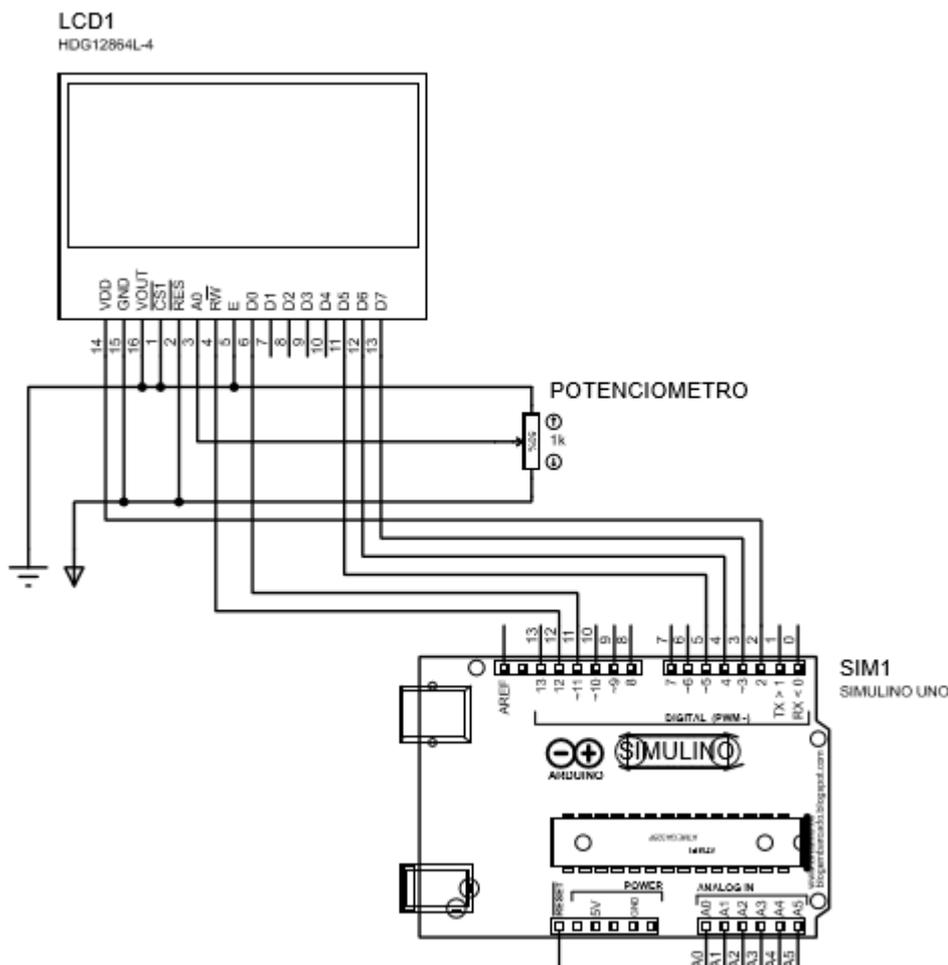


Figura 24 – Conexão do Display LCD ao Arduino.

Fonte: Os autores, 2016.

O display LCD empregado tem 16 colunas e 2 linhas. Para conexão são 16 pinos, porém, na conexão com o Arduino, Figura 24, apenas 4 pinos de dados (pinos digitais 2, 3, 4 e 5), e 2 pinos de controle (pinos digitais 11 e 12) são utilizados. Além disto é utilizado um potenciômetro de  $10k\Omega$  para ajuste do contraste ligado ao pino 3 do Display LCD.

Em seguida é apresentado como o protótipo montado realiza a medição de tensão e corrente do equipamento escolhido.

### 5.2.1.2 MEDIÇÃO DA TENSÃO COM UM ADAPTADOR CA-CA

A tensão CA é necessária para podermos calcular a potência real, potência aparente e o fator de potência. No caso da medição de corrente com um TC (transformador de corrente), o objetivo principal é condicionar a saída do adaptador CA para que atenda aos requisitos das entradas analógicas do Arduino que foi especificado anteriormente.

Primeiramente é necessário descobrir a tensão nominal do adaptador CA. Neste caso está sendo utilizado um adaptador CA de 6V (RMS) e neste caso a tensão de pico pode ser calculada pela fórmula 1:

$$V_{PICO\ COM\ CARGA} = V_{RMS} * \sqrt{2} = 6 * \sqrt{2} = \pm 8.485V \quad (1)$$

No entanto, devido à baixa precisão que os adaptadores CA-CA apresentam, e quando não são submetidos a uma carga a saída pode variar de 7V a 9V (RMS) sendo assim a tensão de pico pode chegar a conforme a fórmula 2:

$$V_{PICO\ SEM\ CARGA} = V_{RMS} * \sqrt{2} = 9 * \sqrt{2} = \pm 12.728V \quad (2)$$

A tensão de saída do transformador é proporcional a tensão CA de entrada. Os componentes eletrônicos de condicionamento de sinal precisam converter a saída do adaptador para uma forma de onda de tensão de pico positivo no máximo a 5V e uma tensão de pico negativa maior que 0V. Para isso é necessário reduzir a forma de onda da saída do adaptador CA-CA e adicionar um offset.

A forma de onda do adaptador CA-CA pode ser reduzida utilizando um divisor de tensão conectado através dos terminais do adaptador enquanto o offset pode ser adicionado utilizando uma fonte de tensão criada por outro divisor de tensão conectado através da fonte de energia do Arduino.

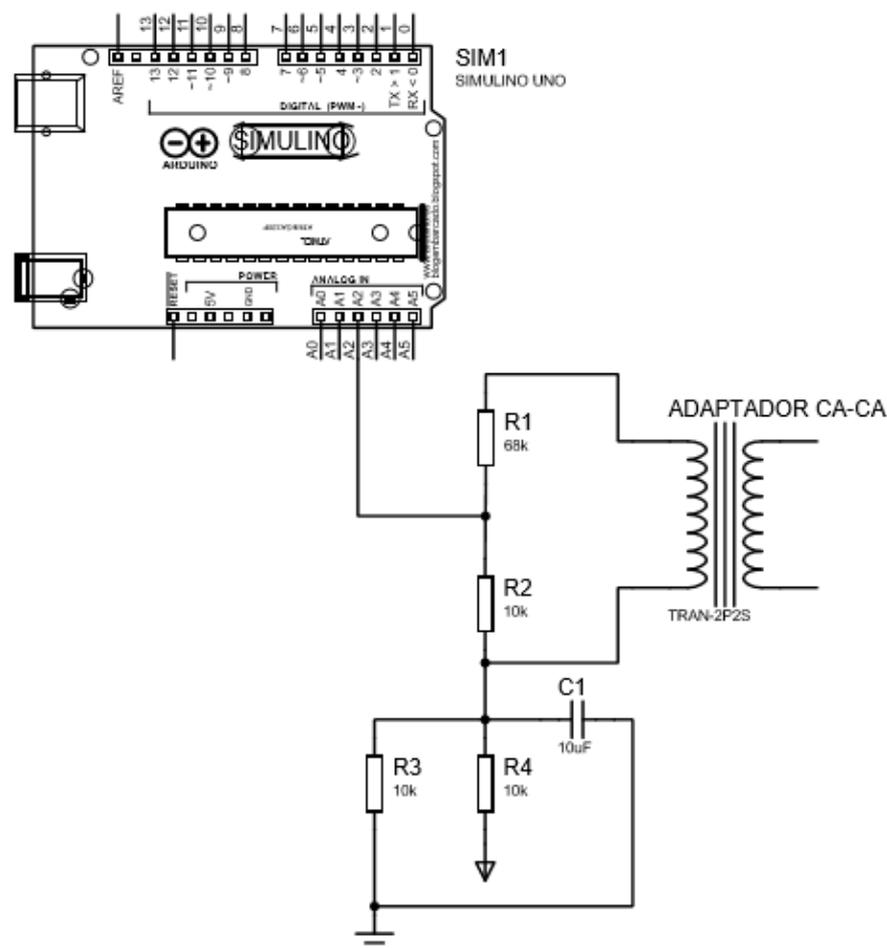


Figura 25 - Circuito para Medição de Tensão.

Fonte: Os Autores, 2016.

Os resistores R1 e R2, Figura 25, formam um divisor de tensão que reduzem a tensão do adaptador CA. Os seus valores devem ser escolhidos visando uma tensão de pico de aproximadamente 1V. A fórmula 3 utilizada para determinar a tensão de pico de saída:

$$V_{pico\ de\ saída} = \frac{R_1}{(R_1+R_2)} * V_{pico\ de\ entrada} = \frac{10000}{10000+68000} * 8.485 = 1.088V \quad (3)$$

O valor de 1V é utilizado pois deixa um intervalo que minimiza o risco de sobretensão. Como o Arduino está sendo alimentado em 5V a forma de onda resultante tem um pico positivo de  $2.5V + 1.088V = 3.588V$  e pico negativo de  $1.088V$  que cumpre com os requisitos de tensão de entrada analógica do Arduino.

Os resistores R3 e R4, Figura 25, são responsáveis pela adição do offset. A tensão de polarização proveniente dos resistores R3 e R4 deve ser metade da tensão

de alimentação do Arduino além disto, seus valores devem ser iguais. Foram utilizados resistores de 10kΩ pois com este valor é possível estabelecer níveis de tensão apropriadas além da diminuição do consumo de energia devido ao alto valor da resistência.

O capacitor C1, Figura 25, é responsável por fornecer uma baixa impedância para o aterramento do sinal CA, seu valor não é crítico sendo assim valores entre 1μF e 10μF são satisfatórios pois fornecem a baixa impedância exigida além de baixo custo e facilidade de aquisição com estas características.

### 5.2.1.3 MEDIÇÃO DA CORRENTE COM TRANSFORMADOR DE CORRENTE

Para se ligar um sensor não invasivo com um Arduino, o sinal de saída do sensor TC deve ser condicionada de modo que satisfaça os requisitos de entrada das entradas analógicas do Arduino, isto é, uma tensão positiva entre 0V e a tensão de referência do ADC que no nosso caso é de 5V. Na figura 26 é apresentado o circuito utilizado.

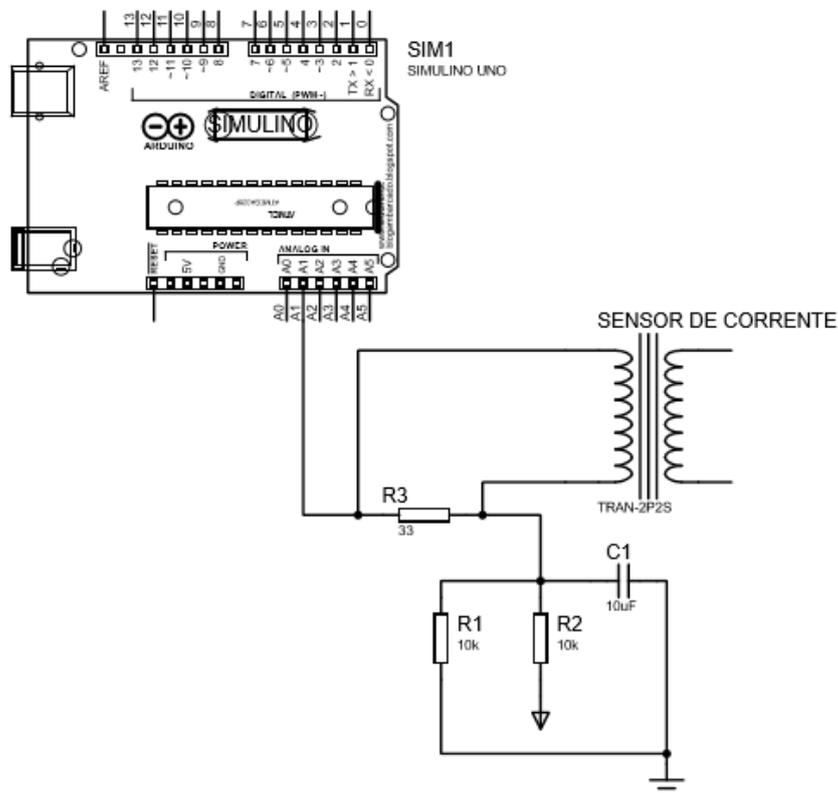


Figura 26 - Circuito para Medição de Corrente.

O sinal de corrente tem de ser convertido para um sinal de tensão utilizando um resistor conforme apresentado na Figura 26 pelo componente R3. O resistor completa ou fecha o circuito secundário do TC. O valor da carga é escolhido para proporcionar uma tensão proporcional à corrente secundária. O valor deste resistor deve ser baixo o suficiente para evitar a saturação do núcleo do TC.

O cálculo do resistor de carga segue os seguintes passos:

- 1) A máxima capacidade de corrente medida é 100A.
- 2) Converter a máxima corrente RMS para a corrente de pico do primário. Conforme a Fórmula 4.

$$I_{PICO\ PRIMÁRIO} = I_{RMS} * \sqrt{2} = 100A * \sqrt{2} = 141.4 A \quad (4)$$

- 3) Pico no secundário. Conforme a Fórmula 5 a seguir.

$$I_{PICO\ SECUNDÁRIO} = \frac{I_{PICO\ PRIMÁRIO}}{\text{Número de voltas}} = \frac{141.4}{2000} = 0.0707A \quad (5)$$

Para maximizar a resolução de medição, a tensão através da resistência de carga no pico de corrente deve ser igual a metade da tensão de referência analógica do Arduino. Assim, a resistência à carga ideal será conforme a Fórmula 6 apresentada.

$$R_{IDEAL} = \frac{\frac{\text{Tensão de referência do Arduino}}{2}}{I_{PICO\ SECUNDÁRIO}} = \frac{2.5}{0.0707} = 35.4\Omega \quad (6)$$

Como este valor de resistor não é comum, é indicado a utilização de um resistor de 33Ω.

As resistências R1 e R2, Figura 26, no diagrama de circuito acima são um divisor de tensão que fornece 2,5 V a fonte. Não existem valores críticos para a escolha dos valores das resistências R1 e R2 porém, devem ter valores iguais e quanto maior a resistência menor o consumo de energia em repouso.

## 5.2.2 SOFTWARE

Este capítulo apresenta o desenvolvimento e implementação do código no Arduino e do desenvolvimento do aplicativo no MIT App Inventor (MIT App Inventor, 2016).

### 5.2.2.1 COMUNICAÇÃO ENTRE O ARDUINO E O SENSOR

O software foi implementado no ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino. A linguagem de programação utilizada é C++. A Figura 28 exibe a interface apresentada ao usuário ao iniciar o programa.

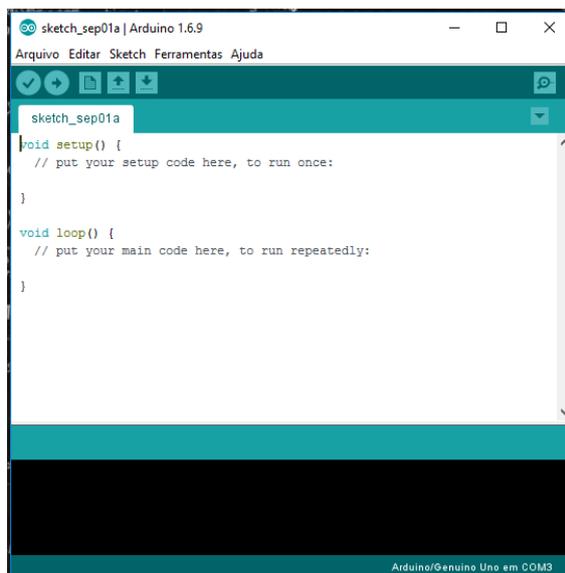


Figura 27 - Interface do Ambiente de Desenvolvimento Integrado.

Fonte: Os autores, 2016.

O código implementado neste projeto tem como objetivo:

- 1) Obter os dados provenientes das entradas analógicas do Arduino, onde estão conectados o sensor de corrente e o adaptador CA-CA.
- 2) Adquirir os valores referente ao consumo de energia de determinado dispositivo através de funções implementadas no software.
- 3) Exibição de dados em um display LCD 16x2 e transmissão dos dados via módulo Bluetooth para um aplicativo Android.

Como base para o desenvolvimento do software foi utilizado uma biblioteca já existente fornecida pela OpenEnergyMonitor. Nela existem funções relacionadas aos cálculos de corrente, tensão, fator de potência, potência real e potência aparente, além de funções para calibração. Na tabela número 4 segue o código do projeto em linguagem C++.

Tabela 4 - Código do Projeto.

```
//Carrega a biblioteca Sensor de corrente
#include "EmonLib.h"

//Carrega a biblioteca LiquidCrystal
#include <LiquidCrystal.h>

EnergyMonitor emon1;

//Define os pinos que serão utilizados para ligação ao display
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

float x=0;
float y;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //Obtenção dos valores de tensão
  emon1.voltage(2, 108.2, 1.7 );

  //Obtenção dos valores de corrente
  emon1.current(1, 60.6 );

  //Define o número de colunas e linhas do LCD
  lcd.begin(16, 2);
}
```

Tabela 4: Código do Projeto (Continuação).

```
void loop()
{
  //Funções da Biblioteca EmonLib
  //Obtenção dos valores de tensão
  emon1.voltage(2, 108.2, 1.7 );
  //Obtenção dos valores de corrente
  emon1.current(1, 60.6 );

  //Define o número de colunas e linhas do LCD
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop()
{
  //Funções da Biblioteca EmonLib
  emon1.calcVI(20,5000);
  float realPower    = emon1.realPower;
  float apparentPower = emon1.apparentPower;
  float powerFactor  = emon1.powerFactor;
  float supplyVoltage = emon1.Vrms;
  float Irms         = emon1.Irms;

  //Print de dados no monitor serial e envio de dados ao aplicativo
  Serial.print(apparentPower/1000);
  delay(1000);
  Serial.print(supplyVoltage);
  delay(1000);
  Serial.print(Irms);
  delay(1000);

  //Equação para obtenção do valor a pagar
```

Tabela 4: Código do Projeto (Continuação).

```
x=((apparentPower)/1000)*0.0002778)*0.49231;  
y=y+x;  
Serial.print(y);  
delay(1000);  
//Print de dados no Display LCD 16x2  
//Limpa a tela  
Serial.print(y);  
delay(1000);  
  
//Print de dados no Display LCD 16x2  
//Limpa a tela  
lcd.clear();  
//Posiciona o cursor na coluna 3, linha 0;  
lcd.setCursor(0, 0);  
//Envia o texto entre aspas para o LCD  
lcd.print("R$");  
lcd.print(y);  
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.print(apparentPower/1000);  
lcd.print("kW");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print(supplyVoltage);  
lcd.print("V");  
lcd.setCursor(9, 1);  
lcd.print(lrms);  
lcd.print("A");  
  
}
```

A partir do código apresentado na Tabela 4 é possível realizar a coleta dos valores de corrente e tensão, os valores referentes ao consumo são calculados

através das funções apresentadas sendo exibidas em um display LCD 16x2 e transmitido via módulo Bluetooth para um aplicativo Android.

Tendo estes dados foi possível dar início aos procedimentos de calibração da tensão e da corrente, sendo possível alterar os valores das funções `emon1.voltage` e `emon1.current` que são responsáveis pela leitura e ajuste dos valores para que sejam feitos os cálculos de consumo. A calibração se faz necessária para que os valores utilizados nos cálculos sejam exatos e assim possamos assegurar que o valor exibido referente ao valor a ser pago seja coerente. Segue na Figura 29 os equipamentos utilizados para a calibração.

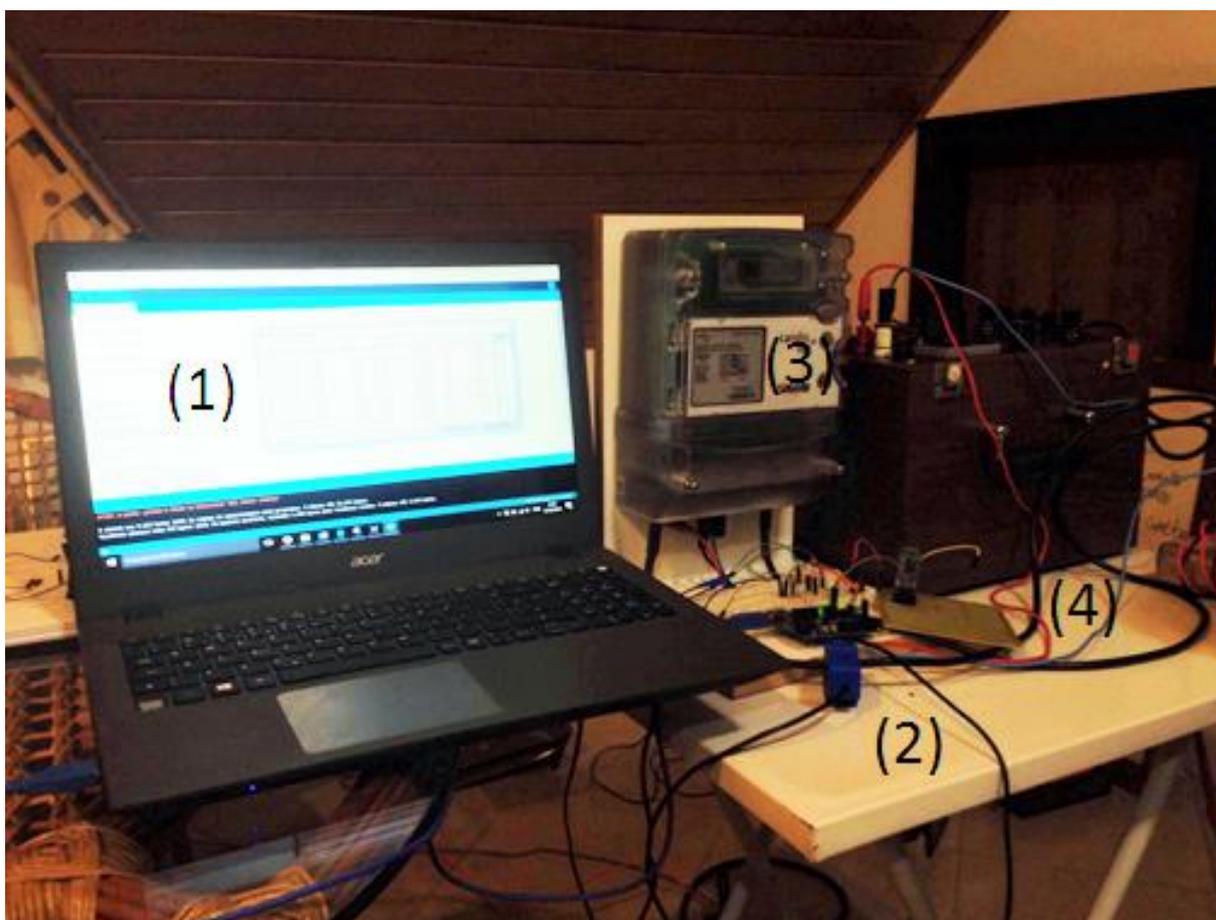


Figura 28 - Etapa de Calibração do Software.

Fonte: Os autores, 2016.

Na Figura 29 temos o ambiente de desenvolvimento do Arduino (1), o protótipo (2), medidor eletrônico trifásico "SAGA 1000" (3) e uma carga resistiva variável (4).

### 5.2.2.2 APLICATIVO ANDROID

O aplicativo foi desenvolvido utilizando a aplicação de código aberto MIT App Inventor criada pela Google e atualmente mantida pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). Através dele é possível criar aplicativos de software para o sistema operacional Android. A programação é feita através de interface gráfica e utilizada especialmente para desenvolver aplicativos para pesquisas.

Ao desenvolver o aplicativo levou-se em consideração que este deveria exibir de forma clara e direta os dados de custo do consumo, potência, tensão e corrente através de uma interface amigável e simples. Na Figura 30 a interface do aplicativo.



Figura 29 - Interface Aplicativo Android.

Fonte: Os autores, 2016.

Na figura 31 a seguir é apresentado o código de interface gráfica utilizado para desenvolver o aplicativo. O código consiste inicialmente em realizar a conexão com o módulo Bluetooth (1), quando o módulo estiver acionado o loop presente no Clock1 inicia a leitura e exibição de dados no aplicativo (2).

```

initialize global x to 0

when ListPicker1 .BeforePicking
do
  set ListPicker1 .Elements to BluetoothClient1 .AddressesAndNames

when ListPicker1 .AfterPicking
do
  set ListPicker1 .Selection to call BluetoothClient1 .Connect
  address ListPicker1 .Selection

when Clock1 .Timer
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    set Label1 .Text to call BluetoothClient1 .ReceiveText
    numberOfBytes call BluetoothClient1 .BytesAvailableToReceive

    if is number? Label1 .Text and get global x = 0 and Label1 .Text = 0
    then
      set Label2 .Text to Label1 .Text
      set global x to get global x + 1
      set Label6 .Text to get global x
    else if is number? Label1 .Text and get global x = 1
    then
      set Label3 .Text to Label1 .Text
      set global x to get global x + 1
      set Label6 .Text to get global x
    else if is number? Label1 .Text and get global x = 2
    then
      set Label4 .Text to Label1 .Text
      set global x to get global x + 1
      set Label6 .Text to get global x
    else if is number? Label1 .Text and get global x = 3
    then
      set Label5 .Text to Label1 .Text
      set global x to get global x - 3
      set Label6 .Text to get global x
  
```

Figura 30 - Código de Interface Gráfica do Aplicativo.

Fonte: Os Autores, 2016.

A Figura 32 apresenta os valores exibidos no display LCD 16x2 e no aplicativo Android.

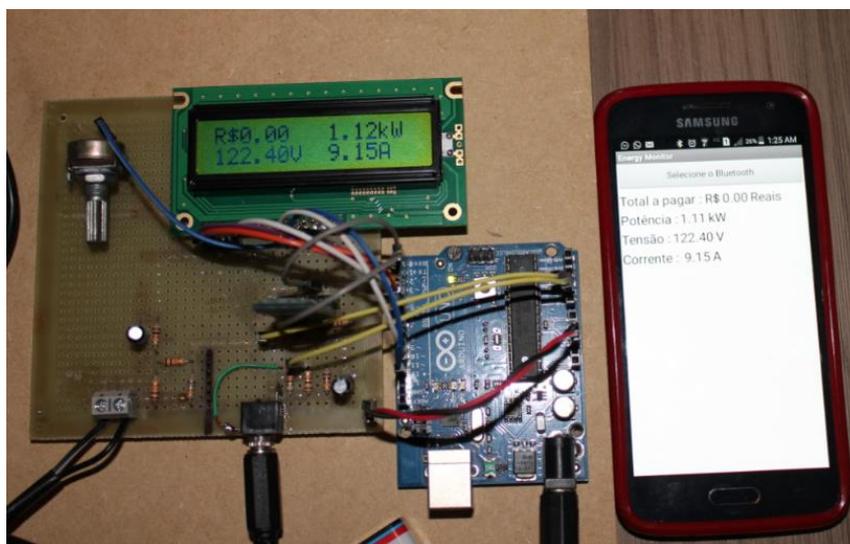


Figura 31 - Exibição de Valores no Display LCD e Aplicativo.

Fonte: Os Autores, 2016.

Estes valores mostram o funcionamento do sistema monitorando o consumo de um aquecedor de ambiente, é possível observar que o aplicativo apresenta os mesmos valores exibidos no display LCD 16x2 confirmando sua funcionalidade.

## 6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E DIFICULDADES ENCONTRADAS

Neste capítulo será apresentado os testes realizados no protótipo, coletando amostras e comparando com o medidor de energia SAGA 1000 do fabricante LandsGyr.

### 6.1 TESTES DO PROTÓTIPO

Esta fase dos testes tem objetivo de colher amostras da corrente e tensão a serem medidos para então calcular o gasto de energia de um determinado equipamento.

### 6.2 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO ERRO DO EQUIPAMENTO

Para a calibração do protótipo foi utilizado um medidor eletrônico trifásico “SAGA 1000” e uma carga resistiva variável, ambos fornecido pela COPEL, mostrados na Figura 33. Com essa carga variável ligada na rede conseguimos variar a corrente de 0 a 50 Amperes. Através do medidor de energia calibrado foi coletada uma série de amostras, variando a corrente de 1 até 35A com um acréscimo de 2A por amostra.



Figura 32 - Medidor Eletrônico e Carga Resistiva Variável.

Fonte: Os autores, 2015.

Para realizar a calibração, foi montado uma bancada de testes, Figura 29 página 51, comparando os dados fornecido pelo equipamento calibrado com o do protótipo, assim foi feito os devidos ajustes na programação do protótipo. Os resultados obtidos foram armazenados em uma planilha do Excel, apresentados na Tabela 05. Nesta planilha inseriu-se os dados de projeto como tensão, corrente e potência.

Com o objetivo de se estabelecer às características reais de funcionamento do medidor proposto, foram determinadas algumas condições de teste e avaliados seus resultados em termos de erro percentual, comparando o protótipo a um registrador comercial de energia elétrica. Os valores de erro obtidos foram ainda comparados aos padrões da norma NBR14519, para especificação de medidores eletrônicos de energia elétrica.

Os testes realizados tiveram as seguintes condições:

- Sinais de tensão e corrente senoidais e de mesma frequência igual a 60Hz;
- Carga resistiva variável;
- Energia calculada a partir do produto das tensões e correntes V e I.
- Frequência de amostragem de 1 amostras/segundo;
- Erro relativo percentual de acordo com a equação abaixo:

$$e(\%) = \frac{E_C - E_p}{E_C} * 100 \quad (7)$$

Sendo  $E_p$  a energia medida pelo protótipo e  $E_c$  a energia medida pelo registrador comercial. Da mesma forma foi calculado o valor do erro para a corrente e tensão do protótipo. Os valores obtidos de corrente e tensão, assim como os erros estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores Obtidos para Calibração.

Carga resistiva variável								
Corrente (A)			Tensão (V)			Potência (kW)		
SAGA 1000	Protótipo	Erro	SAGA 1000	Protótipo	Erro	SAGA 1000	Protótipo	Erro
1,13	1,18	4,24%	121,10	121,41	-0,26%	136,84	143,26	-4,69%
3,15	3,21	1,87%	121,82	121,90	-0,07%	383,73	391,30	-1,97%
5,18	5,38	3,72%	122,31	122,19	0,10%	633,59	657,40	-3,76%
7,01	7,21	2,77%	122,46	121,35	0,90%	858,41	874,93	-1,92%
9,1	9,3	2,15%	121,69	121,36	0,27%	1.107,34	1.128,65	-1,92%
11,06	11,41	3,07%	121,24	122,30	-0,88%	1.340,91	1.395,47	-4,07%
13,2	13,62	3,08%	122,44	122,39	0,04%	1.616,18	1.666,99	-3,14%
15,13	15,7	3,63%	122,00	121,24	0,62%	1.845,79	1.903,46	-3,12%
17,11	17,85	4,15%	121,76	122,43	-0,55%	2.083,31	2.185,30	-4,90%
19,17	19,73	2,84%	122,33	122,27	0,05%	2.345,16	2.412,37	-2,87%
21,05	21,87	3,75%	122,32	121,96	0,30%	2.574,87	2.667,21	-3,59%
23,11	23,7	2,49%	121,32	122,02	-0,58%	2.803,77	2.891,95	-3,14%
25,01	25,64	2,46%	121,43	121,98	-0,45%	3.037,03	3.127,69	-2,99%
27,1	27,8	2,52%	121,17	122,30	-0,93%	3.283,80	3.399,98	-3,54%
29,15	30,19	3,44%	122,30	121,66	0,52%	3.564,92	3.673,06	-3,03%
31,3	32,42	3,45%	121,28	121,51	-0,19%	3.796,12	3.939,30	-3,77%
33,11	34,04	2,73%	121,01	121,11	-0,08%	4.006,70	4.122,56	-2,89%
35,13	36,37	3,41%	122,11	121,78	0,28%	4.289,86	4.429,05	-3,24%

Fonte: Os autores, 2016.

Na Tabela 5 vemos que o menor erro para a corrente, tensão e potência foram respectivamente de 1,87%; 0,04% e 1,92%. Já os maiores erros encontrados para as mesmas grandezas foram de 4,24% para a corrente quando a o valor medido estava baixo, para a tensão o maior erro foi de 0,93% e para a potência 4,90%.

### 6.3 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para que fosse possível verificar se os resultados obtidos no protótipo estavam corretos, foi realizado uma serie de medições em outros equipamentos de uso residencial, com o objetivo de realizar as comparações dos valores encontrados no protótipo com valores obtidos pelo medidor de energia certificado e calibrado fornecido pela COPEL, do fabricante Landys Gyr, modelo SAGA 1000.

Após a calibração, foram realizados dois ensaios para verificar a veracidade das medidas obtidas pelo protótipo, neste ensaio foram utilizadas duas cargas resistivas conhecidas: aquecedor de ambiente e um secador de cabelo. Os valores

coletados são apresentados através da Tabela 6 e Tabela 7, estes valores são referentes às medições realizadas após as correções e ajustes realizados na fase de calibração do protótipo. A Figura 34 mostra o arranjo feito na bancada de teste para realizar os ensaios no aquecedor de ambiente e secador de cabelo.



Figura 33 - Medição Realizada no Aquecedor e Secador de Cabelo.

Fonte: Os autores, 2016.

Tabela 6 - Valores Obtidos do Aquecedor de Ambiente.

Aquecedor de Ambiente								
Corrente (A)			Tensão (V)			Potencia (kW)		
SAGA 1000	Protótipo	Erro	SAGA 1000	Protótipo	Erro	SAGA 1000	Protótipo	Erro
7,91	7,68	2,91%	127	129,45	-1,93%	1004,57	994,1825	1,03%
7,9	7,68	2,78%	127	127,54	-0,42%	1003,3	979,4884	2,37%
7,87	7,62	3,18%	127	127,64	-0,50%	999,49	972,5921	2,69%
7,87	7,69	2,29%	127	127,19	-0,15%	999,49	978,1159	2,14%
7,87	7,70	2,16%	127	128,32	-1,04%	999,49	988,0432	1,15%
7,87	7,68	2,41%	127	129,71	-2,14%	999,49	996,1923	0,33%
7,87	7,67	2,54%	127	128,58	-1,24%	999,49	986,2057	1,33%
7,87	7,68	2,41%	127	127,61	-0,48%	999,49	980,0634	1,94%
7,87	7,69	2,29%	127	129,05	-1,62%	999,49	992,4321	0,71%
7,87	7,68	2,41%	127	129,08	-1,64%	999,49	991,3559	0,81%
7,87	7,68	2,41%	127	129,59	-2,04%	999,49	995,2655	0,42%

Fonte: Os autores, 2016.

Tabela 7 - Valores Obtidos do Secador de Cabelo.

Secador de Cabelo								
Corrente (A)			Tensão (V)			Potencia (kW)		
SAGA 1000	Protótipo	Erro	SAGA 1000	Protótipo	Erro	SAGA 1000	Protótipo	Erro
14,37	14,01	2,49%	127	127,33	-0,26%	1824,99	1784,224	2,23%
14,37	14,02	2,47%	127	128,98	-1,56%	1824,99	1807,763	0,94%
14,37	14,16	1,43%	127	127,69	-0,54%	1824,99	1808,576	0,90%
14,37	14,08	2,04%	127	127,79	-0,63%	1824,99	1798,986	1,42%
14,37	14,01	2,52%	127	128,55	-1,22%	1824,99	1800,751	1,33%
14,37	14,01	2,50%	127	127,03	-0,02%	1824,99	1779,718	2,48%
14,37	14,06	2,15%	127	128,73	-1,36%	1824,99	1810,081	0,82%
14,37	14,16	1,47%	127	127,67	-0,53%	1824,99	1807,578	0,95%
14,37	14,07	2,06%	127	127,61	-0,48%	1824,99	1795,992	1,59%
14,37	14,10	1,91%	127	128,46	-1,15%	1824,99	1810,686	0,78%
14,37	14,16	1,43%	127	128,56	-1,22%	1824,99	1820,921	0,22%

Fonte: Os autores, 2016.

Após os ajustes realizados em nosso protótipo, é possível observar que os resultados apresentados estão dentro do esperado, pois antes da calibração realizada no protótipo, os erros estavam em média 5%. Nas Tabelas 6 e 7 é possível observar que o maior erro obtido na leitura de corrente foi menor que 3,18%, sendo que as médias do erro das amostras ficaram menores que 2,5%. Também foi possível observar que a maior diferença de tensão ocorreu no teste realizado com o secador de cabelo, diferença de 2,9 Volts, aproximadamente 2% de erro. Para os valores coletados de potência a média do erro foi de 1,30%.

#### 6.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Com o sistema sem carga conectada, o arduino gerava um ruído na entrada analógica, onde é feita a leitura da corrente, fazendo com que o sistema realizasse uma leitura incorreta. Para corrigir este problema, foi realizado alterações na programação do Arduino para que o mesmo fosse capaz de identificar um valor de corrente maior que o ruído e então começar a fazer o cálculo do consumo em kWh.

## 7 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este trabalho atingiu o objetivo principal, o de desenvolver um protótipo de medição do consumo de energia em tempo real, com custo acessível. O protótipo facilita a visualização dos dados e possibilita um melhor acompanhamento do consumo de energia, podendo ser usado para reduzir o desperdício de energia. Ao se conhecer o consumo atual dos equipamentos ligados na rede, o usuário poderá atuar de maneira proativa em busca da minimização do desperdício.

A solução adotada, com o sensor de corrente não invasivo para detecção de corrente e o módulo Bluetooth para comunicação, se apresentou como a de menor custo. Este protótipo apresentou uma performance confiável, com baixo custo de implementação e facilidade de manuseio, assim como a facilidade da visualização dos dados em um aplicativo, tendo atingido todos os objetivos principais do projeto proposto.

Os objetivos específicos foram atingidos com êxito. O microcontrolador Arduino funcionou conforme o esperado e através dele e dos sensores de tensão e corrente foi possível medir com eficiência o consumo de energia elétrica.

O medidor desenvolvido apresentou um resultado satisfatório nos testes, tomando como base um equipamento comercial (Medidor de energia residencial modelo SAGA 1000), onde se pode observar que os valores de tensão e corrente medidos pelo módulo estavam bem próximos dos observados no SAGA 1000. A taxa de erro foi de 3,1%, em média. Este erro está dentro do aceitável, porém os estudos em relação a eles devem continuar para que seja possível diminuir este erro de medição.

Os módulos de medição e de coleta de dados foram concluídos e testados. O projeto apresenta uma visão voltada para a sustentabilidade possibilitando ao usuário comum controlar seus gastos com energia.

Futuramente, é pretendido realizar melhorias visuais no protótipo a fim de que o protótipo possa ser considerado um produto e então comercializado. Outra proposta futura seria criar um banco de dados no aplicativo para que o mesmo possa ser disponibilizado e a partir dele criar metas de consumo para o consumidor. Também é interessante o incremento de mais sensores de corrente para o cálculo individual do consumo de várias cargas e também a intervenção no circuito, ou seja, ligar e desligar cargas através da rede wireless. Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de atingir

o objetivo principal proposto, um protótipo de medição do consumo de energia em tempo real, com custo acessível.

O preço alcançado foi de R\$76,00 enquanto que no mercado, o menor preço encontrado é de R\$90,00, porém este não tem funções de consumo em reais como o protótipo descrito neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia. 2010. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/>. Acesso em: 17/11/2015.

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. 2015. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/>. Acesso em: 17/11/2015.

ALECRIM, E. **Tecnologia Bluetooth**. 2011. Disponível em < <http://www.infowester.com/bluetooth.php>> acesso em: 25/15.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório de Gestão**. 2012. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf>>. Acesso em: 06/2015.

ARAUJO, JOSIAS MATOS DE; **A transformação do setor elétrico mundial. Smart Grid Fórum/2013**. São Paulo, 2013.

ARDUINO, **What is arduino?** 2015. Disponível em <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 11/2015.

BEM-TOVIM, Erez. "ITU G.hn - Broadband Home Networking". In Berger, Lars T.; Schwager, Andreas; Pagani, Pascal; Schneider, Daniel M. **MIMO Power Line Communications: Narrow and Broadband Standards, EMC, and Advanced Processing. Devices, Circuits, and Systems**. CRC Press. 2014.

BEN. Balanço Energético Nacional. 2015. Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso em: 08/2016.

BRITISHGAS. **SmartEnergy**. 2015. Disponível em <<http://www.britishgas.co.uk/>>. Acesso em: 25/10/2015

BULHMAN, H. J. ; CABIANCA, L. A. **Tutorial Lan/Man Wireless I**. 2006. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman1/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman1/pagina_2.asp)>, acesso em 11/2015.

CCI. **Power Meters**. 2015. Disponível em <<http://www.c-c-i.com.au/>>, Acesso em: 25/10/2015

CERQUEIRA, Niander Aguiar. SOUZA, Victor Barbosa de. **Energia fotovoltaica como uma solução para crise energética: análise da viabilidade técnica de sua implantação em edifício de uma instituição de ensino superior na cidade de Itaperuna- RJ**. VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. ISSN 1984-9354. Faculdade Redentor, 2012.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Curitiba: COPEL, 2005. Acesso em: 06/2015.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **História da energia elétrica**. 2015. Disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp>> Curitiba: COPEL, 2015. Acesso em: 06/2015.

DAHLE, David. 2010. **Samuel Gardiner's lamp-hour meter (1872). Dave's old Watthour webpage** 2010. Disponível em <<http://watthourmeters.com/others/gardiner.html>> . Acesso 21/11/15

EBC, Empresa Brasileira de Comunicação, **Entenda atual crise energética que o Brasil enfrenta, 2015**. Disponível em <<http://radios.ebc.com.br/revista-brasil/edicao/2015-01/sistema-eletrico-brasileiro-opera-no-limite>>. Acesso 21/11/15

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, **Balço Energético**. 2015. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br>> . Acesso 21/11/15

ESP8266, Datasheet do Módulo Wireless. 2015. Disponível em <[www.cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471](http://www.cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471)>. Acesso 20/08/2015.

FILIPPO, Guilherme. **Entenda atual crise energética que o Brasil enfrenta**. 2015 Disponível em <<http://radios.ebc.com.br/revista-brasil/edicao/2015-01/sistema-eletrico-brasileiro-opera-no-limite>>. Acesso em: 06/2015.

FRIAS, R. N. **Tutorial Zigbee**. 2004. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_1.asp)>. Acesso em: 11/2015.

GTZ – Agência de Cooperação Técnica Alemã. 2010. Acesso em: 17/11/2015.

HC-05, User Instructional Manual HC Serial Bluetooth Products. 2015. Disponível em <[www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/hc\\_hc-05-user-instructions-bluetooth.pdf](http://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/hc_hc-05-user-instructions-bluetooth.pdf)>. Acesso 20/08/2015.

IHOUSE, **Snapgrid**. 2015 Disponível em: <<http://www.ihouse.com.br/>>. Acesso em: 25/10/2015.

JOSUÉ, João Gil. 2010. **Projeto e Construção de um sistema de monitorização e Energia eléctrica para uma Habitação**. 2010.

KRON, **Medidores de energia**. 2015. Disponível em <<http://www.kron.com.br/br/index.php>>. Acesso em: 25/10/2015.

MENKES, Monica. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade**. 2004. 277 f. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2004.

MIRANDA, Jeferson N. **Automação Residencial Voltada para Smart Grid**, 2011. Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, v. 1, p. 1-6, jul 2011.

MIT App Inventor. 2016. Disponível em <<http://appinventor.mit.edu/explore/front.html>>. Acesso em 13/08/16

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Eficiência Energética e Conservação de Energia**. 2015. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>>.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2001. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em 21/11/15

Mobiledev & Design, **Bluetooth Moves Beyond The Earpiece To Rule Other Applications**. 2010. Disponível em < <http://mobiledevdesign.com/learning-resources/bluetooth-moves-beyond-earpiece-rule-other-applications>>. Acesso em 23/11/2015.

P3I International. **Kill a Watt**. 2015. Disponível em <<http://www.p3international.com/products/p4400.html>> Acesso em: 25/10/2015

RIVEIRA, Ricardo; ESPOSITO, Alexandre Siciliano; TEIXEIRA, Ingrid. **Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local**. 2013 Disponível em <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4002.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4002.pdf)>. Acesso em 22/11/15.

RUFINO, Nelson Murilo de O. **Segurança em redes sem fio**. 3ª Edição: São Paulo: Editora Novatec, 2011.

SASSON, Jean Marc. **Eficiência Energética e Meio Ambiente**. Ambiente Energia, 2011. Disponível em:<<http://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/05/eficiencia-energetica-meio-ambiente/11412>>. Acesso em: 15/11/2015.

SIEMENS. **Smart Grid**. 2015. Disponível em <<http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/Pages/Default.aspx>>

UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. Medidas Elétricas. Minas Gerais: 2010. Disponível em: . Acesso em maio de 2016.

YHDC. **100A Split core current transformer SCT-013**. 2015 Disponível em <<http://www.yhdc.com/en/product/320/>>. Acesso em 22/11/2015.