

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**DOUGLAS NICOLAS NEGRELLO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA E EFEITOS DA  
GERAÇÃO DE HARMÔNICOS NA UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS  
DA INFORMAÇÃO EM REDES ZIGBEE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2017**

**DOUGLAS NICOLAS NEGRELLO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA E EFEITOS DA  
GERAÇÃO DE HARMÔNICOS NA UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS  
DA INFORMAÇÃO EM REDES ZIGBEE**

Trabalho de Conclusão de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Ms. Clider Adriane de Sousa Silva

**CURITIBA**

**2017**

Douglas Nicolas Negrello

## Análise de viabilidade técnica e econômica e efeitos da geração de harmônicos na utilização de tecnologias da informação em redes ZigBee

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

Curitiba, 09 de junho de 2017.

---

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.  
Coordenador de Curso  
Engenharia de Controle e Automação

---

Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Clider Adriane de Sousa Silva, Ms.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Clider Adriane de Sousa Silva, Ms.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gilberto Wolff, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Roberto Cesar Betini, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

NEGRELLO, Douglas Nicolas. **Análise de viabilidade técnica e econômica e efeitos da geração de harmônicos na utilização tecnologias da informação em redes ZigBee**. 2017. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2017.

Este trabalho de conclusão de curso consistirá de dois estudos que irão avaliar o desempenho de dispositivos de medição (temperatura, corrente, tensão elétrica e consumo de água) utilizando redes ZigBee. O primeiro estudo irá avaliar se os sensores de tensão e corrente sofrem influência de distorções harmônicas nas suas medições por meio de cargas não lineares. Para validação do estudo, os resultados obtidos serão comparados com os valores medidos por um osciloscópio, utilizado como instrumento padrão de medida. O segundo estudo irá atestar a viabilidade dos sensores em um ambiente residencial, realizando medições de temperatura, corrente, tensão elétrica, e consumo de água e comparando os resultados medidos com os equipamentos padrões da residência. Estes dispositivos utilizam transmissão de dados via rádio por meio de módulos chamados Xbee, baseados na plataforma Arduino, utilizando a rede ZigBee como protocolo de comunicação.

Palavras chaves: ZigBee, Xbee, Arduino, Harmônicos.

## ABSTRACT

NEGRELLO, Douglas Nicolas. **Technical and economical feasibility analysis and effects of the generation of harmonics in the use of information technologies in ZigBee networks.** 2017. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2017.

This work will consist of two studies that will evaluate the performance of measuring devices (temperature, current, voltage, and water consumption) using ZigBee networks. The first study will evaluate if the voltage and current sensors are influenced by harmonic distortions in their measurements by means of non-linear loads. To validate the study, the obtained results will be compared with the values measured by an oscilloscope, used as standard measurement instrument. The second study will attest to the viability of the sensors in a residential environment, performing measurements of temperature, current, voltage, and water consumption and comparing the measured results with the standard equipment of the residence. These devices use radio data transmission through modules called Xbee, based on the Arduino platform, using the ZigBee network as a communication protocol.

Key words: ZigBee, Xbee, Arduino, Harmonics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual no consumo de energia elétrica mensal em uma residência..	10
Figura 2– Consumo médio per capita de água nas residências de Curitiba. ....	11
Figura 3 – Plataforma Arduino – Modelo MEGA 2560 .....	18
Figura 4 – Especificações técnicas da plataforma Arduino – Modelo MEGA.....	19
Figura 5 – Módulo <i>Xbee Series 2</i> .....	22
Figura 6 – Comparativo entre os módulos <i>Xbee Series 1</i> e <i>Series 2</i> .....	22
Figura 7 – Topologia estrela.....	23
Figura 8 – Topologia em árvore. ....	24
Figura 9 – Topologia completa.....	25
Figura 10 – Onda com a presença de harmônicos.....	26
Figura 11 – Tela inicial do software de monitoramento .....	30
Figura 12 – Tela de configuração do software de monitoramento.....	31
Figura 13 – Dispositivo de monitoramento de temperatura e luminosidade – visão superior .....	32
Figura 14 – Dispositivo de monitoramento de temperatura e luminosidade – visão lateral .....	33
Figura 15 – Sensor de fluxo de água YF-S201 .....	33
Figura 16 – Módulo de monitoramento de consumo de água .....	34
Figura 17 – Módulo de monitoramento de tensão elétrica .....	35
Figura 18 – Módulo de corrente não invasivo SCT-013 .....	35
Figura 19 – Módulo de disparo de tiristores – Modelo Rt380t.....	36
Figura 20 – Ligação das fases do motor e da fonte CC no módulo de disparo.....	37
Figura 21 – Motor de indução do tipo gaiola de esquilo e suas características .....	37
Figura 22 – Ligação das fases do motor com o banco de tiristores .....	38
Figura 23 – Identificação dos contatos dos tiristores e ligação com o módulo de disparo .....	39
Figura 24 – Módulo coordenador .....	40

Figura 25 – Detalhe da montagem do sensor de corrente não invasivo .....	41
Figura 26 – Montagem do módulo de medição de corrente e tensão elétrica. ....	41
Figura 27 –Montagem do módulo de medição do consumo de água .....	42
Figura 28 –Montagem do módulo de medição de temperatura .....	42
Figura 29 –Visão geral do circuito de análise de harmônicos .....	43
Figura 30 – Medição de corrente do circuito com 3,9V na fonte CC .....	44
Figura 31 – Medição de corrente do circuito com 4,2V na fonte CC .....	46
Figura 32 – Medição de corrente do circuito com 4,5V na fonte CC, 2017. ....	47
Figura 33 – Medição de corrente do circuito com 4,8V na fonte CC .....	48
Figura 34 – Medição de corrente do circuito com 5,3V na fonte CC .....	49
Figura 35 – Medição inicial de energia (medidor de energia).....	50
Figura 36 – Medição final de energia (medidor de energia) .....	51
Figura 37 – Gráfico de evolução do consumo de energia elétrica (kWh) .....	52
Figura 38 – Visão geral dos equipamentos de medição de temperatura .....	53
Figura 39 – Montagem do sistema de medição do consumo de água .....	55
Figura 40 – Medição inicial do consumo de água .....	56
Figura 41 – Medição final do consumo de água.....	56
Figura 42 – Gráfico de evolução no consumo de água (litros) .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução no uso de tecnologias de automação em residências .....	17
Tabela 2 - Comparativo entre os padrões de redes sem fio.....	20
Tabela 3 - Resultados obtidos pelo sensor com 3,9V na fonte CC .....	44
Tabela 4 - Resultados obtidos pelo sensor com 4,2V na fonte CC .....	46
Tabela 5 - Resultados obtidos pelo sensor com 4,5V na fonte CC .....	47
Tabela 6 - Resultados obtidos pelo sensor com 4,8V na fonte CC .....	48
Tabela 7 - Resultados obtidos pelo sensor com 5,3V na fonte CC .....	49
Tabela 8 - Resultados obtidos pelo sensor de temperatura. ....	53
Tabela 9 - Custos de aquisição dos componentes.....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 TEMA .....	10
1.1.1 Delimitação do Tema .....	12
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	13
1.3 OBJETIVOS .....	13
1.3.1 Objetivo Geral .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
1.4 JUSTIFICATIVA .....	14
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL .....	16
2.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO SEM FIO E TECNOLOGIAS .....	18
2.2.1 Arduino .....	18
2.2.2 Protocolo ZigBee .....	20
2.2.2.1 Dispositivos da rede ZigBee .....	21
2.2.3 Módulos Xbee .....	21
2.2.4 Topologia da rede .....	23
2.3 INTRODUÇÃO A HARMÔNICOS .....	25
2.3.1 Origem dos harmônicos .....	27
2.3.2 Efeitos dos harmônicos na rede .....	27
2.3.3 Estudos dos efeitos de harmônicos em redes com protocolo Zigbee .....	28
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	29
3.2 SENSORES DE MEDIÇÃO .....	32
3.2.1 Módulo para monitoramento de luminosidade e temperatura .....	32

3.2.2 Módulo para monitoramento do consumo de água.....	33
3.2.3 Módulo para monitoramento de corrente e tensão elétrica.....	34
3.2.3.1 Estudo sobre efeitos da geração de harmônicos.....	36
3.2.4 Módulo coordenador.....	39
3.3 ALOCAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE SENSORIAMENTO.....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>43</b>
4.1 EFEITOS DA GERAÇÃO DE HARMÔNICOS .....	43
4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE .....	50
4.2.1 Consumo de energia elétrica .....	50
4.2.2 Temperatura .....	52
4.2.3 Consumo de água.....	54
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA

A história mostra que o homem, desde os primórdios de sua existência, sempre esteve em busca de mecanismos que viessem a reduzir o esforço praticado durante suas atividades e conseqüentemente, aumentando o seu conforto. O uso e aperfeiçoamento da energia elétrica foi um marco para o desenvolvimento da sociedade como um todo. Atualmente, observa-se uma demanda cada vez maior pelo uso tanto da energia elétrica quanto de recursos hídricos no que tange à ambientes residenciais, visto que a facilidade na compra de eletrodomésticos se tornou mais acessível.

A Figura 1 apresenta dados referentes a uma pesquisa feita pela Eletrobras em 2005 que mostra a distribuição do consumo de energia elétrica mensal em uma residência por eletrodoméstico, em média, no Brasil (ELETROBRAS, 2007).

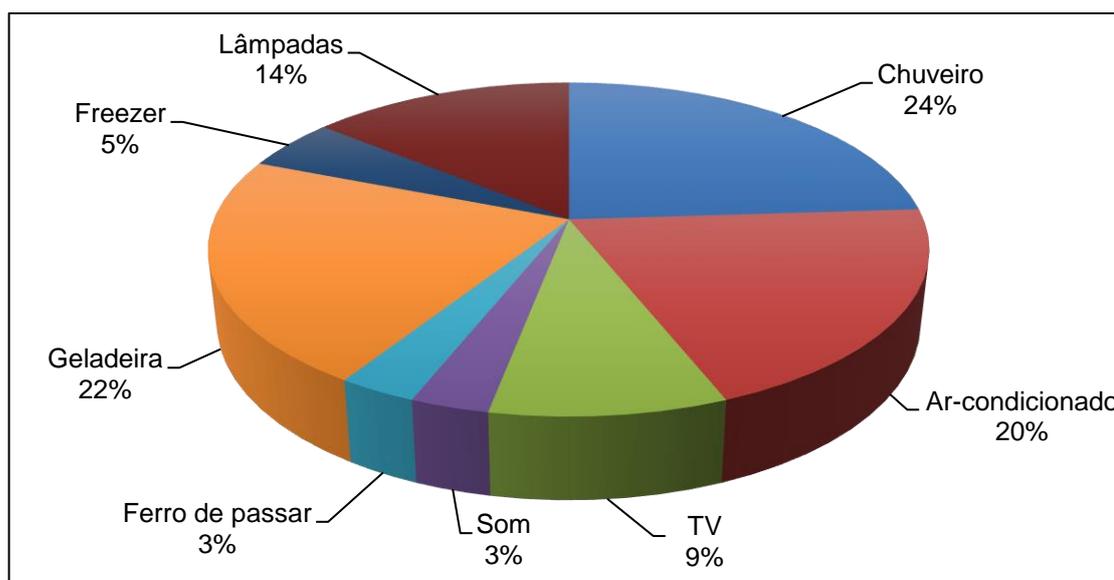


Figura 1—Percentual no consumo de energia elétrica mensal em uma residência.

Fonte: Adaptado de ELETROBRAS (2007).

A análise do gráfico visto acima permite concluir que os equipamentos que mais influenciam no consumo de energia são o chuveiro (24%), a geladeira (22%), o ar-condicionado (20%) e a iluminação (14%).

Há de se ressaltar que diferentes variáveis podem vir a influenciar este consumo, dentre as quais pode-se destacar o ambiente climático, o tipo de construção

da residência, o índice de eficiência dos equipamentos eletroeletrônicos, o tamanho da família residente na moradia bem como os modos de utilização (leia-se hábitos) dos usuários. Há de se atentar também ao fato de que esta distribuição não é constante em todas as regiões brasileiras, podendo apresentar variações no uso de cada equipamento em cada região.

Em relação ao consumo de água, dados obtidos entre os anos de 2003 a 2013 a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2013) na cidade de Curitiba revelaram que este aumentou significativamente durante o período.

A Figura 2 mostra a evolução no aumento do consumo médio per capita (litros por habitante ao dia) de água por consumidores residenciais durante o período mencionado.

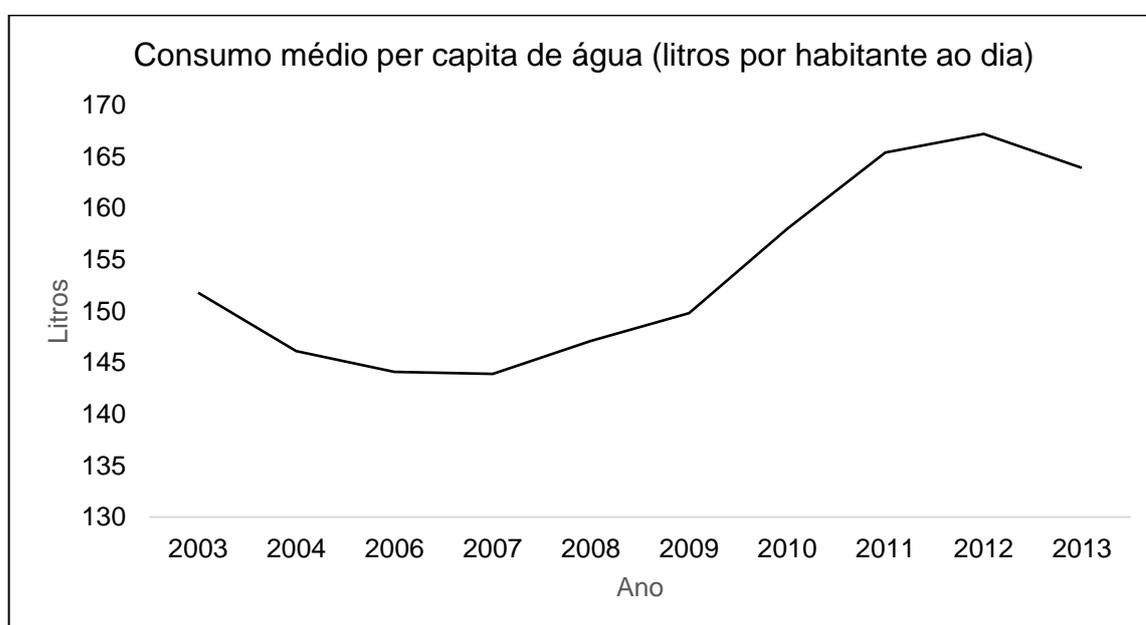


Figura 2– Consumo médio per capita de água nas residências de Curitiba.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2013.

Portanto, tendo em vista os dados mostrados nos gráficos acima mencionados, é de interesse para o consumidor que um detalhamento sobre o consumo dentro de sua residência esteja disponível de forma fácil, para que assim este possa monitorar e reduzir o uso sobre os elementos que mais consomem energia ou água.

A utilização de um sistema de monitoramento sem fio permite uma maior comodidade para o consumidor, através do uso de sensores que enviam em tempo

real os dados de consumo de energia e de água. Com isso, o consumidor pode conhecer melhor seus hábitos e assim, planejar e reduzir seus gastos.

Basicamente, um sistema (ou rede) de monitoramento sem fio consiste na utilização de dispositivos alocados em um determinado espaço, transmitindo informações para um processador central. Este processador central, também chamado de coordenador, é o responsável pelo recebimento, armazenagem e processamento das informações recebidas pelos dispositivos que irão realizar o sensoriamento dos dados escolhidos (luminosidade, água, temperatura, etc.), chamados de endnodes (ZAMBIANCO, 2010).

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Neste trabalho será avaliado o consumo de água, tensão, corrente elétrica e medição da temperatura de uma residência por meio de um sistema de monitoramento sem fio utilizando módulos *XBee*, comparando-o posteriormente com as medições realizadas pelos próprios medidores da residência (hidrômetro e medidor de energia), avaliando se os resultados obtidos são semelhantes e com isto verificar a viabilidade deste sistema para o usuário.

Em relação ao dispositivo de medição de temperatura, o mesmo será colocado no interior da residência, fazendo a aferição da temperatura por um determinado período de tempo. Paralelamente, será utilizado um multímetro como dispositivo padrão para comparação e validação dos resultados.

Concomitantemente, será avaliado, por meio de um circuito gerador de harmônicos, o comportamento dos módulos de medição frente a interferências causadas por geração de harmônicos, apresentando ao final do trabalho o desempenho dos dispositivos frente a esses distúrbios.

Para a mensuração dos dados serão utilizados sensores (para medição de energia elétrica, água, temperatura) desenvolvidos pela RELM Chatral Telecom, bem como o software de monitoramento também oferecido pela empresa. Estes dispositivos utilizam dentro de seus módulos o protocolo *ZigBee*, usado como alternativa aos protocolos de comunicação sem fio já existentes, tendo como características o fato de ser um protocolo aberto a comunidade, baixo consumo de energia, alcance de até 100 metros, e baixa taxa de transferência de dados (velocidades de até 250 kbit/s) (ZAMBIANCO, 2010).

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Em relação ao problema da pesquisa, o desafio será avaliar se os dispositivos serão capazes de efetuarem medições condizentes aos dos medidores padrão, tanto na realização do estudo de análise de viabilidade (comparando com os medidores de água, luz e temperatura na residência), bem como na avaliação da performance do dispositivo na transmissão de dados em redes ZigBee sob influência de distorções harmônicas na rede.

## 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos pretendidos com o desenvolvimento deste trabalho serão explanados nos tópicos a seguir.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Validar tanto a viabilidade técnica quanto econômica de um sistema de monitoramento do consumo energético (luz, tensão, corrente e temperatura) e de água para uma residência, mostrando ao consumidor final os dados referentes ao consumo dos pontos monitorados bem como o local ao qual se encontram tais sensores, além de atestar o comportamento dos dispositivos de medição de corrente e tensão elétrica frente aos efeitos provocados por harmônicos causados por cargas não lineares.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para que este estudo proposto tenha êxito, os objetivos específicos a serem executados serão:

- Apresentar como funciona a rede sem fio com os dispositivos fornecidos pela RELM Chatral, suas vantagens bem como o software utilizado para monitoramento.
- Obter as medições referentes aos sensores e transportá-los a uma base de dados que será analisada posteriormente;
- Verificar a viabilidade técnica e econômica dos sensores de tensão e corrente elétrica, temperatura e consumo de água em uma residência, comparando as medições encontradas com dispositivos padrões (medidores de energia e água, multímetro) e discutir os resultados obtidos;

- Analisar o comportamento do sensor de corrente e tensão elétrica sob efeitos de harmônicos na rede utilizando cargas não lineares (tiristores em conjunto com um motor elétrico) comparando as medições com um dispositivo padrão já validado (osciloscópio) em 5 faixas de operação do motor elétrico.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que as tarifas incidentes sobre a luz e a água aumentaram consideravelmente nos últimos anos (CIDADES, 2015), é de interesse para o consumidor que este tenha em suas mãos um relatório detalhado sobre o consumo de cada dispositivo em sua residência. Com isto será possível identificar e controlar quais elementos estão consumindo mais, gerando benefícios tanto para o bolso do usuário no fim do mês, quanto para a questão ambiental (leia-se economia de energia).

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, será realizado um estudo teórico sobre de redes sem fio, tanto da parte de hardware quanto da parte de software, analisando como a comunicação entre a central e os sensores é efetivamente realizada.

Com o embasamento teórico concluído, será realizado a montagem e configuração dos sensores para que os dados iniciais de vazão de água, luminosidade, tensão, corrente elétrica e temperatura sejam medidos.

Estas medições serão primeiramente realizadas em uma residência com somente 3 moradores durante um período de tempo (cerca de 9 horas para o consumo de energia elétrica e 6 horas para o consumo de água). Concomitantemente, será verificado também o consumo nos indicadores da própria residência (hidrômetro e medidor de energia elétrica).

Em paralelo, será analisado o comportamento do sistema quando harmônicos são gerados na rede, estudando a influência destes nas medições realizadas durante os experimentos, pois estes harmônicos podem gerar ressonâncias que afetam a grandeza medida. Serão realizadas medições em 5 faixas de operação do motor elétrico que irá gerar estas distorções harmônicas, avaliando o comportamento de diferentes formas de onda. O objetivo aqui será quantificar até qual ponto o sistema

pode trabalhar sem que as medições apresentem distorções quando comparadas com o medidor padrão.

Concluídas estas etapas, as medições obtidas serão transportadas para uma base de dados. Esta base de dados será utilizada para estudar e analisar a viabilidade técnica e econômica dos sensores utilizados neste trabalho.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo irá abordar a introdução acerca do tema, explicando a proposta do trabalho a ser desenvolvido e suas justificativas. O segundo capítulo contém os estudos bibliográficos sobre redes sem fio, sistemas de monitoramento residencial e estudos correlatos sobre harmônicos em redes ZigBee. O terceiro capítulo irá apresentar tanto o sistema de monitoramento quanto a residência onde o equipamento será utilizado, bem como o método para avaliação dos efeitos da geração de harmônicos sobre os dispositivos. O quarto capítulo será feita a análise dos dados coletados pelos sensores e a validação do sistema proposto. No quinto capítulo serão feitas as conclusões acerca do que foi desenvolvido e sugestões para trabalhos futuros. Por fim, seguem-se as referências bibliográficas e os anexos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente, o mundo enfrenta diversos desafios no que se refere a redução do consumo de energia. Ao mesmo tempo, foram criadas soluções tecnológicas que auxiliam no monitoramento deste consumo, dentre elas, pode-se citar a comunicação sem fio, indicada para aplicações residenciais e mais recentemente nas industriais. Com base nisto, serão apresentados neste capítulo os conceitos e definições que envolvem tanto os equipamentos utilizados no desenvolvimento do trabalho, quanto do levantamento teórico para validação dos resultados.

### 2.1 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

De acordo com a Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial (AURESIDE, 2014), a automação residencial é definida como um conjunto de sistemas que tem como função trazer comodidade e benefícios nos quesitos de segurança (utilização de câmeras com acesso remoto), conveniência (acendimento automático de luzes), acessibilidade (controle de sistemas por meio de gestos ou som), economia de energia (utilização da energia onde e quando necessária).

Um outro termo largamente utilizado para o mesmo conceito é a “domótica”. Uma definição bastante sucinta deste termo é dada pela Associação Espanhola de Domótica (Cedom).

Domótica é a automatização e o controle aplicados à residência. Esta automatização e controle se realizam mediante o uso de equipamentos que dispõem de capacidade para se comunicar interativamente entre eles e com capacidade de seguir as instruções de um programa previamente estabelecido pelo usuário da residência e com possibilidades de alterações conforme seus interesses. Em consequência, a domótica permite maior qualidade de vida, reduz o trabalho doméstico, aumenta o bem-estar e a segurança, racionaliza o consumo de energia e, além disso, sua evolução permite oferecer continuamente novas aplicações (MURATORI, BÓ, p. 1, 2011).

As primeiras tentativas para implementação dessa nova tecnologia surgiram na década de 70, quando foram criados os módulos ditos “inteligentes”, que enviavam seus comandos com o auxílio da própria rede elétrica da residência, permitindo ao usuário controlar remotamente algum equipamento.

Tratava-se, porém, de um sistema extremamente simples e que não permitia uma integração plena com outros sistemas. Esta situação só veio a mudar com a

popularização dos computadores, da internet e dos celulares móveis, que permitiram que essa tecnologia pudesse ter uma maior aceitação frente ao público consumidor (MURATORI, BÓ, 2011).

Em países de primeiro mundo, houve uma evolução significativa no cenário da automação residencial, consequência da popularização de diferentes tecnologias, bem como a oferta cada vez mais irrestrita a sistemas de comunicação com acesso a redes banda larga.

De acordo com Muratori e Bó (2011), pesquisas realizadas nos Estados Unidos sobre o uso da automação em residências revelam que:

- Sistemas de automação que tenham um viés voltado a sustentabilidade, economia de energia e uso consciente de recursos naturais estão se tornando cada vez mais populares;
- Mais de 80% dos construtores revelam que o uso de sistemas de automação e controle em residências representam um grande diferencial mercadológico;
- Sistemas como monitoramento a distância, controle de iluminação e homecare estão despontando como as tecnologias que devem apresentar o crescimento mais significativo nos próximos anos.

Para efeitos práticos, a Tabela 1 apresenta a rápida evolução no uso de sistemas de automação em residências norte americanas.

Tabela 1- Evolução no uso de tecnologias de automação em residências

Tecnologia	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Cabeamento estruturado	37%	45%	46%	46%	50%	49%	48%
Monitoramento de segurança	27%	34%	29%	29%	31%	28%	29%
Home theater	14%	20%	21%	18%	21%	18%	17%
Iluminação automatizada	6%	7%	9%	6%	6%	9%	11%
Automação residencial	5%	5%	7%	4%	8%	8%	11%
Gerenciamento de energia	6%	10%	10%	7%	9%	12%	14%

Fonte: Adaptado de Knott, 2016.

## 2.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO SEM FIO E TECNOLOGIAS

### 2.2.1 Arduino

A plataforma Arduino, segundo McRoberts (2011), é definida como um sistema integrado com a capacidade de interação com o ambiente através de software e hardware. É composta por uma placa com entradas e saídas (I/O) tanto digitais quanto analógicas, possibilitando que este trabalhe como interface entre um computador e os dispositivos ao qual estão conectados, podendo ser utilizado tanto para leitura quanto para acionamento de outros equipamentos. Em relação as entradas, os componentes podem ser botões, sensores, potenciômetros, etc. Já em relação aos componentes de saída, estes podem ser displays, motores, atuadores, entre outros.

A Figura 3 mostra o modelo da plataforma Arduino utilizado no desenvolvimento deste trabalho, a MEGA 2560, na qual observa-se na parte inferior as entradas analógicas e nas partes superior e lateral direita, as portas digitais.

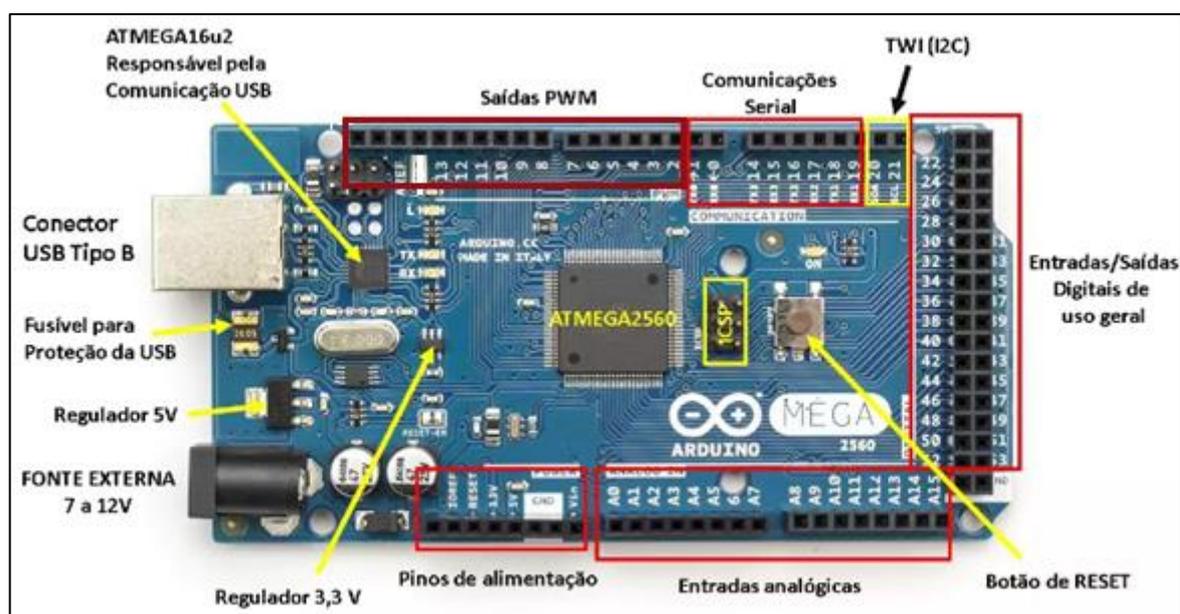


Figura 3 – Plataforma Arduino – Modelo MEGA 2560

Fonte: Embarcados (2016).

A placa Arduino MEGA 2560 (utilizada como dispositivo concentrador neste trabalho), é composta por um micro controlador Atmel ATmega2560, um cristal oscilador de 16 MHz, uma porta de conexão USB do tipo B, 54 pinos digitais de entrada e saída (sendo que 15 deles podem ser utilizados como saídas PWM), 16

pinos analógicos de entrada, uma entrada para fonte externa de alimentação e um botão de reset. As demais especificações técnicas podem ser melhor observadas na Figura 4.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Figura 4 – Especificações técnicas da plataforma Arduino – Modelo MEGA

Fonte: Arduino (2011).

O Arduino apresenta grande versatilidade, podendo ser utilizado tanto no desenvolvimento de projetos interativos de forma independente ou conectados a um computador via software. Em relação as principais diferenças encontradas no Arduino para outras plataformas são, segundo Banzi (2011):

- A possibilidade de ser utilizado em diferentes sistemas operacionais tais como Linux, Microsoft e Macintosh;
- O ambiente de programação é intuitivo e de fácil aprendizado;
- O fato de poder ser programado utilizando a conexão USB;
- Tanto o software quanto o hardware são de fonte aberta;
- Uma comunidade ativa de usuários na internet que compartilham diversos conhecimentos entre si;

### 2.2.2 Protocolo ZigBee

Quando se fala em redes de sensores sem fio (RSSF), também chamadas de *Wireless Sensor Networks* (WSN), diversos protocolos são utilizados para que a comunicação entre sensores em diferentes ambientes seja possível, podendo citar como exemplo o *Bluetooth*, *Wi-Fi* e *ZigBee* (HERNANDEZ E KALIL, 2013). Para que essa rede seja de fato implementada, faz-se necessário a utilização de diversos equipamentos tais como, sensores, micro controladores e uma interface de rede compatível. Com isto, algumas especificações de protocolo são especificadas, como por exemplo o protocolo *Bluetooth*, que apesar de simples, é eficiente apenas em distâncias curtas de no máximo 10m. Já o padrão *Wi-Fi*, presente em uma gama extensa de equipamentos, revela-se uma tecnologia cara para implantação em redes de sensores sem fio (HERNANDEZ E KALIL, 2013).

Desta forma, o protocolo *ZigBee* surge como uma alternativa eficiente frente aos outros protocolos, pois além de apresentar uma arquitetura robusta, é compatível com a plataforma Arduino, podendo ser usado como camada de tecnologia de rede na arquitetura TCP/IP. Desenvolvido em 2004 pela “ZigBee Alliance”, esta tecnologia, baseada no padrão IEEE 802.15.4<sup>1</sup>, foi criada tendo em vista aplicações de baixa taxa de transmissão com consumo de energia baixo. A Tabela 2 apresenta um comparativo entre o padrão de rede *ZigBee* frente a outros tipos de protocolos em relação ao alcance com a taxa de dados transmitida.

Tabela 2 – Comparativo entre os padrões de redes sem fio

	ZigBee (802.15.4)	Bluetooth (802.15.1)	Wi-Fi (802.11b)	CDMA (3G)
Alcance (m)	1 - 100	1 - 10	1 - 100	1000+
Velocidade (Kbps)	20 - 250	720	10000+	3000
Aplicações	Monitoramento	Eliminar cabeamento	Web	Telefonia

Fonte: Hernandez e Kalil (2013).

<sup>1</sup>IEEE 802.15.4: Protocolo para interconexão entre dispositivos utilizando taxa mínima de dados, baixo consumo de energia e transmissão de rádio frequência em redes WPAN. Essas redes são utilizadas para transporte de dados em curtas distâncias (até 100 metros) e baixa taxa de transferência de dados (até 250 kbit/s).

### 2.2.2.1 Dispositivos da rede ZigBee

De acordo com Messias (2011), existem dois tipos de dispositivos em uma rede *ZigBee*, os FFD (Full Function Device) e os RFD (Reduced Function Device).

Os dispositivos FFD (sigla para dispositivo de função completa), são dispositivos que em uma rede *ZigBee*, podem assumir o papel de coordenador, roteador ou dispositivo final (end device), podendo se comunicar com qualquer dispositivo da rede. Por esta razão que estes dispositivos são mais complexos e demandam um hardware com alta capacidade de processamento de dados.

Os RFD, ao contrário, são mais simples em sua construção, não exigindo um hardware tão avançado. Porém esta simplicidade implica em uma limitação nestes dispositivos, tendo sua comunicação restrita apenas com dispositivos FFDs. Em uma rede *ZigBee*, estes dispositivos representam os end devices (sensores, interruptores, relés).

### 2.2.3 Módulos Xbee

Os módulos *XBee* são dispositivos (também conhecidos como Shields) fabricados pela empresa Digi® que suportam uma variedade de protocolos de comunicação, incluindo o padrão *ZigBee*. São caracterizados pelo fato de poderem receber um sinal e transmiti-lo sem o uso de um micro controlador externo, tal como um Arduino, por exemplo (FALUDI, 2011). Estes módulos possuem pinos de entrada e saída que podem funcionar tanto como acionadores quanto leitores (Input/Output), fazendo a conexão do módulo com o ambiente e adquirindo os dados para os quais foram configurados. No Brasil, estes módulos operam nas faixas de rádio com frequência de 2,4 Ghz (HERNANDEZ E KALIL, 2013). A Figura 5 mostra um módulo *XBee Series 2*, modelo utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

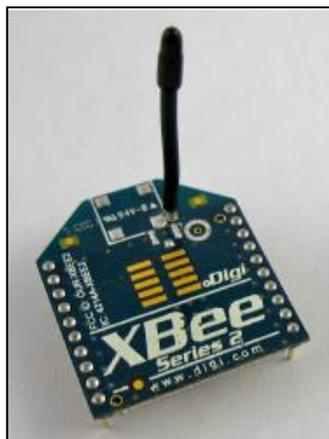


Figura 5 – Módulo *Xbee Series 2*

Fonte: Faludi (2011).

Os módulos *Series 2*, segundo Faludi (2011), apresentam algumas melhorias em relação aos *Series 1*, as quais podem ser observadas na Figura 6, comparando ambas as tecnologias.

	Series 1	Series 2
Typical (Indoor/urban) range	30 meters	40 meters
Best (line of sight) range	100 meters	120 meters
Transmit/Receive current	45/50 mA	40/40 mA
Firmware (typical)	802.15.4 point-to-point	ZB ZigBee mesh
Digital Input/output pins	8 (plus 1 Input-only)	11
Analog Input pins	7	4
Analog (PWM) output pins	2	None
Low power, low bandwidth, low cost, addressable, standardized, small, popular	Yes	Yes
Interoperable mesh routing, ad hoc network creation, self-healing networks	No	Yes
Point-to-point, star topologies	Yes	Yes
Mesh, cluster tree topologies	No	Yes

Figura 6 – Comparativo entre os módulos *Xbee Series 1* e *Series 2*

Fonte: Adaptado de Faludi (2011).

Como visto, os módulos *Series 2* apresentam um alcance maior e consomem menos potência que os módulos *Series 1*, bem como permitem a utilização da topologia em malha. Ambos podem ser facilmente intercambiados, porém cabe ressaltar que os módulos *Series 2* não irão se comunicar ou interagir em todas as aplicações. Cada rede deve utilizar apenas uma versão específica (FALUDI, 2011).

## 2.2.4 Topologia da rede

De acordo com Farahani (2008), para que a troca de informações entre dispositivos ligados em rede seja alcançada, é necessário que algum meio físico realize a conexão, podendo ser este por meio de cabos ou o ar, no caso de redes sem fio. Com isto, surge o conceito da topologia de rede, que é a representação do fluxo de informações dos dispositivos conectados nesta rede, abrangendo diversas configurações. No caso da rede *ZigBee*, este suporta as topologias estrela, árvore e completa, descritas a seguir.

- Estrela

Evolução da topologia em barramento, caracteriza-se pela adoção de um dispositivo coordenador, responsável pelo envio ou recebimento das informações para todos os dispositivos conectados a ele. Nesta topologia, todos os dispositivos da rede só podem se comunicar com o módulo coordenador. Um cenário que exemplifica o modo de atuação desta topologia é quando um dispositivo FFD é programado para ser coordenador da rede. Ao ser ativado, este dispositivo seleciona um identificador único que não é usado por nenhuma outra rede na sua área de influência (região ao redor do dispositivo na qual ele pode se comunicar com outros dispositivos), assegurando que seu identificador não será utilizado por nenhuma outra rede próxima, podendo então trabalhar exclusivamente no recebimento e envio de informações aos dispositivos RFD a ele conectados. Atualmente, esta topologia é muito utilizada em residências ou mesmo pequenos escritório. A Figura 7 apresenta uma representação desta topologia.

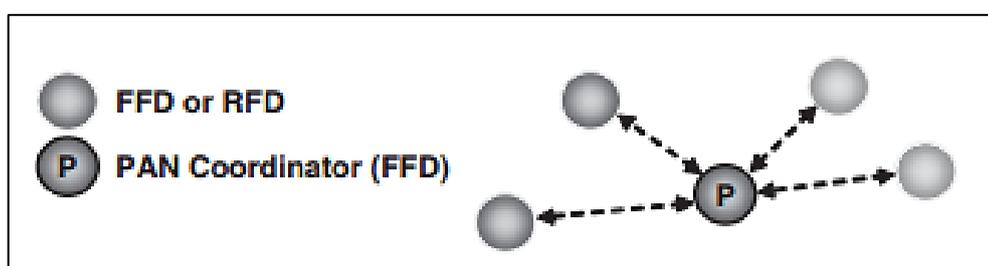


Figura 7 – Topologia estrela.

Fonte: Farahani (2008).

- **Árvore**

Esta topologia é caracterizada por um nó central, que serve como coordenador, roteadores e os dispositivos finais (também chamados de end devices). A função dos roteadores nesta topologia é aumentar o alcance da rede. Devido ao fato de que o sinal em cada ramificação pode se repartir em caminhos diferentes, os cuidados na sua construção são maiores, tendo em vista que os caminhos devem estar perfeitamente casados para que não ajam problemas de comunicação. A Figura 8 apresenta a topologia citada, na qual a mensagem necessita ser levada do dispositivo A até o dispositivo B. Por meio dos roteadores, o problema é contornado e a mensagem consegue chegar ao seu destino.

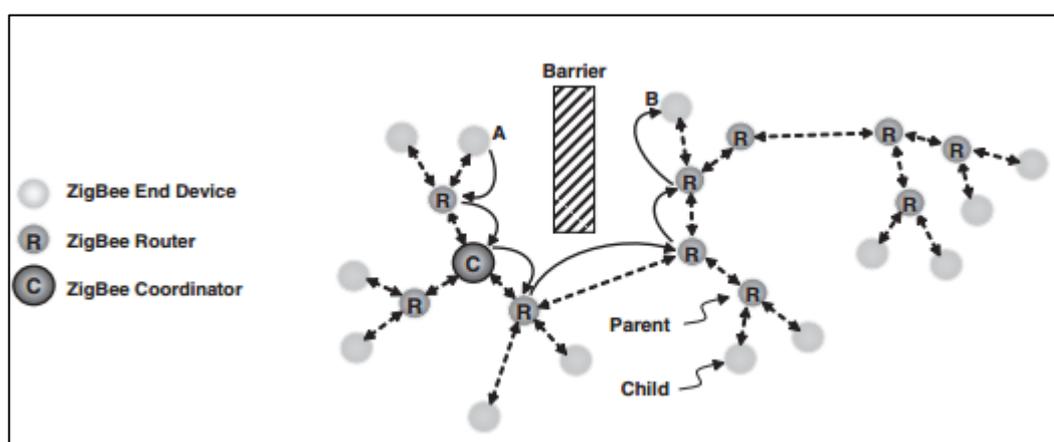


Figura 8 – Topologia em árvore.

Fonte: Farahani (2008).

- **Completa**

Nesta topologia, mostrada na Figura 9, a rede pode se auto organizar para que o tráfego de dados seja otimizado, de modo que quando ocorra a saída ou entrada de um nó na rede, ela própria se ajusta automaticamente. O núcleo da rede é composto por roteadores e os endnodes podem ficar alocados nas bordas. Com isso, os dados podem fluir por quantos nós forem necessários até chegar ao destino, aumentando o alcance sem que ocorra um aumento no consumo de energia. Nesta topologia, todos os dispositivos que participam da transmissão de dados são FFD.

Dispositivos RFD também podem ser inseridos na rede, porém podem se comunicar com apenas um dispositivo específico (coordenador ou roteador) (FARAHANI, 2008).

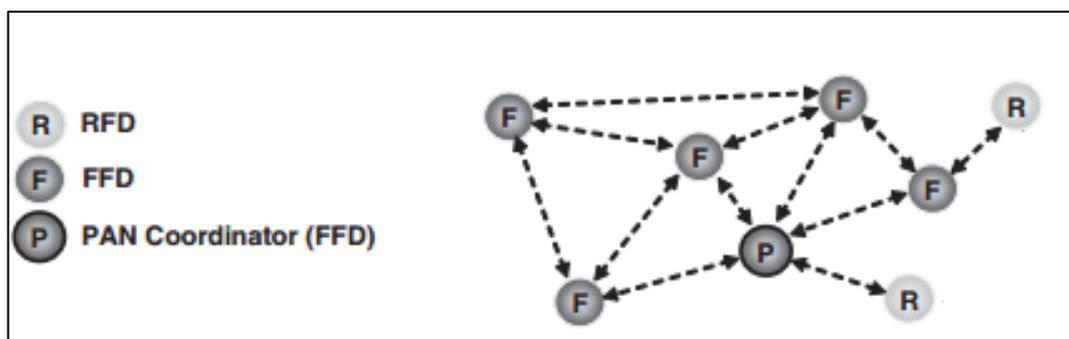


Figura 9 – Topologia completa.

Fonte: Farahani (2008).

### 2.3 INTRODUÇÃO A HARMÔNICOS

Harmônicos podem ser conceituados como deformações nas formas de corrente e tensão em relação a ondas senoidais na frequência fundamental. Como forma de analisar essas deformações, faz-se uso do Teorema de Fourier, que explica que toda função periódica não senoidal pode ser representada como uma série composta por uma expressão senoidal em frequência fundamental, expressões senoidais de frequências com múltiplos inteiros da fundamental e eventuais componentes contínuas.

Como exemplo, a Figura 10 apresenta uma onda comportando harmônicos e sua decomposição em componentes harmônicas de ordem 1, 3, 5, 7 e 9. A situação tida como ótima é que só exista a componente harmônica de ordem 1.

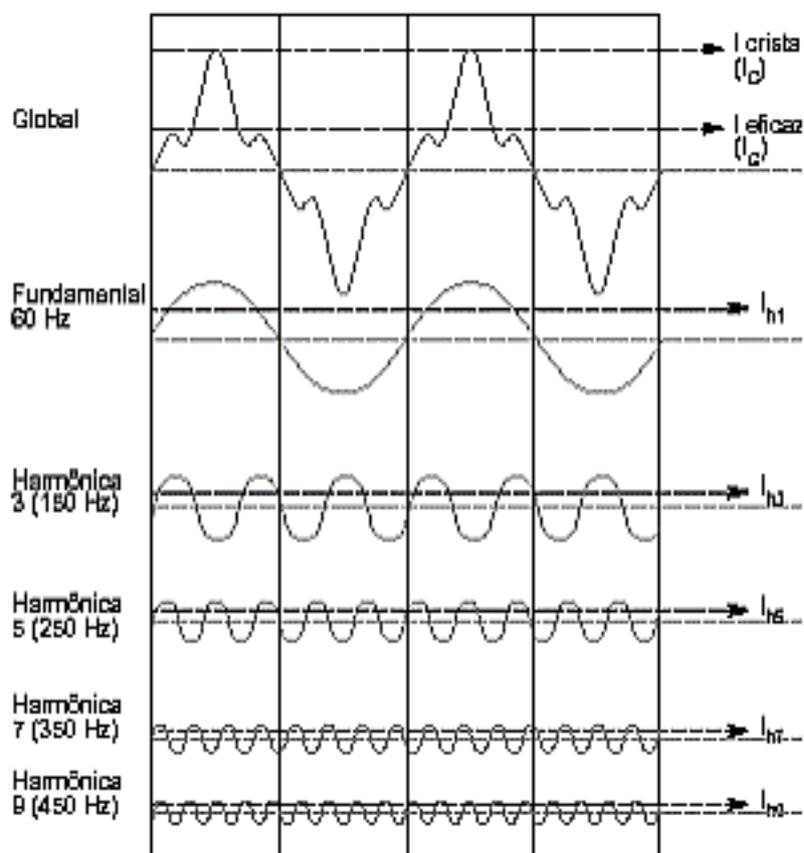


Figura 10 – Onda com a presença de harmônicos

Fonte: Adaptado de Chapman (2012).

As múltiplas inteiras da onda senoidal, quando na frequência fundamental, são chamadas de componentes harmônicas, sendo que suas amplitudes representam uma parcela da amplitude da onda fundamental.

Os harmônicos podem ser divididos em ímpares e pares, sendo os ímpares mais frequentes e intensos e conseqüentemente os maiores causadores de problemas para as instalações elétricas.

Conforme sua origem, eles podem ser classificados como sequência positiva, zero ou negativa. Em relação a componente harmônica de ordem 1, esta é de ordem positiva, o de ordem 2 é de sequência negativa, o de ordem 3 apresenta sequência zero, e assim sucessivamente.

Para exemplificar o que esta classificação significa na prática, toma-se como exemplo um motor trifásico. As harmônicas de sequência positiva fazem com que o motor gire no mesmo sentido da componente fundamental, provocando uma sobre

corrente em seus enrolamentos. As harmônicas de sequência negativa fazem com que o motor gire no sentido contrário ao giro produzido pela onda fundamental, gerando assim aquecimentos excessivos no mesmo. Por fim, as harmônicas de sequência zero não influenciam no sentido de rotação do motor, porém somam-se no condutor neutro, gerando aquecimentos excessivos, degradação de bancos de capacitores, dentre outros problemas (CHAPMAN, 2012).

### 2.3.1 Origem dos harmônicos

Segundo Chapman (2012), as correntes harmônicas são geradas devido a cargas não-lineares conectadas a rede. Estas cargas são ditas não lineares quando a corrente absorvida por ela não apresenta a mesma forma da tensão a qual ela é alimentada. A circulação destas correntes gera tensões harmônicas através das impedâncias presentes na rede, resultando em deformações na tensão de alimentação.

Dentre os exemplos de cargas não lineares que podem gerar componentes harmônicos destacam-se equipamentos industriais (máquinas de soldagem), inversores de frequência e eletrodomésticos (fornos de micro-ondas, televisores).

### 2.3.2 Efeitos dos harmônicos na rede

Devido ao fato de serem deformações presentes na onda fundamental, os harmônicos são causadores de diversos problemas aos equipamentos, deteriorando a qualidade da energia elétrica; sobrecarregando as redes de distribuição devido ao aumento da corrente eficaz; perturbando receptores devido a deformação da tensão de alimentação e gerando perturbação nas redes de comunicação ou linhas telefônicas.

Tais problemas, segundo Chapman (2012), levam a impactos econômicos de elevada grandeza, tais como o envelhecimento precoce dos equipamentos, tendo que substituí-los precocemente; as sobrecargas na rede obrigam um aumento na potência, gerando perdas suplementares; paradas das instalações devido as deformações da corrente.

### 2.3.3 Estudos dos efeitos de harmônicos em redes com protocolo Zigbee

Em relação aos estudos dos efeitos dos harmônicos no comportamento dos dispositivos que utilizam o protocolo *ZigBee*, estes são escassos e não relacionam diretamente o efeito das harmônicas no comportamento dos dispositivos que utilizam tal protocolo, como os módulos *XBee*, por exemplo.

Em um estudo realizado por D. Yeolekar et. al., foi realizada uma combinação entre a rede *Zigbee* e GSM para monitoramento e avaliação de harmônicos gerados por um formato específico de compressão de som em smartphones, utilizando para isto um sistema ADE7880, que é um dispositivo de medição com a função de monitorar em tempo real as componentes harmônicas. Com isto, este dispositivo analisa a rede e identifica a presença de harmônicos por meio de uma escala de cores, sendo vermelha para harmônicos fora do valor limiar e verde para as componentes harmônicas que estão dentro do limite (D. YEOLEKAR et. al., 2015).

Outro estudo, feito por Wloczysiak, demonstra os efeitos que o aumento no alcance de um sistema *ZigBee* pode provocar. Utilizando um sistema *ZigBee* acoplado a um amplificador de potência de 20dB, o sistema apresentou uma melhora da ordem de 400 por cento no aumento do alcance, quando comparado a um mesmo sistema sem o auxílio do amplificador de potência. Entretanto, tal estudo mostrou que este aumento gerou componentes harmônicas, sendo utilizada uma filtragem para atenuar estas deformações (WLOCZYSIK, 2009).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO

O sistema utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi construído pela RELM Chatral Telecom. A empresa, fundada em 1970 e de origem brasileira, apresenta cinco linhas de atuação. A primeira linha, lançada em 2004 com o nome de RELM Componentes, tem como objetivo atender a área de componentes eletrônicos, em especial cristais osciladores e displays de cristal líquido. A segunda linha, criada em 2006 com o nome de RELM Áudio, teve seu foco no segmento de áudio e vídeo tanto residencial quanto automotivo. Em 2009 foi criada a terceira linha, chamada de RELM Wireless, voltada ao setor de telefonia celular, operadoras e mercado privado (antenas, amplificadores, repetidores, etc.). A quarta linha, chamada de RELM Monitoramento, foi criada em 2010 com o objetivo de atender o segmento de Segurança pública e privada oferecendo produtos como vídeo monitoramento e gravação digital. Por fim, em 2013 foi lançada a RELM Bikes, atuando na venda e representação da marca alemã de bicicletas Corratec (RELM, 2016).

Em relação ao sistema utilizado, este consiste de três módulos de monitoramento que fornecem dados a um módulo central que é então conectado ao computador. Estes dados são então enviados para um software - também desenvolvido pela empresa - que permite a análise e monitoramento dos mesmos. As Figura 11 apresenta a tela principal deste software, onde são apresentados cada um dos medidores pelos números indicados.

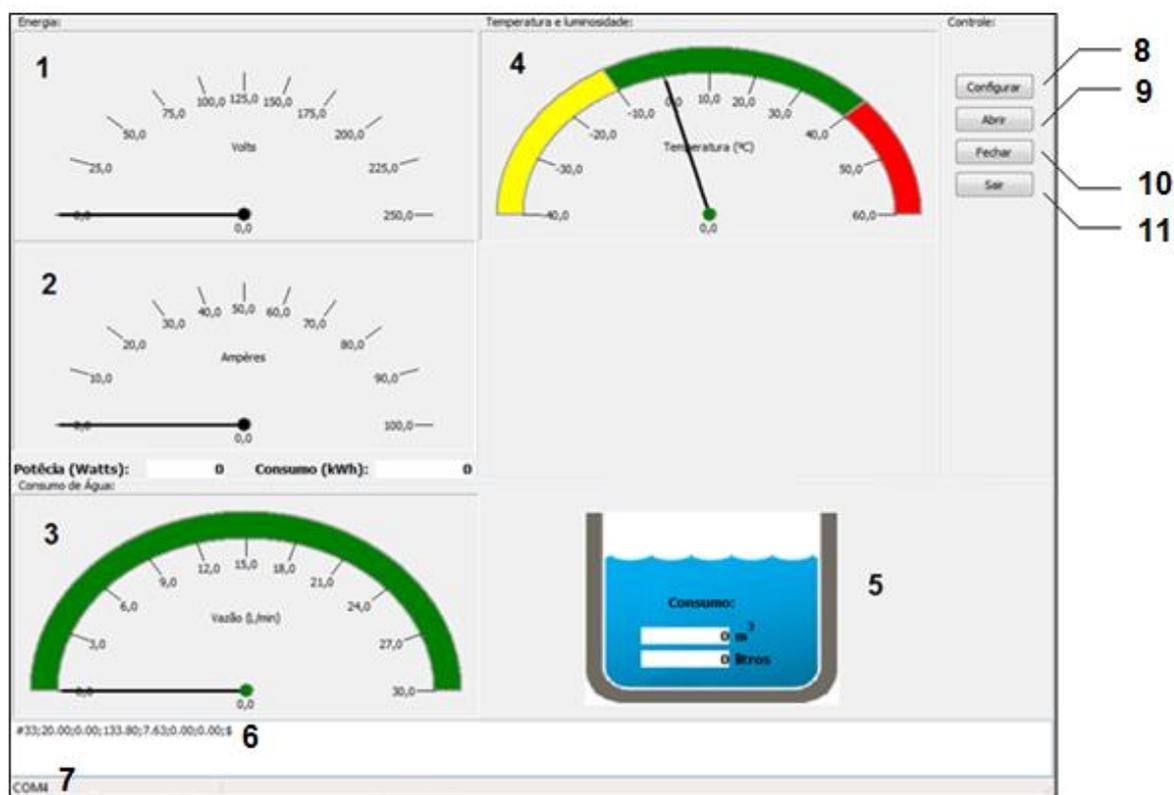


Figura 11–Tela inicial do software de monitoramento

Fonte: RELM Chatral Telecom (2016).

A legenda a seguir descreve o que cada item indicado na Figura 11 significa, sendo estes:

- 1 – Tensão elétrica da rede (em Volts);
- 2 – Corrente elétrica da rede (em Ampères);
- 3 – Vazão de água (em litros por minuto);
- 4 – Temperatura do ambiente (em graus Celsius);
- 5 – Consumo de água do sistema (em litros e em metros cúbicos);
- 6 – Apresenta os dados das medições realizadas sendo, respectivamente:
  - Temperatura (em graus Celsius);
  - Corrente elétrica (em Ampères);
  - Tensão elétrica (em Volts);
  - Consumo elétrico (em kWh);
  - Consumo total de água (em litros);
  - Vazão de água (em litros/minuto);

- 7 – Indica a porta serial na qual o dispositivo concentrador está conectado;
- 8 – Menu de configuração dos parâmetros do dispositivo concentrador;
- 9 – Inicia as medições adquiridas pelos módulos;
- 10 – Pausa as medições adquiridas pelos módulos;
- 11 – Encerra o programa;

Em relação ao menu de configuração, indicado pelo item 9 acima, a Figura 12 a seguir apresenta os parâmetros que podem ser ajustados:

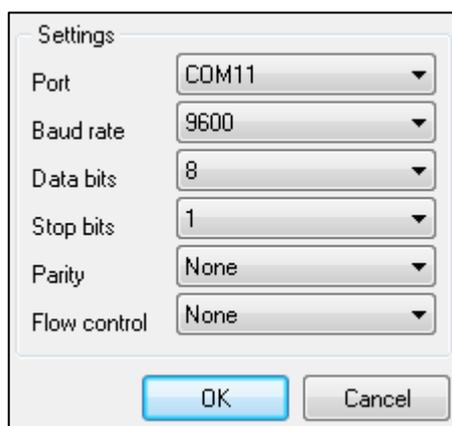


Figura 12 – Tela de configuração do software de monitoramento

Fonte: RELM Chatral Telecom (2016).

- Port – Porta serial a qual o módulo está conectado;
- Baud rate – Permite definir a taxa de transmissão de dados (o padrão é 9600 bits por segundo);
- Data bits – Número de data bits transferidos (o padrão é 8);
- Stop bits – Número de bits de parada (o padrão é 1);
- Parity – Especifica o tipo de checagem de paridade (none, odd, even, mark, space);
- Flow control – Especifica o tipo de gerenciamento de dados entre o computador e o dispositivo de medição (Hardware, software, none, custom);

## 3.2 SENSORES DE MEDIÇÃO

Neste tópico serão apresentados os sensores que serão utilizados para medição das grandezas já mencionadas, bem como o módulo coordenador. A saber, serão utilizados três módulos diferentes, sendo um para medição da tensão e corrente elétrica, um para medição de consumo de água e um para medição de temperatura e luminosidade.

### 3.2.1 Módulo para monitoramento de luminosidade e temperatura

Utilizando o dispositivo *Xbee Series 2* para transmissão dos dados, este módulo realiza a medição da temperatura por meio de um sensor LM35 (ver anexo A), que tem a vantagem de já vir calibrado diretamente em graus Celsius e apresentar uma boa acurácia. Para a medição da luminosidade, o módulo utiliza um sensor LDR (Light dependent resistor), que varia a resistência do elemento foto resistivo conforme a incidência de luz do ambiente (ver anexo B). A Figura 13 apresenta a visão superior do dispositivo, com o sensor LDR (identificado com o círculo em vermelho) conectado ao módulo Xbee. Na Figura 14, observa-se a vista lateral do dispositivo, com o sensor de temperatura (também identificado pelo círculo em vermelho) conectado ao módulo.



Figura 13 – Dispositivo de monitoramento de temperatura e luminosidade – visão superior

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

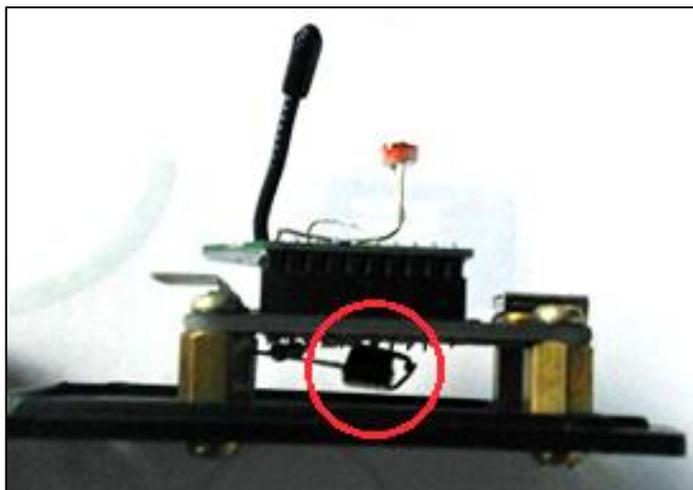


Figura 14 – Dispositivo de monitoramento de temperatura e luminosidade – visão lateral

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

### 3.2.2 Módulo para monitoramento do consumo de água

O módulo de monitoramento para consumo de água também utiliza o dispositivo *Xbee Series 2* no seu interior, acoplado a um sensor de fluxo de água modelo YF-S201 da marca SEA (ver anexo C). Este sensor apresenta uma escala que varia de 1 até 30 litros de água por minuto, podendo trabalhar com pressões de até 1,75 Mpa. A Figura 15 apresenta o sensor citado acima.



Figura 15 – Sensor de fluxo de água YF-S201

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Figura 16 apresenta o dispositivo no qual o sensor de fluxo vai conectado, juntamente com o módulo *Xbee* para transmissão de dados.



Figura 16 – Módulo de monitoramento de consumo de água  
Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

### 3.2.3 Módulo para monitoramento de corrente e tensão elétrica

Os módulos para medição de tensão e corrente elétrica trabalham acoplados um ao outro. O módulo de monitoramento da tensão elétrica faz a aferição por meio de uma tomada de dois pinos, que, semelhantemente ao modo de funcionamento de um multímetro, avalia e mensura o valor da tensão. A Figura 17 apresenta o dispositivo mencionado, bem como o local onde vai conectado o sensor de medição de corrente elétrica, feito por meio de um plugue P2, identificado pelo círculo em vermelho.

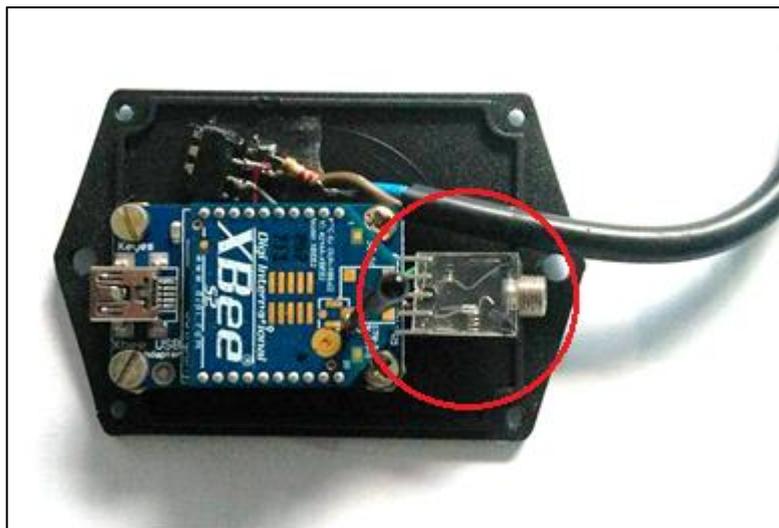


Figura 17 – Módulo de monitoramento de tensão elétrica

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Para aferição da corrente elétrica, o dispositivo utilizado é um sensor não invasivo modelo SCT-013 (ver anexo D), mostrado na Figura 18. Este sensor tem uma escala que varia de 0 até 100 ampères e pode trabalhar em temperaturas de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ , segundo informam as especificações do fabricante. Este modelo tem a vantagem de ser facilmente acoplado ao circuito sem que exista a necessidade de ligação entre fios. Ao conectá-lo ao módulo de tensão elétrica, o processador realiza então o cálculo da potência elétrica fornecida pela rede.



Figura 18 – Módulo de corrente não invasivo SCT-013

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

### 3.2.3.1 Estudo sobre efeitos da geração de harmônicos

Este estudo tem como objetivo avaliar o comportamento dos dispositivos acima mencionados (módulos de monitoramento de tensão e corrente elétrica) quando harmônicos gerados por cargas não lineares forem inseridos no sistema. Com isto, será possível identificar se há ou não variações nas medições realizadas pelos módulos.

O sistema desenvolvido para analisar estes efeitos consistirá em um motor de indução do tipo gaiola de esquilo, ligado a um banco de tiristores que irá gerar as distorções harmônicas no circuito. O motor será controlado por um módulo de disparo de tiristores, modelo Rt380t, que é alimentado por uma fonte de tensão CC.

A velocidade deste motor varia conforme a tensão aplicada neste módulo é alterada, no caso deste trabalho, de 3,9 a 5,3V. A Figura 19 apresenta o módulo de disparo de tiristores em questão.



Figura 19 – Módulo de disparo de tiristores – Modelo Rt380t

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Em relação as ligações dos componentes no módulo de disparo, no lado direito superior conectam-se cada uma das três fases do motor e na parte inferior, os terminais positivos e negativos da fonte CC que irá realizar a variação da velocidade do motor. A Figura 20 apresenta em detalhes como foi realizada esta ligação.

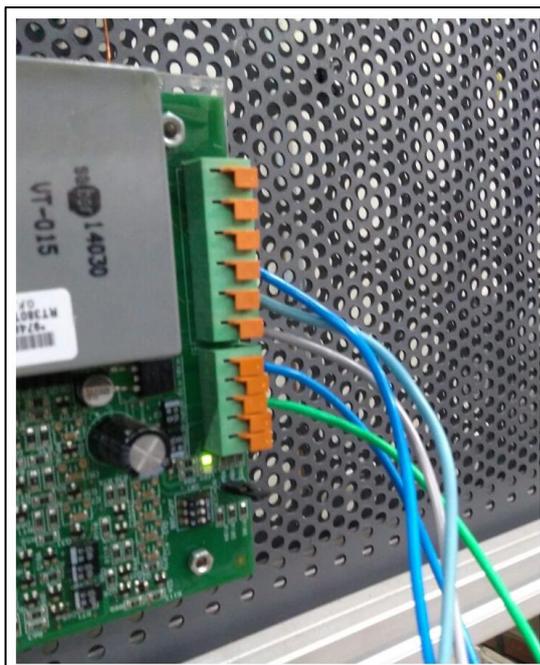


Figura 20 – Ligação das fases do motor e da fonte CC no módulo de disparo

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Figura 21, mostra o motor que irá ser utilizado para o desenvolvimento do trabalho, bem como a placa de identificação com as características do mesmo.



Figura 21 – Motor de indução do tipo gaiola de esquilo e suas características

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

O banco de capacitores em questão é apresentado na Figura 22. Este banco é composto por 6 tiristores controlados pelo módulo de disparo já acima mencionado, cada qual identificado pelos seus contatos (K e G, indo de K1/G1 a K6/G6). Cada uma das três fases do motor (identificadas na figura pelos cabos branco (R), azul (S) e preto (T)) será ligada a um grupo de tiristores, conforme ligação vista no desenho esquemático do Anexo E.



Figura 22 – Ligação das fases do motor com o banco de tiristores

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Cada par de contato de tiristores foi ligado ao módulo de disparo seguindo as orientações vistas no Anexo A. Desta forma, garantiu-se que os acionamentos dos disparos fossem realizados corretamente de modo que as distorções harmônicas pudessem ser geradas pelo sistema. A Figura 23 apresenta em detalhes como foi realizada a conexão de cada um dos contatos dos tiristores no módulo de disparo. Cada fase do motor foi ligada a um conjunto de contatos dos tiristores (K1G1 e K2G2 ligados a fase U, K3G3 e K4G4 ligados a fase V, K5G5 e K6G6 ligados a fase W).

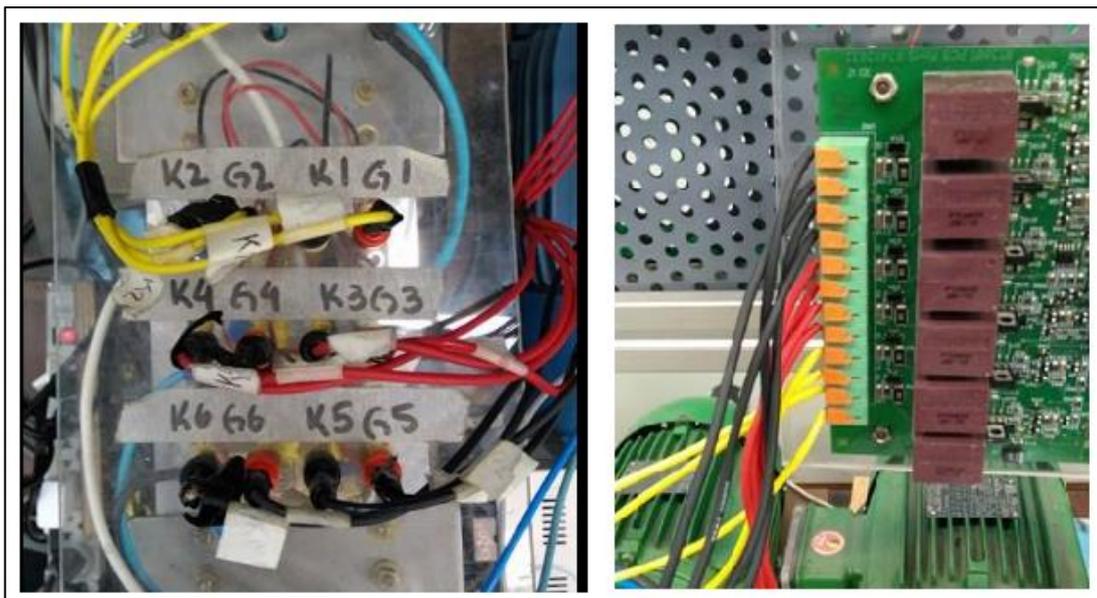


Figura 23 – Identificação dos contatos dos tiristores e ligação com o módulo de disparo

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Como meio de validação dos resultados, será utilizado um osciloscópio digital (Modelo Tektronix TDS 1001B) e uma ponteira de corrente (Modelo Tektronix A622) para monitorar estes harmônicos em uma fase do motor e comparar os resultados obtidos com os dados medidos pelo dispositivo.

#### 3.2.4 Módulo coordenador

Este módulo é o responsável por realizar a interface entre o computador e os módulos de medição, recebendo os dados medidos e enviando-os ao programa. É composto por uma placa Arduino MEGA, acoplada a um dispositivo *Xbee* para transmissão de informações, além de uma saída USB para conexão com o computador. O módulo *Xbee*, mostrado na parte superior da figura, é conectado na placa MEGA nos pinos de comunicação 18 e 19, pino digital 22 e pino GND. A Figura 24 mostra em detalhe o módulo citado acima.

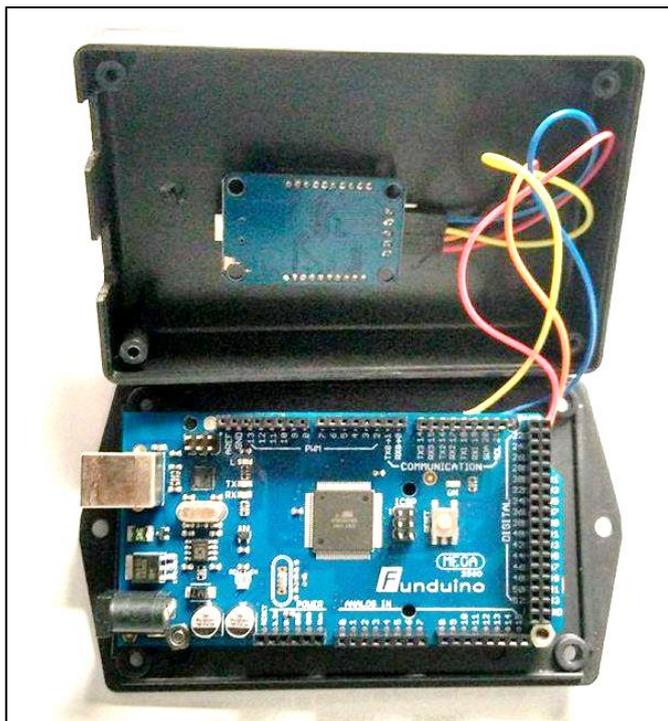


Figura 24 – Módulo coordenador  
Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A comunicação entre o computador e coordenador é feita por meio de um cabo USB Am/Bm que alimenta a placa Arduino e o módulo *Xbee*. Havendo o estabelecimento da comunicação com o computador e estando os módulos de medição ligados, o módulo *Xbee* do coordenador então recebe as informações advindas destes dispositivos e transporta estes dados para a placa Arduino, que converte estes dados e apresenta no software de monitoramento.

### 3.3 ALOCAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE SENSORIAMENTO

Devido a comodidade, facilidade e segurança, foi escolhido o ambiente residencial para que os testes de viabilidade fossem realizados. A residência escolhida possui ambos os medidores analógicos, tanto de água quanto de luz, sendo utilizados para fins de comparação com as leituras informadas pelo equipamento.

Em relação ao módulo de tensão e corrente, o sensor de corrente será instalado em paralelo com o relógio de luz da residência, apresentado na Figura 25.

Para o monitoramento da tensão, o mesmo será ligado a uma tomada próxima. A Figura 26 mostra uma visão geral de como será disposta essa montagem.



Figura 25 – Detalhe da montagem do sensor de corrente não invasivo  
Fonte: Elaborada pelo autor (2017).



Figura 26 – Montagem do módulo de medição de corrente e tensão elétrica.  
Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

O módulo de medição de consumo de água foi instalado entre o cano de entrada na caixa d'água e a boia de nível, para que as medições sofressem perdas mínimas devido a circulação de água na tubulação. A Figura 27 mostra como foi realizada a instalação do dispositivo.



Figura 27 –Montagem do módulo de medição do consumo de água

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Em relação ao módulo de monitoramento de temperatura, será avaliada a temperatura do ambiente com o sensor e compará-la com o valor encontrado pelo dispositivo padrão. Tendo isso em vista, será utilizado um multímetro Minipa (Modelo ET-1110A) acoplado a um termopar como equipamento padrão. Em relação a montagem dos dispositivos, os mesmos foram colocados na sala da residência, próximos do local onde ficará o módulo centralizador. A Figura 28 apresenta a disposição dos dispositivos.



Figura 28 –Montagem do módulo de medição de temperatura

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EFEITOS DA GERAÇÃO DE HARMÔNICOS

Este estudo teve como objetivo avaliar a performance dos sensores de corrente e tensão sob efeitos de distorções harmônicas na rede, avaliando se as medições realizadas por estes sensores podem sofrer influências destas distorções quando estão próximos a cargas não lineares. Para que isso fosse possível, montou-se o circuito mostrado na Figura 29 e efetuaram-se medições em 5 faixas de operação do motor, indo de 3,9V na fonte CC até 5,3V, para que fossem analisadas diferentes formas de onda. Para cada faixa de operação, foram feitas 20 medições com o sensor de monitoramento. Com isso, pode-se obter uma média de valores e comparar com o resultado obtido pelo instrumento de medição padrão (osciloscópio).

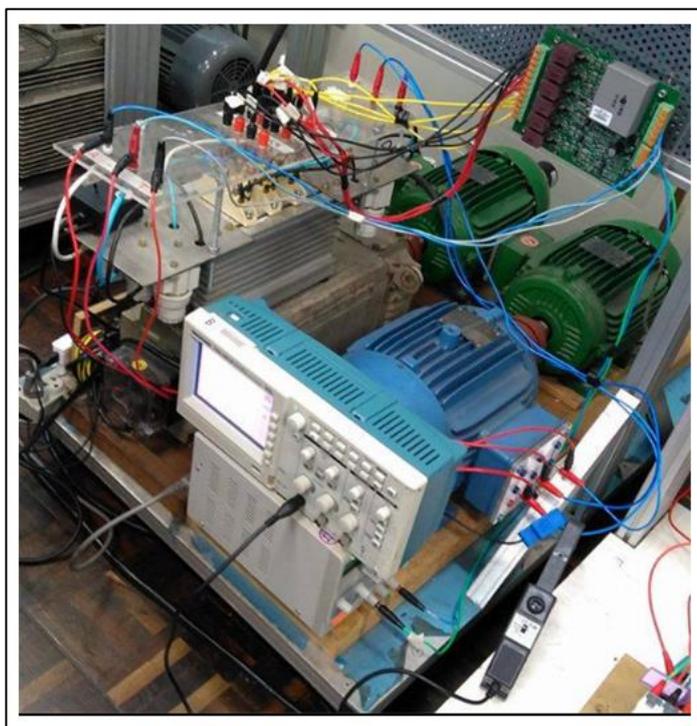


Figura 29 –Visão geral do circuito de análise de harmônicos

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Variando a tensão aplicada na fonte de tensão CC, alterava-se a corrente do motor. Observou-se que quanto maior a tensão, maior a corrente, porém menores as distorções harmônicas. Como dito anteriormente, foram analisadas 5 faixas de

operação, indo de 3,9 até 5,3V na fonte CC. A razão de iniciar a medição com 3,9V reside no fato que esta era a menor tensão possível que fazia com que o motor saísse da inércia. Acima de 5,3V a corrente subia a níveis excessivamente altos (acima de 10A), podendo resultar em danos tanto para o motor, quanto para os equipamentos de medição.

Em relação a primeira medição, analisada na fase R do motor, aplicou-se 3,9V na fonte CC e verificou-se os resultados obtidos pelo osciloscópio com a ponteira de corrente, que estão mostrados na Figura 30.

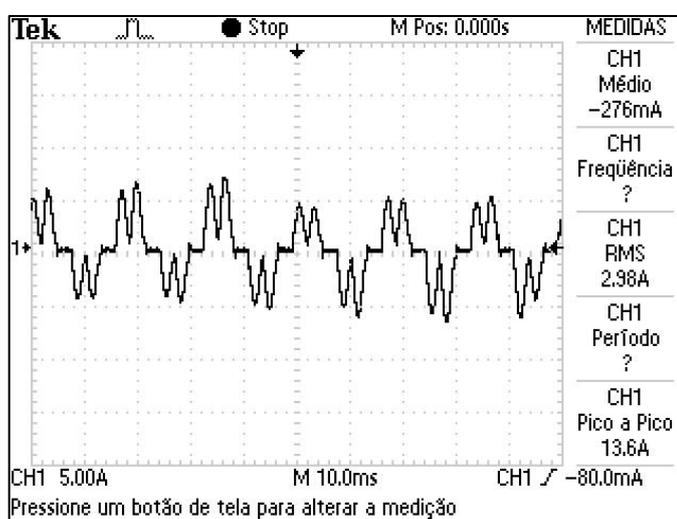


Figura 30 – Medição de corrente do circuito com 3,9V na fonte CC

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Paralelamente, foram efetuadas 20 medições com o sensor de monitoramento de corrente na mesma fase do motor, tendo como resultados os seguintes valores, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Resultados obtidos pelo sensor com 3,9V na fonte CC

Medições (em Ampères)				
4,84	4,80	4,76	4,68	4,68
4,88	4,76	4,68	4,80	4,68
4,80	4,68	4,68	4,72	4,84
4,72	4,76	4,72	4,72	4,64

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após a obtenção destes valores, calculou-se então a incerteza associada ao instrumento de medição. Isso foi feito para que se desse uma credibilidade maior aos resultados obtidos no trabalho. Segundo Cabral (2004), a incerteza da medição é uma estimativa, dentro de um intervalo de valores, que busca encontrar o valor verdadeiro da grandeza medida. As incertezas são constituídas de uma série de fatores que podem ser reunidas em duas classes diferentes, a saber, A e B.

A incerteza do tipo A é um método de avaliação que parte de uma análise estatística de um grupo de observações. Já a incerteza do tipo B consiste em todo método de avaliação que não seja a análise estatística de uma série de observações, podendo incluir dados de medições prévias, incertezas obtidas por meio de manuais ou catálogos, etc.

Tendo em vista que as medições obtidas neste trabalho foram realizadas unicamente por meio da observação de dados, utilizou-se a análise da incerteza do tipo A. Esta incerteza pode ser representada pela equação 1 (SCHNEIDER, 2007):

$$W_{\bar{x}} = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} * s \quad (1)$$

Na qual  $t$  representa o coeficiente de Student,  $n$  é o número de amostras e  $s$  é o desvio padrão da amostra, dado pela equação 2 (SCHNEIDER, 2007):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Onde  $x_i$  representa a indicação atual da medição,  $\bar{x}$  corresponde ao valor médio das amostras e  $n$  é o número de amostras.

Analisando a tabela  $t$  de Student (ver anexo F) para um nível de confiança de 95,45%, com 20 amostras, temos que o coeficiente é de 2,133. O valor da média das amostras foi de 4,74A e do desvio padrão de 0,067. Substituindo estes valores na equação (1), obtém-se o valor de 0,032 (com 95,45% de confiabilidade). Deste modo, o valor médio das medições atreladas a uma incerteza de 95,45% de confiabilidade foi de:

$$Vm_{95,45\%} = 4,74 \pm 0,032 A$$

Em relação a segunda medição, feita com 4,2V na fonte CC, os resultados obtidos pelo monitoramento no osciloscópio estão indicados na Figura 31.

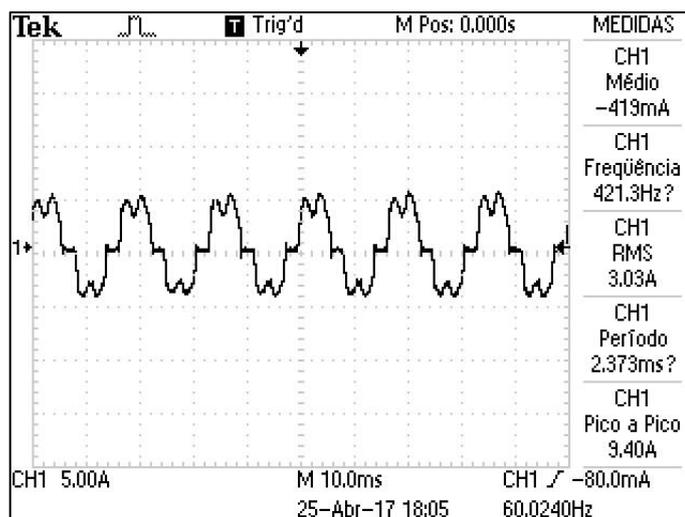


Figura 31 – Medição de corrente do circuito com 4,2V na fonte CC

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Os valores encontrados pelo sensor de monitoramento de corrente estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos pelo sensor com 4,2V na fonte CC

Medições (em Ampères)				
3,60	3,64	3,88	3,84	3,76
3,64	3,64	3,72	3,80	3,72
3,72	3,88	3,60	3,56	3,72
3,76	3,84	3,88	3,56	3,64

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O valor encontrado para a média das 20 amostras foi de 3,72A. Substituindo na equação 2, encontra-se o valor de 0,108 para o desvio padrão. Admitindo um nível de confiança de 95,45%, encontra-se um valor médio de incerteza de 0,051. Deste modo, tem-se que:

$$Vm_{95,45\%} = 3,72 \pm 0,032 A$$

Para a terceira medição, feita com 4,5V na fonte CC, os resultados encontrados estão mostrados na Figura 32.

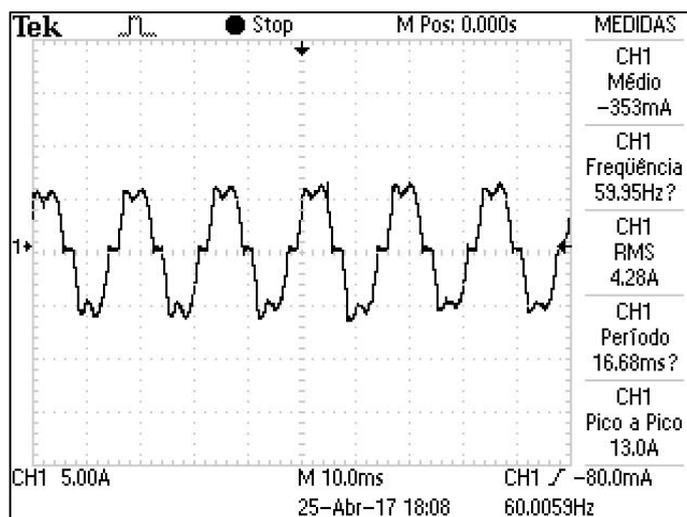


Figura 32 – Medição de corrente do circuito com 4,5V na fonte CC, 2017.

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Em relação aos valores encontrados pelo sensor, os mesmos estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5- Resultados obtidos pelo sensor com 4,5V na fonte CC

Medições (em Ampères)				
3,84	3,84	4,16	4,04	3,84
3,80	3,80	4,16	3,80	4,02
4,04	3,84	3,96	3,80	3,92
4,04	4,12	3,92	3,92	3,98

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para as 20 amostras, o valor encontrado para a média foi de 3,94A e para o desvio padrão, de 0,123. Com um nível de confiança de 95,45%, chegou-se em um valor médio de incerteza de 0,059. Sendo assim, tem-se que:

$$Vm_{95,45\%} = 3,92 \pm 0,059 A$$

A quarta medição, feita com 4,8V na fonte CC, obteve os seguintes resultados na medição feita com o osciloscópio, vistos na Figura 33.

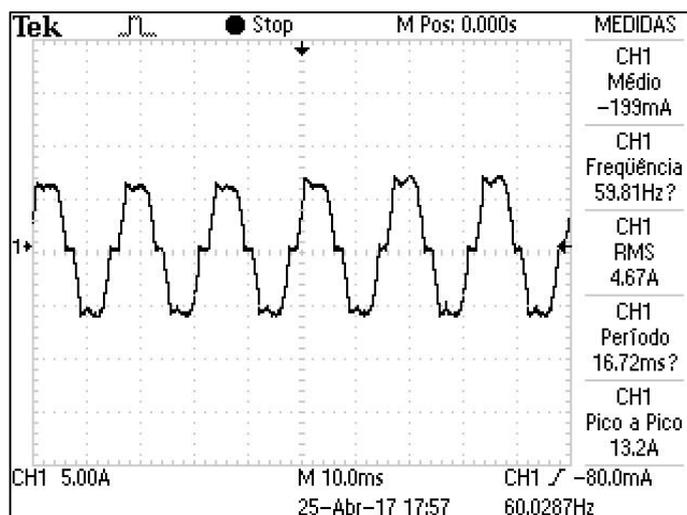


Figura 33 – Medição de corrente do circuito com 4,8V na fonte CC

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos pelo sensor de corrente, mostrados a seguir.

Tabela 6- Resultados obtidos pelo sensor com 4,8V na fonte CC

Medições (em Ampères)				
4,24	4,48	4,36	4,48	4,28
4,16	4,12	4,32	4,40	4,56
4,16	4,16	3,28	4,24	4,52
4,48	4,20	3,48	4,24	4,44

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A média encontrada para as 20 amostras foi de 4,23A, enquanto que o desvio padrão das amostras foi de 0,322. Para o mesmo nível de confiança (95,45%), o valor médio de incerteza obtido foi de 0,154. Portanto, o valor médio para uma incerteza com confiabilidade de 95,45% é de:

$$Vm_{95,45\%} = 4,23 \pm 0,154 A$$

Por fim, a última faixa de operação analisada consistiu em aplicar 5,3V na fonte CC, tendo como resultado no osciloscópio os seguintes dados, mostrados na Figura 34.

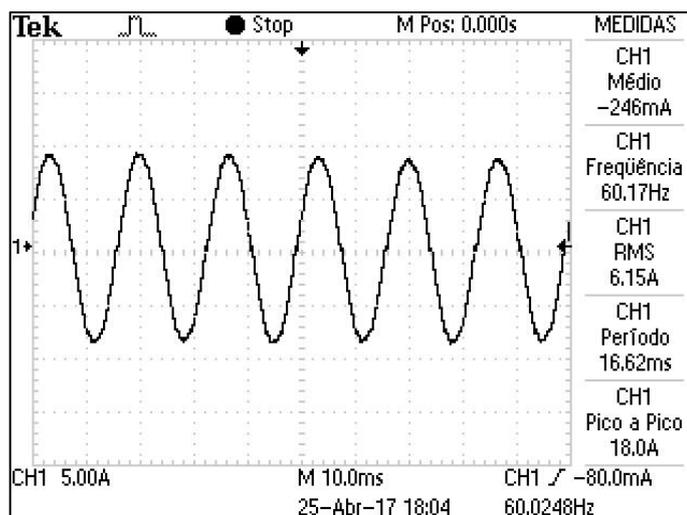


Figura 34 – Medição de corrente do circuito com 5,3V na fonte CC

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Em relação aos resultados obtidos pelo sensor de corrente com sistema *ZigBee*, os mesmos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Resultados obtidos pelo sensor com 5,3V na fonte CC

Medições (em Ampères)				
5,76	5,68	6,08	5,52	5,84
5,72	5,72	5,80	5,52	5,94
6,04	5,76	5,84	5,60	6,02
6,00	6,04	5,80	5,92	6,06

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após a medição das 20 amostras, o valor médio das mesmas foi de 5,83A, com um desvio padrão de 0,177. Admitindo um nível de confiança de 95,45%, obtém-se um valor para a incerteza de 0,084. Portanto, o valor médio junto a uma incerteza com 95,45% de confiabilidade foi de:

$$Vm_{95,45\%} = 5,83 \pm 0,084 A$$

Os resultados apresentados mostraram que o dispositivo sofreu influências nas medições devido a presença de distorções harmônicas presentes na rede. Pode-se observar que quanto menor o valor na fonte CC, mais distorcida a onda de corrente

ficava e conseqüentemente, pior era o resultado obtido pelo sensor quando comparado com o dispositivo padrão. Com a onda quase puramente senoidal, em 5,3V, o resultado já apresentou melhoras significativas, de modo que as medições feitas pelo sensor estavam mais próximas das encontradas pelo osciloscópio.

## 4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE

### 4.2.1 Consumo de energia elétrica

Este estudo teve como objetivo avaliar a performance do sensor de corrente e tensão elétrica em um ambiente real, monitorando seu consumo em um período pré-determinado e comparando com a leitura do medidor de energia analógico.

O sensor foi instalado em paralelo com o medidor de energia e a medição computada pelo período de 9 horas. A medição se iniciou às 10:40 horas do dia 26/05/2017 e se encerrou às 19:40 horas do dia 26/05/2017. No início da medição, o medidor de energia analógico indicava o número 77788. Este número indica o ponto zero, ou seja, a medição inicial, conforme indica a Figura 35.

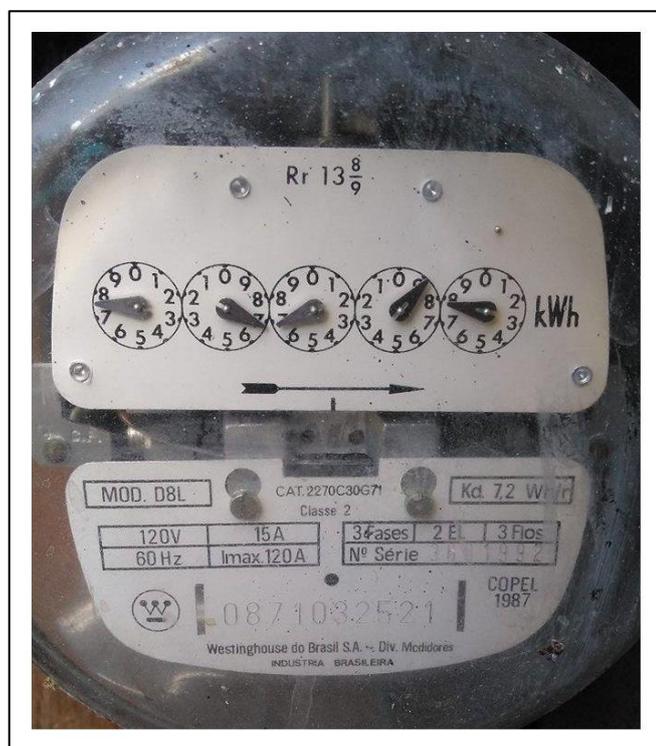


Figura 35 – Medição inicial de energia (medidor de energia)

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Ao término da medição, o medidor apontava 77790. Este número representa o ponto final, ou seja, o término da medição, como visto na Figura 36. Devido ao fato do mostrador ser analógico, as casas decimais não existem. Para que este residual de consumo fosse computado, tendo em vista que ficou muito próximo do dígito um, considerou-se que o último ponteiro percorreu 80% do espaço entre os dígitos 0 e 1. Desta forma, o consumo observado após o dígito 0 foi de 80% de 1kWh.

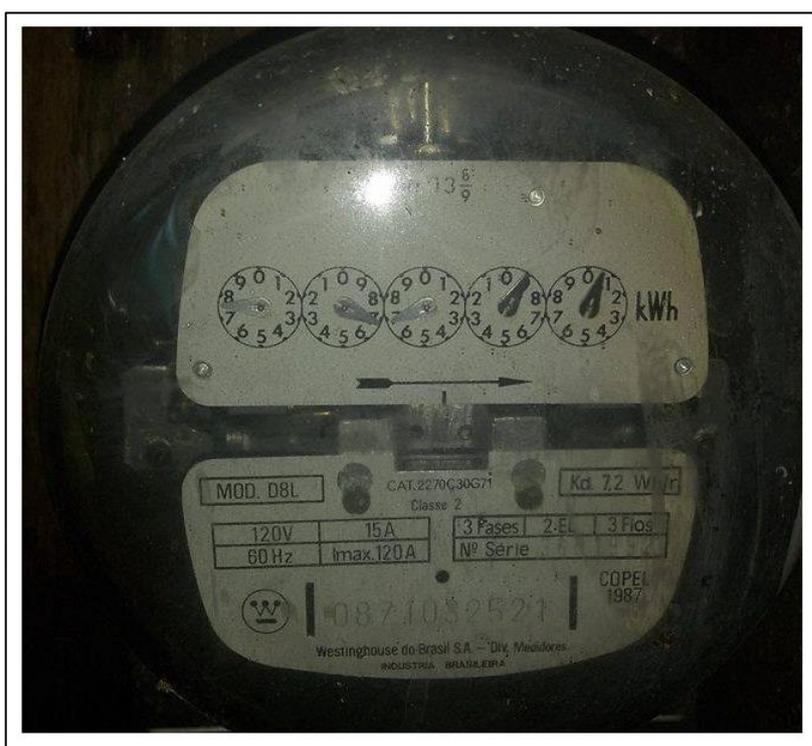


Figura 36 – Medição final de energia (medidor de energia)

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Subtraindo os valores final e inicial encontra-se o valor de 2.8, que representa em kWh (Quilowatt hora) o consumo de energia no período de 9 horas. Deste modo, o consumo calculado pelo medidor da residência foi de cerca de 2.8 kWh.

Com a medição concluída, interrompeu-se o envio de dados pelo sensor para que estes fossem então analisados. Com estes dados, gerou-se uma tabela e com isto foi possível um gráfico mostrando a evolução do consumo, mostrado na Figura 37.

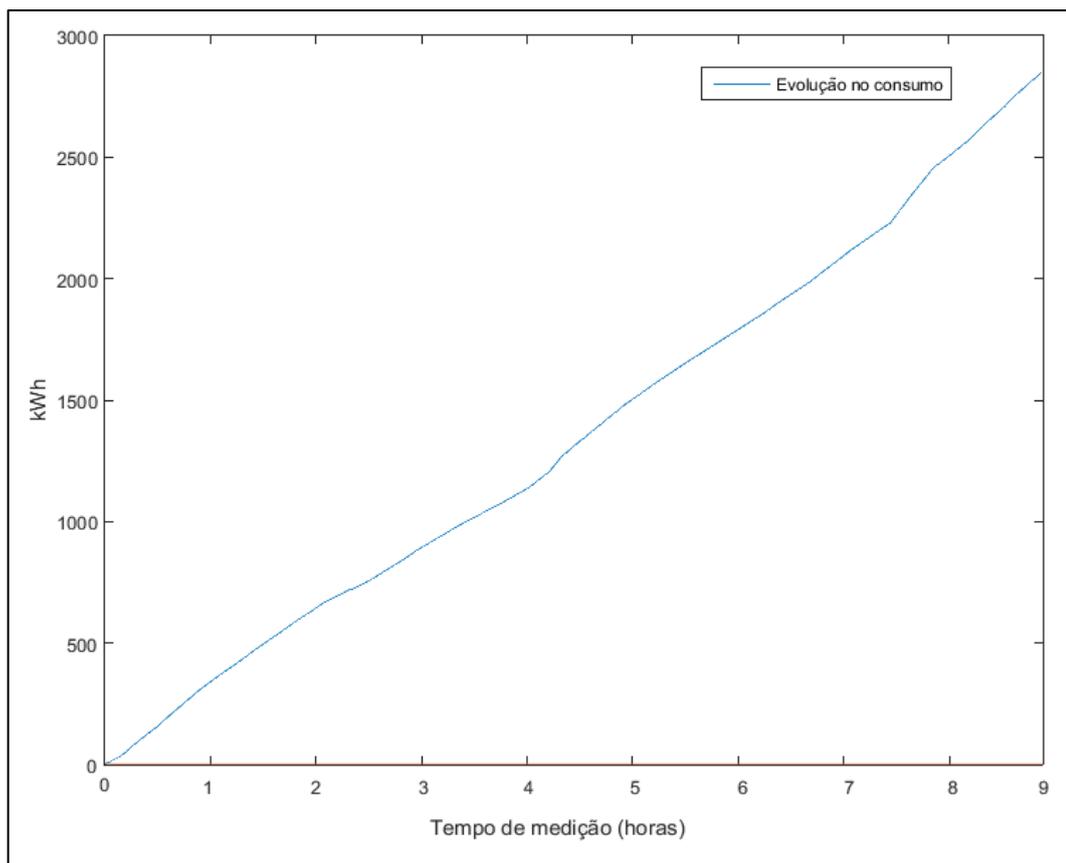


Figura 37 – Gráfico de evolução do consumo de energia elétrica (kWh)

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

O consumo total medido pelo sensor foi de 2754,54 kWh. Portanto o erro em relação ao valor medido pelo medidor de energia foi de cerca de 1,623%. Acredita-se que esta diferença pode ter sido resultado de erros de paralaxe do medidor analógico e aproximações de casas decimais, bem como da própria calibração do sensor de corrente no software.

#### 4.2.2 Temperatura

Esta análise terá o objetivo será avaliar a precisão do sensor na aferição da temperatura do ambiente comparando com a leitura de um dispositivo padrão. O dispositivo padrão, como já mencionado anteriormente, será um multímetro Minipa (Modelo ET-1110A) acoplado a um termopar do tipo K (conectado por pinos banana). De acordo com o manual deste equipamento, para temperaturas entre 0 a 100°C

(faixa de análise deste estudo), a precisão é de  $\pm 1\%$  da leitura +3D com resolução de  $1^\circ\text{C}$ . A montagem do sensor com o dispositivo padrão está mostrada na Figura 38.



Figura 38 – Visão geral dos equipamentos de medição de temperatura

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Concluída a montagem dos equipamentos, foram realizadas 20 medições com o sensor, de modo a obter uma maior confiabilidade nos dados obtidos. A medição foi realizada no dia 10/05/2017 às 17:30 horas, e a temperatura indicada pelo multímetro ficou estabilizada em  $19^\circ\text{C}$ . As medições obtidas pelo sensor estão indicadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados obtidos pelo sensor de temperatura.

Medições (em graus Celsius)				
19,0	19,2	19,1	18,9	18,9
19,1	19,2	19,0	19,0	19,0
19,1	19,1	19,0	19,0	19,0
19,1	19,2	19,1	18,9	18,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após a obtenção dos dados, foi realizada a média das 20 amostras e chegou-se ao valor de 19,04. O desvio padrão encontrado foi de 0,099 e coeficiente T de Student para 20 amostras, com um nível de confiança de 95,45%, é de 2,133. O valor médio da incerteza encontrado foi de 0,047. Portanto, o valor médio das medições encontradas pelo sensor foi de:

$$Vm_{95,45\%} = 19,04 \pm 0,047 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Este resultado prova que o sensor tem uma alta precisão quando comparado com o valor medido pelo multímetro, apresentando um erro de apenas 0,21%.

#### 4.2.3 Consumo de água

Por fim, o último estudo de viabilidade consistiu na análise do consumo de água da residência em um determinado período de tempo, comparando o valor obtido pelo sensor de fluxo de água com o medido pelo hidrômetro. Devido a impossibilidade de se utilizar o sensor logo após a saída do hidrômetro (risco de quebra da tubulação de água, bem como infiltrações e exposição a intempéries), resolveu-se instalar o equipamento entre a entrada do cano na caixa de água e a bóia de nível, como já visto na seção de metodologia. A montagem dos equipamentos, juntamente com o módulo Xbee, estão mostrados na Figura 39.



Figura 39 – Montagem do sistema de medição do consumo de água

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Finalizada a montagem, prosseguiu-se então com a coleta dos dados de ambos os equipamentos (hidrômetro e sensor de fluxo de água). A medição foi computada pelo período de 6 horas, durante o período da noite. A razão pela qual foi definida este período de tempo, reside no fato de que este era o horário no qual o consumo de água na residência era maior, e, portanto, geraria uma base de dados satisfatória para a comparação e análise dos resultados. A medição teve início às 18:08 horas do dia 10/05/2017 e se encerrou às 00:11 horas do dia 11/05/2017. No início da medição, o valor indicado pelo hidrômetro era de 1413,243 m<sup>3</sup>, como visto na Figura 40.



Figura 40 – Medição inicial do consumo de água

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Ao fim do período determinado, o valor indicado pelo hidrômetro era de 1413,365 m<sup>3</sup>, indicando o ponto final da medição, como visto na Figura 41.



Figura 41 – Medição final do consumo de água

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Subtraindo o valor final pelo inicial, o valor obtido durante o período de 6 horas foi de 0,122 m<sup>3</sup>.

Após o período de 6 horas, cessou-se a captura de dados pelo sensor, para que a análise do consumo pudesse ser observada. Os dados obtidos foram transplantados para uma base de dados, que por sua vez gerou um gráfico relacionando a evolução no consumo de água pelo tempo. A Figura 42 apresenta o gráfico obtido a partir destes dados.

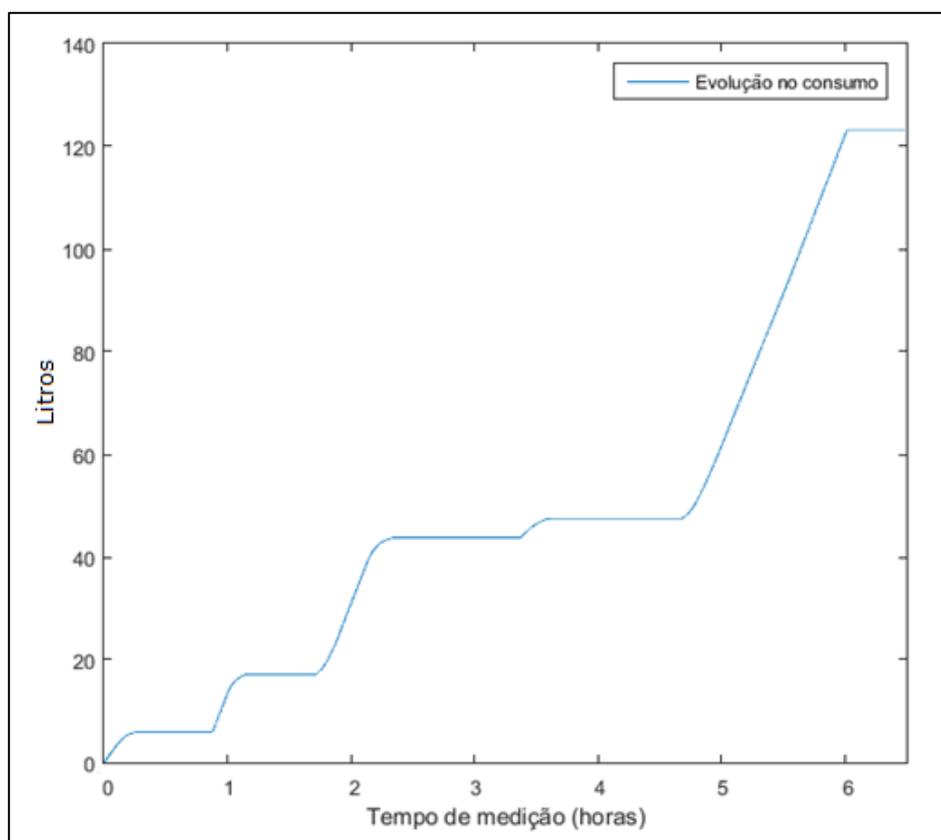


Figura 42 – Gráfico de evolução no consumo de água (litros)

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

O consumo total medido pelo sensor de fluxo de água, durante as 6 horas, foi de 123,06 litros, ou seja, 0,12306 m<sup>3</sup>. O erro entre o valor medido pelo hidrômetro e o valor medido pelo sensor foi de apenas 0,86%, mostrando que o sensor não apresenta uma grande discrepância no valor medido quando comparado com um equipamento padrão já validado (no caso, o hidrômetro).

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho tornou possível não apenas integrar conhecimentos de áreas diversas das engenharias tais como eletrônica de potência, metrologia, micro controladores, controle e redes industriais, bem como alcançar os objetivos propostos.

Como foram realizados dois estudos separados neste trabalho, as conclusões acerca de cada um deles serão explicadas em dois tópicos distintos.

- Estudo de viabilidade técnica e econômica

Neste estudo, foi possível verificar que os sensores (temperatura, corrente e tensão elétrica, consumo de água) apresentaram valores muito próximos aos encontrados pelos equipamentos padrões.

Em relação a medição do consumo de energia elétrica, o erro encontrado entre o sensor e o medidor de energia foi de apenas 1,623%, comprovando que o equipamento é preciso. Este erro poderia ser ainda menor caso o medidor de energia (que é analógico) fosse digital, eliminando assim o erro de paralaxe. Na análise do consumo de água, o erro entre o sensor e o hidrômetro foi ainda menor, de apenas 0,86%. Neste caso, a razão desta diferença ter sido ainda menor resulta no fato de que o hidrômetro apresenta uma resolução maior, aumentando a confiabilidade da medição. Por fim, na análise da temperatura, o erro encontrado entre os valores medidos pelo sensor com o aferido pelo multímetro foi de apenas 0,21%. Uma possível explicação para o fato deste erro ser tão baixo, reside no tipo de sensor utilizado para aferição da temperatura (LM35), que apresenta uma um fator de escala de apenas 10mV/°C, portanto, com uma alta precisão.

Sobre a questão da viabilidade econômica, os custos envolvidos para aquisição dos dispositivos utilizados estão apresentados na Tabela 9. Os preços referentes aos dispositivos foram uma média de valores encontrados ao realizar uma pesquisa no site de comércio eletrônico Mercado Livre® ([www.mercadolivre.com.br](http://www.mercadolivre.com.br)).

Tabela 9 – Custos de aquisição dos componentes.

Componente	Preço (R\$)	Quantidade
Arduino Mega 2560	45,00	1
Sensor Yf S201	27,00	1
Sensor SCT 013	40,00	1
Módulo Xbee Series 2	120,00	4
LDR	5,00	1
LM35	5,00	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O valor total para aquisição de todos os componentes foi de aproximadamente R\$602,00 (valor médio). Em um primeiro momento este valor pode parecer alto, mas ao compara-lo com os equipamentos já existentes no mercado, percebe-se que este custo acaba sendo vantajoso para o consumidor.

A primeira razão é que atualmente ainda não existe um equipamento voltado exclusivamente para monitorar o consumo de gastos tanto de energia elétrica como de consumo de água. A maioria dos produtos de automação residencial oferecidos no mercado são voltados para o controle de equipamentos eletroeletrônicos ou sistemas de vigilância.

A segunda razão reside no fato deste ser um sistema com código aberto, ou seja, o fato de poder se trabalhar com a plataforma Arduino permite que o consumidor tenha acesso total as funções do equipamento que está utilizando, além da versatilidade de poder implementar outros tipos de sensores além destes utilizados neste trabalho (corrente e tensão elétrica, temperatura e consumo de água), tais forem as necessidades de uso.

- Estudo dos efeitos da geração de harmônicos em redes Zigbee

Em relação ao estudo dos efeitos da geração de harmônicas em redes ZigBee, pode-se comprovar que quanto mais distorcida a onda de corrente, maior era a diferença na medição entre o dispositivo padrão e o sensor avaliado, contrariando as suposições iniciais de que os resultados não sofreriam influências.

Como sugestão para trabalhos futuros poderia ser feito um aplicativo no qual o usuário poderia verificar o consumo dos equipamentos de sua residência

diretamente na tela do seu celular, estabelecendo um limite em termos monetários (mais fácil de ser compreendido por usuários leigos) e tendo assim um maior controle sobre seu consumo de energia e água. Também pode-se encontrar maneiras mais eficazes de proteger os dispositivos contra os efeitos de distorções harmônicas na rede, aumentando a confiabilidade das medições, como por exemplo o uso de filtros (tanto passivos quanto ativos) no circuito.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Home Page**, 2011. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.

AURESIDE. **Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial**, 2014. Disponível em: < <http://www.aureside.org.br/quemsomos> >. Acesso em 12 de outubro de 2016.

BANZI, M. **Primeiros Passos com Arduino**. 1. ed. São Paulo: Novatec, v. 1, 2011.

CABRAL, Paulo. **Erros e incertezas nas medições**, Apostila, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/hdgY4s>>. Acesso em 03 de maio de 2017.

CHAPMAN, D. **Qualidade de energia – Harmônicas. Instalações elétricas de baixa tensão. Schneider Electric Workshop**, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/EwHeHT>>. Acesso em 25 de outubro de 2016.

CIDADES. **Paraná online**, 2015. Disponível em:<<http://goo.gl/eNYOgz>>. Acesso em 25 de abril de 2016.

D. YEOLEKAR, Dipti; H. H. KULKAMI e D. G. BHARADWAJ. **Combined Zigbee & GSM approach for AMR in harmonic monitoring and assessment on smartphone**. Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2015 IEEE International Conference, Coimbatore, 2015, pp. 1-7.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial – Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

EMBARCADOS. **Arduino MEGA 2560**. Disponível em: <<https://goo.gl/NgnjJt>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.

FARAHANI, Sahin. **Zigbee wireless networks and trasceivers**. 1 ed. Oxford: Newnes, 2008. 364 p.

FALUDI, Robert. **Building Wireless Sensor Networks**. 1. ed. United States of America: O'Reilly, 2011.

HERNANDEZ, Helton Xavier; KALIL, Fahad. **Viabilidade da plataforma Arduino e do protocolo ZigBee na elaboração de redes de sensores sem fio (RSSF)**, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/W7Fppd>> Acesso em 21 de outubro de 2016.

KNOTT, Jason. **Percentage of New Homes with Lighting Control Doubles Over 2 Years**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/Ull4xq>>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

MESSIAS, Antônio R. **Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/H6jnLE>>. Acesso em: 25 de outubro de 2016.

MURATORI, José Roberto; BÓ, Paulo Henrique Dal. **Automação residencial: Histórico, definições e conceitos**. O Setor Elétrico, São Paulo, v. 6, n. 62, p.70-77, nov. 2011. Mensal. Disponível em: <<https://goo.gl/A77SL9>>. Acesso em: 20 de outubro de 2016.

McROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

RELM. **Apresentação da empresa**. Relm Chatral telecomunicações Ltda, 2016. Disponível em: <<http://www.relm.com.br/files/down-13.pdf>>. Acesso em 12 de maio de 2016.

SCHNEIDER, Paulo. **Incertezas de medição e ajuste de dados**. Apostila, 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/Rt2gxl>>. Acesso em 04 de maio de 2017.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre saneamento**. 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/RfC8Ub>>. Acesso em 16 de julho de 2016.

ZAMBIANCO, José Douglas Bertazzoni. **Sistema para monitoramento detalhado do consumo elétrico residencial utilizando rede de sensores ZigBee**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Faculdade de engenharia elétrica e computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

WLOCZYSIAK, Stephane. **Budgeting Harmonics for ZigBee Front End Modules**. 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/VIWZy7>>. Acesso em: 21 de outubro de 2016.

## ANEXOS

### ANEXO A – DATASHEET DO SENSOR DE TEMPERATURA LM35 (T092)

LM35



SNIS159C – AUGUST 1999 – REVISED JULY 2013

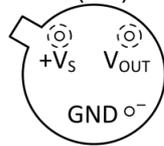
www.ti.com



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

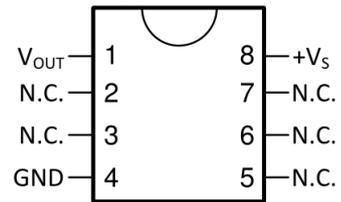
#### CONNECTION DIAGRAMS

METAL CAN PACKAGE  
TO (NDV)



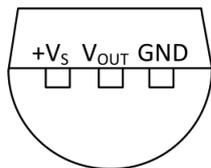
Case is connected to negative pin (GND)

SMALL-OUTLINE MOLDED PACKAGE  
SOIC-8 (D)  
TOP VIEW

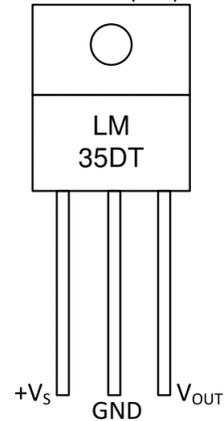


N.C. = No connection

PLASTIC PACKAGE  
TO-92 (LP)  
BOTTOM VIEW



PLASTIC PACKAGE  
TO-220 (NEB)



Tab is connected to the negative pin (GND).

**NOTE:** The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**<sup>(1)(2)</sup>

		MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage		-0.2	35	V	
Output voltage		-1	6	V	
Output current			10	mA	
Electrostatic discharge (ESD) susceptibility <sup>(3)</sup>			2500	V	
Storage temperature	TO Package	-60	180	°C	
	TO-92 Package	-60	150		
	TO-220 Package	-65	150		
	SOIC-8 Package	-65	150		
Lead temperature	TO Package (soldering, 10 seconds)		300	°C	
	TO-92 and TO-220 Package (soldering, 10 seconds)		260		
	SOIC Package	Infrared (15 seconds)			220
		Vapor phase (60 seconds)			215
Specified operating temperature range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ <sup>(4)</sup>	LM35, LM35A		-55	150	°C
	LM35C, LM35CA		-40	110	
	LM35D		0	100	

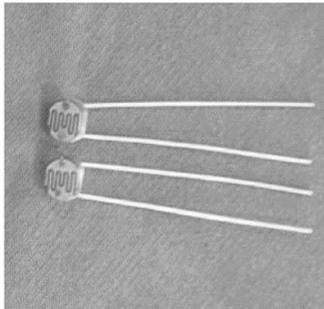
- (1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See [Note 1](#).
- (3) Human body model, 100 pF discharged through a 1.5-kW resistor.
- (4) Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the [APPLICATIONS](#) section.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**<sup>(1)(2)</sup>

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	
Accuracy <sup>(5)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	±0.3			±0.3		±1	
	$T_A = T_{MAX}$	±0.4	±1		±0.4	±1		
	$T_A = T_{MIN}$	±0.4	±1		±0.4		±1.5	
Nonlinearity <sup>(6)</sup>	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b>±0.18</b>		<b>±0.35</b>	<b>±0.15</b>		<b>±0.3</b>	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b>+10</b>	<b>+9.9, +10.1</b>		<b>+10</b>		<b>+9.9, +10.1</b>	mV/°C
Load regulation <sup>(7)</sup> $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.4	±1		±0.4	±1		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b>±0.5</b>		<b>±3</b>	<b>±0.5</b>		<b>±3</b>	
Line regulation <sup>(7)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	<b>±0.02</b>		<b>±0.1</b>	<b>±0.02</b>		<b>±0.1</b>	

- (1) Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq 150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = 5 \text{ Vdc}$  and  $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$ , in the circuit of [Figure 2](#). These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{MAX}$  in the circuit of [Figure 1](#). Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.
- (2) Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.
- (3) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.
- (4) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.
- (5) Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10 mV/°C times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).
- (6) Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.
- (7) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

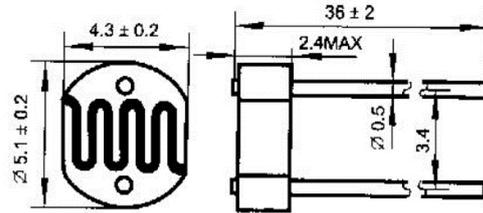
ANEXO B – DATASHEET DO SENSOR DE LUMINOSIDADE LDR



- ▲ Epoxy encapsulated
- ▲ Quick response
- ▲ Small size
- ▲ High sensitivity
- ▲ Reliable performance
- ▲ Good characteristic of spectrum

Light Resistance at 10Lux (at 25°C)	8~20KΩ
Dark Resistance at 0 Lux	1.0MΩ(min)
Gamma value at 100-10Lux	0.7
Power Dissipation(at 25°C)	100mW
Max Voltage (at 25°C)	150V
Spectral Response peak (at 25°C)	540nm
Ambient Temperature Range:	- 30~+70°C

Outline

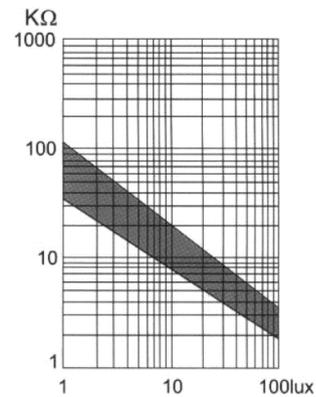


Measuring Conditions

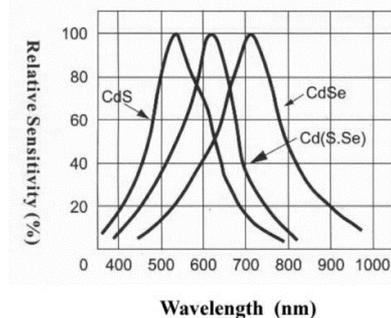
1. Light Resistance: measured at 10 lux with standard light A (2854k color temperature) and 2h pre-illumination at 400-600 lux prior to testing.
2. Dark Resistance: measured 10 seconds after pulsed 10 lux.
3. Gamma Characteristic: between 10 lux and 100 lux and given by  

$$T = \frac{\log (R_{10}/R_{100})}{\log (100/10)} = \log (R_{10}/R_{100})$$
 R10, R100 cell resistance at 10 lux and 100 lux. The error of T is +0.1.
4. Pmax: Max. power dissipation at ambient temperature of 25°C.
5. Vmax: Max. voltage in darkness that may be applied to the cell continuously.

Illuminance Vs. Photo Resistance



Spectral Response



ANEXO C – DATASHEET DO SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201

YIFA the plastics Ltd  
Product Introduction

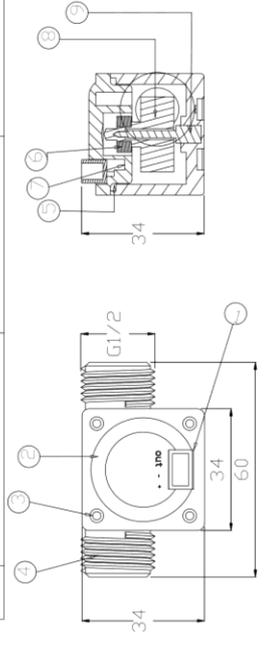
1. Model: YF-21  
 2. Product Name: Hall sensor  
 3. Flow Range: 1-30L/MIN  
 4. (1) Connection Method



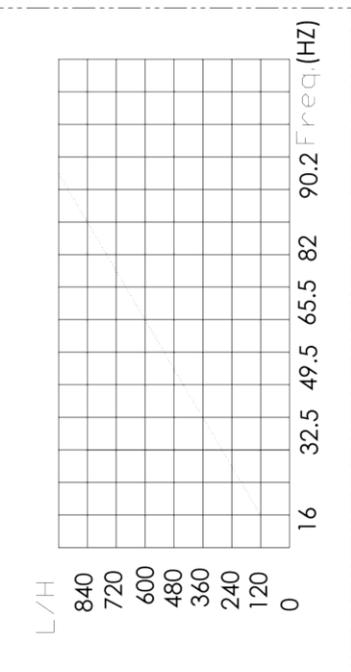
(2) Voltage Range 3.5-24VDC; Pulse Characteristic:  $F=7Q(L/MIN)$ .  
 (3) Coefficient of error:  $\pm 5\%$ .  
 (4) Flow-Pulse  
 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ  
 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5. BOM

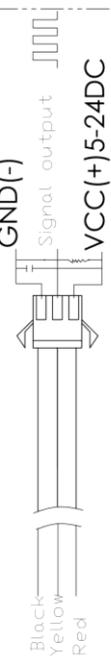
No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
→. Flow Range: 100L/H-1800H-L/H		
Flow (L/H)	Freqz.(HZ)	Erro range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	



Connection method:



ANEXO D – DATASHEET DO SENSOR DE CORRENTE SCT 013

**Model:** SCT-013 **Rated input current:** 5A/100A

**Characteristics:** Opening size: 13mm\*13mm,  
 Non-linearity±3% (10%—120% of rated input current)  
 1m leading wire, standard Φ3.5 three core plug output.  
 Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

**Purpose:** Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

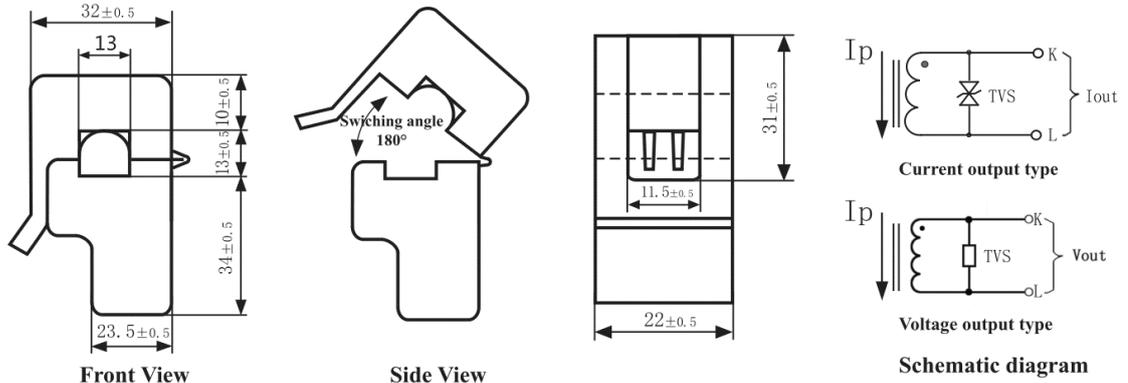
**Core material:** ferrite

**Mechanical strength:** the number of switching is not less than 1000 times(test at 25°C)

**Safety index:** Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min  
 Fire resistance property: In accordance with UL94-Vo  
 Work temperature: -25°C ~+70°C



**Outline size diagram: (in mm)**



Front View

Side View

Schematic diagram

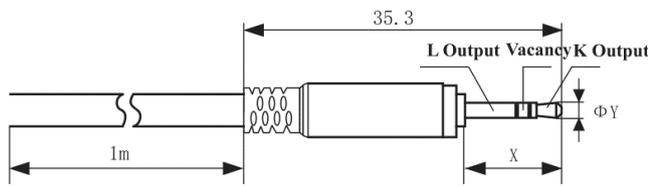


Diagram for standard three-core plug

Three-core plug size

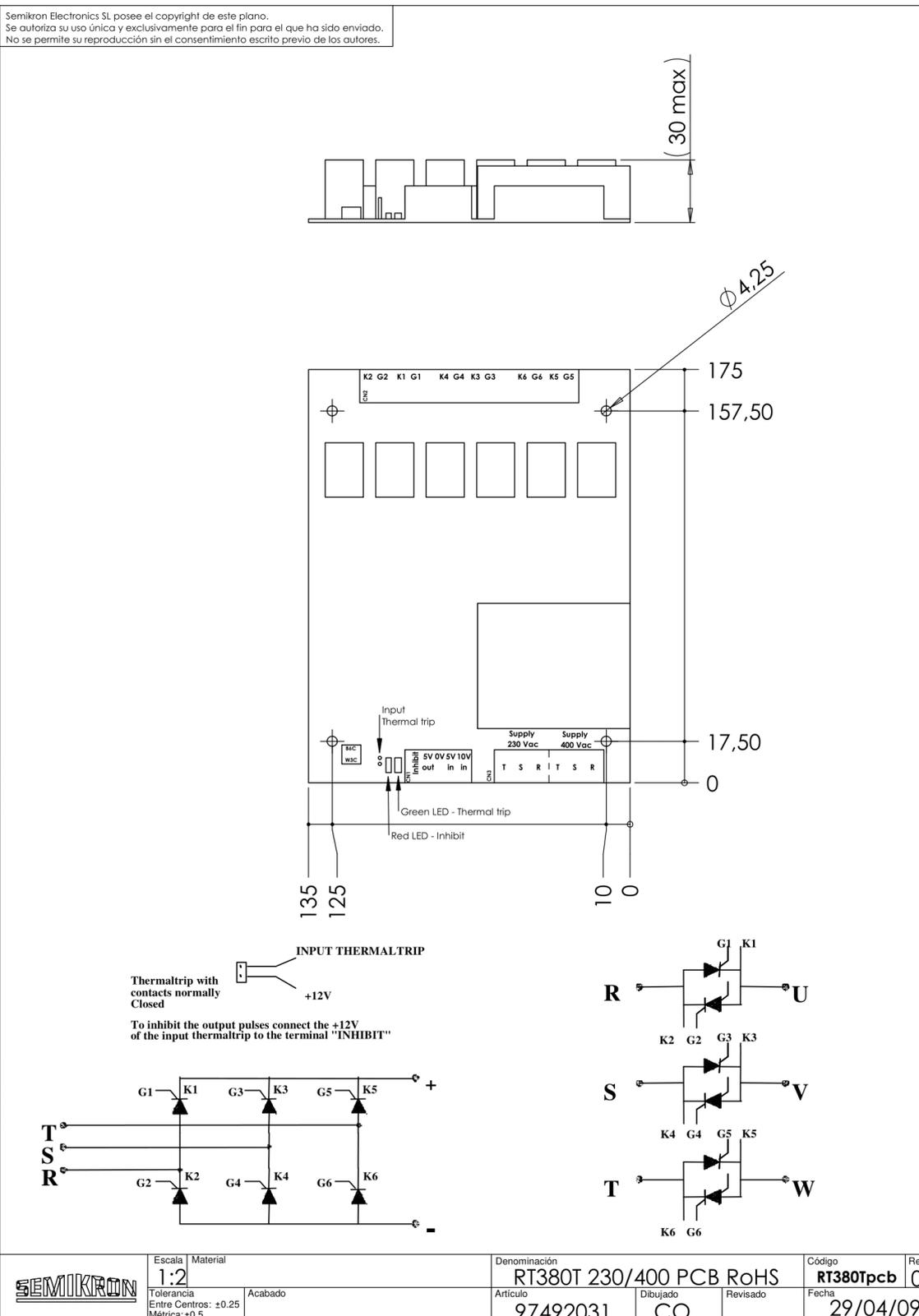
	X	Y	
2.5mm Audio Plug	11.9	2.5	Optional
3.5mm Audio Plug	15.0	3.5	standard

**Table of technical parameter:**

<b>Model</b>	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
<b>Input current</b>	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
<b>Output type</b>	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
<b>Model</b>	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
<b>Input current</b>	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
<b>Output type</b>	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

ANEXO E – DATASHEET DA PLACA DE CONTROLE RT380T



## ANEXO F – DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT

N.º de graus de liberdade <i>v</i>	Nível de Probabilidade, <i>p</i> (*)					
	68.27%	90%	95%	95.45%	99%	99.73%
1	1.837	6.314	12.71	<b>13.97</b>	63.66	235.8
2	1.321	2.920	4.303	<b>4.527</b>	9.925	19.21
3	1.197	2.353	3.182	<b>3.307</b>	5.841	9.219
4	1.142	2.132	2.776	<b>2.869</b>	4.604	6.620
5	1.111	2.015	2.571	<b>2.649</b>	4.032	5.507
6	1.091	1.943	2.447	<b>2.517</b>	3.707	4.904
7	1.077	1.895	2.365	<b>2.429</b>	3.499	4.530
8	1.067	1.860	2.306	<b>2.366</b>	3.355	4.277
9	1.059	1.833	2.262	<b>2.320</b>	3.250	4.094
10	1.053	1.812	2.228	<b>2.284</b>	3.169	3.957
11	1.048	1.796	2.201	<b>2.255</b>	3.106	3.850
12	1.043	1.782	2.179	<b>2.231</b>	3.055	3.764
13	1.040	1.771	2.160	<b>2.212</b>	3.012	3.694
14	1.037	1.761	2.145	<b>2.195</b>	2.977	3.636
15	1.034	1.753	2.131	<b>2.181</b>	2.947	3.586
16	1.032	1.746	2.120	<b>2.169</b>	2.921	3.544
17	1.030	1.740	2.110	<b>2.158</b>	2.898	3.507
18	1.029	1.734	2.101	<b>2.149</b>	2.878	3.475
19	1.027	1.729	2.093	<b>2.140</b>	2.861	3.447
20	1.026	1.725	2.086	<b>2.133</b>	2.845	3.422
25	1.020	1.708	2.060	<b>2.105</b>	2.787	3.330
30	1.017	1.697	2.042	<b>2.087</b>	2.750	3.270
35	1.015	1.690	2.030	<b>2.074</b>	2.724	3.229
40	1.013	1.684	2.021	<b>2.064</b>	2.704	3.199
45	1.011	1.679	2.014	<b>2.057</b>	2.690	3.176
50	1.010	1.676	2.009	<b>2.051</b>	2.678	3.157
100	1.005	1.660	1.984	<b>2.025</b>	2.626	3.077
∞	1.000	1.645	1.960	<b>2.000</b>	2.576	3.000