

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

**DANILO MARCATO SILVA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE POWER LINE  
COMMUNICATION COM MICROCONTROLADOR NA AUTOMAÇÃO  
RESIDENCIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2015**

**DANILO MARCATO SILVA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE POWER LINE  
COMMUNICATION COM MICROCONTROLADOR NA AUTOMAÇÃO  
RESIDENCIAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Amauri Amorin Assef

**CURITIBA**

**2015**

Danilo Marcato Silva

# ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE POWER LINE COMMUNICATION COM MICROCONTROLADOR NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

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, 08 de Julho de 2015.

---

Prof Paulo Sergio Walenia,  
Coordenador de Curso  
Engenharia de Controle e Automação

---

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

## ORIENTAÇÃO

---

Amauri Amorin Assef, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

## BANCA EXAMINADORA

---

Amauri Amorin Assef, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

---

Guilherme Luiz Moritz, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Glauber Gomes de Oliveira Brante, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

SILVA, Danilo M. **Estudo e aplicação de Power line Communication com microcontrolador na automação residencial**. 2015. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Controle e Automação), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O presente trabalho teve como escopo apresentar os conceitos fundamentais acerca da tecnologia de transmissão de dados através da rede elétrica para automação residencial (domótica), comumente conhecida como *Power Line Communication* (PLC). Foi feito um estudo de mercado e comprado um modem PLC, então este foi testado em laboratório sobre seu comportamento em uma rede elétrica comum. Feita a confirmação da viabilidade do uso do módulo, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso (PCB), que com um sistema microcontrolado faz o uso do PLC junto de um módulo de Bluetooth para confeccionar o sistema de domótica. Todo o sistema foi elaborado para ser comandado através de um aplicativo de *smartphone* que foi desenvolvido neste projeto. Ao final foram discutidos os resultados obtidos com a implantação do protótipo de automação residencial abordando os aspectos didáticos e de aplicação do sistema desenvolvido.

**Palavras chave:** Power Line Communication. Automação Residencial. Sistema Microcontrolado.

## ABSTRACT

SILVA, Danilo M. **Feasibility study of the application of power line communication with microcontroller in home automation**. 2015. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Controle e Automação), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

This work presents the fundamental concepts about the data transmission technology through power grid for home automation (domotics), commonly known as Power Line Communication (PLC). A market study was made and a PLC modem was bought and tested in the laboratory on their behavior in a common grid. Taken to confirm in the viability of the use of the module, a printed circuit board is developed (PCB) with a microcontroller system that makes use of a PLC together with a Bluetooth module for making the domotics system. The entire system is designed to be controlled through a smartphone application that was developed in this project. At the end, the results were discussed upon the implementation of the home automation prototype addressing the educational aspects and application of the developed system.

**Keywords:** Power Line Communication. Home Automation. Microcontrolled System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de uma rede Domótica. ....	12
Figura 2: Exemplos de modulação por pulsos digitais. ....	20
Figura 3: Densidade espectral de um sinal em banda e um sinal “espalhado”. ....	22
Figura 4: Módulo de Aplicação Pam04 Heavy Duty da X10 home Gadgets. ....	23
Figura 5: Mini Controladora PMC01 com protocolo de comunicação X10. ....	24
Figura 6: Placa <i>Modem</i> PLC 1187 da empresa Sunrom. ....	26
Figura 7: Placa <i>Modem</i> PLC BW-EP10A. ....	27
Figura 8: Modo geral de transmissão de dados de suporte. ....	31
Figura 9: Diagrama da transmissão por tamanho de quadro fixo. ....	32
Figura 10: Foto do microcontrolador PIC16F877A. ....	33
Figura 11: Diagrama do sistema de teste. ....	34
Figura 12: Módulo Conversor Serial-USB. ....	35
Figura 13: Módulo Bluetooth HC-06. ....	35
Figura 14: Aplicativo ( <i>app</i> ) Bluetooth Terminal. ....	37
Figura 15: Montagem do aplicativo. ....	38
Figura 16: Programação do <i>app</i> em blocos. ....	38
Figura 17: <i>Kit</i> MICROPIC_DAELT_UTFPR versão 0. ....	39
Figura 18: Cabos de energia de 25 metros para testes. ....	41
Figura 19: Variac para varia a tensão de 0V até 147V. ....	42
Figura 20: Reostato para variar a carga na rede. ....	42
Figura 21: Ferramenta ISIS do <i>software</i> Proteus 8 Professional. ....	44
Figura 22: <i>Layout</i> do PCB do módulo de comunicação com a ferramenta ARES do <i>software</i> Proteus 8 Professional. ....	45
Figura 23: Módulo de comunicação montado em PCB. ....	46
Figura 24: Foto do módulo formado pela placa microcontrolada e pelo módulo PLC. ....	47
Figura 25: Telas do <i>software</i> terminal virtual Tera Term. (a) Informações sobre o recebimento de <i>bytes</i> do módulo escravo. (b) Informações sobre o envio de <i>bytes</i> do módulo mestre. ....	48
Figura 26: Equipamentos e materiais utilizados para teste em laboratório. ....	49
Figura 27: Conexões, reostato na rede, fonte 12 Vcc no módulo PLC e PIC16F877A. ....	49
Figura 28: Telas do <i>software</i> Tera Term indicando o sucesso dos 100 caracteres enviados. ....	54
Figura 29: Sistema de teste <i>in loco</i> ligado à rede elétrica através de uma extensão, formado por com uma fonte chaveada de 12 Vcc e pelo módulo mestre. ....	55
Figura 30: Sistema de teste <i>in loco</i> ligado diretamente à rede elétrica, formado por com uma fonte chaveada de 12 Vcc e pelo módulo escravo. ....	56
Figura 31: Aplicativo para <i>smartphone</i> desenvolvido. ....	57

Figura 32: Teste de acionamento de lâmpada com módulo de AR via aplicativo de *smartphone*. .....57

## LISTA DE TABELA

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos módulos com protocolo de comunicação X-10.....	25
Tabela 2: Vantagens e desvantagens do do <i>Modem</i> PLC Modelo 1187.....	26
Tabela 3: Vantagens e desvantagens do do <i>Modem</i> PLC Modelo 1187.....	28
Tabela 4: Lista dos componentes e materiais utilizados. ....	46
Tabela 5: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 100 bps. ....	50
Tabela 6: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 200 bps. ....	51
Tabela 7: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 300 bps. ....	51
Tabela 8: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 400 bps. ....	51
Tabela 9: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 500 bps. ....	52
Tabela 10: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 600 bps. ....	52
Tabela 11: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 100 bps. ....	52
Tabela 12: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 200 bps. ....	53
Tabela 13: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 300 bps. ....	53
Tabela 14: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 400. ....	53
Tabela 15: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 500 bps (média de 10 medidas em cada caso).....	53
Tabela 16: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 600 bps. ....	54
Tabela 17: Testes em rede residencial. Média de 10 medidas em cada velocidade de transmissão disponível. ....	56
Tabela 18: Relação de intervalo de tempo (em milisegundos) x média de pacotes recebidos para 100 bps. ....	58
Tabela 19: Relação de intervalo de tempo (em milisegundos) x média de pacotes recebidos para 600 bps. ....	59



## LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SIGLAS

AC	Corrente Alternada
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
AR	Automação Residencial
BPL	<i>Broadband Over Power Lines</i>
bps	<i>Bits per second</i>
CC	Corrente Contínua
CCP	<i>Capture/Compare/PWM</i>
CDM	<i>Code-Division Multiplexing</i>
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
DSB-SC	<i>Double Sideband-Suppressed Carrier</i>
DS-SS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
FDM	<i>Frequency-Division Multiplexing</i>
FH-SS	<i>Frequency Hoping Spread Spectrum</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MCU	Microcontrolador
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
OS	<i>Operating System</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PM	<i>Phase Modulation</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RXD	<i>Receive Data Pin</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TDM	<i>Time-Division Multiplexing</i>
TXD	<i>Transmit Data Pin</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	12
1.2 PROBLEMA .....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	14
1.4 OBJETIVOS .....	14
1.4.1 Objetivos Específicos .....	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 HISTÓRICO DO POWER LINE COMMUNICATION .....	17
2.2 TÉCNICAS DE MODULAÇÃO .....	19
2.2.1 Modulação por Pulsos .....	19
2.2.1.1 Modulação por Pulsos Digitais .....	20
2.3 MULTIPLEXAÇÃO DO SINAL .....	21
2.3.1 Spread Spectrum .....	21
2.4 EQUIPAMENTOS PLCS OFERTADOS NO MERCADO ATUAL .....	23
2.4.1 Aplicações baseadas no protocolo X-10 .....	23
2.4.1.1 Módulo Pam04 Heavy Duty Appliance .....	23
2.4.1.2 Mini Concentradora PMC01 .....	24
2.4.2 Aplicações baseadas em protocolo de comunicação aberto .....	25
2.4.2.1 Placa <i>Modem</i> PLC Modelo 1187 .....	25
2.4.2.2 Módulo PLC BW-EP10A .....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1 FUNCIONAMENTO DETALHADO DO MÓDULO PLC BW-EP10A .....	29
3.1.1 Taxa de Transmissão do Sinal Portador .....	29
3.1.2 Taxa de Transmissão da Porta Serial/COM .....	30
3.1.3 Modo de Transmissão por Taxa de Dados Ajustável .....	30
3.1.3.1 Transmissão por Quantidade de <i>Bytes</i> .....	31
3.1.3.2 Transmissão por Tamanho de Quadro Fixo .....	31
3.2 MICROCONTROLADOR .....	32
3.3 MÓDULO CONVERSOR SERIAL PARA USB .....	34
3.4 MÓDULO DE BLUETOOTH .....	35
3.4.1 Lista de comandos .....	35
3.5 APLICATIVO PARA SMARTPHONE .....	37
3.6 KIT MICROPIC DAELT PARA TESTES .....	39
3.7 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DE TESTE DO SISTEMA .....	39
3.7.1 Qualidade do sinal variando a distância .....	40
3.7.1.1 Qualidade do sinal variando a carga e tensão na rede .....	41
3.7.1.2 Velocidade máxima de comunicação entre módulos .....	42

3.7.2 Locais de testes .....	43
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
4.1 CONFECÇÃO DOS MÓDULOS .....	44
4.2 SISTEMA DE TESTE EM LABORATÓRIO.....	47
4.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DO SINAL.....	50
4.3.1 Avaliação do tempo de intervalo entre pacotes transmitidos .....	58
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	61
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A - FIRMWARE DE TESTE DE COMUNICAÇÃO DO MÓDULO MESTRE .....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE B - FIRMWARE DE TESTE DE COMUNICAÇÃO DO MÓDULO ESCRAVO.....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE C - FIRMWARE FINAL DO SISTEMA DESENVOLVIDO DO MÓDULO CENTRAL .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE D - FIRMWARE FINAL DO SISTEMA DESENVOLVIDO DO MÓDULO PERIFÉRICO .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE E - CÓDIGO DO APLICATIVO PARA SMARTPHONE .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por melhor qualidade de vida, segurança e bem-estar vêm estimulando progressivamente o desenvolvimento de soluções tecnológicas aplicadas em diferentes níveis da atividade humana. Nessa visão, sistemas para automação residencial (AR) oferecem valiosas possibilidades dentro de um conjunto de serviços proporcionados por sistemas tecnológicos que, se bem agregados às instalações domésticas, possibilitam satisfazer as necessidades básicas de segurança, comunicação e gestão facilitando as atividades de uma habitação.

Nesse contexto, o termo “Domótica”, resultante da palavra “Domus” com “Telemática” (eletrônica + informática) é amplamente utilizado e tem um significado abrangente, englobando automatização e controle residencial. A tecnologia envolvida na transmissão e troca de informações entre os dispositivos de integração do sistema, isto é, módulos envolvidos na AR, permite aos atuadores a execução de tarefas a partir de instruções provenientes de interfaces previamente programadas, bem como o acesso a informações de diferentes tipos de sensores, como por exemplo, temperatura, umidade, etc. Dessa forma, nota-se que a instalação de tecnologia em residências assume também uma função social importante valorizando o bem estar do usuário, bem como valorizando o uso racional dos recursos para seus habitantes (MURATORI & BÓ, 2011).

Segundo Dias e Pizzolato (IBGE, 2010) e de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no senso de 2010 o aumento da expectativa de vida dos brasileiros associado à baixa taxa de natalidade são fortes indicativos para uma sociedade brasileira mais envelhecida, passando maior tempo em suas residências e valorizando cada vez mais recursos que possibilitem maior comodidade. Assim, a perspectiva é que nos próximos anos soluções tecnológicas sejam cada vez mais valorizadas e almejadas para integrar ambientes residenciais, fortalecendo, assim, a motivação em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos que viabilizem de uma forma mais simples, econômica e eficiente à instalação sem a necessidade de grandes reformas de projeto (IBGE, 2010).

Como forma ilustrativa, a Figura 1, adaptado de CRSOLUTION (2013), apresenta um exemplo de mobilidade que o cabeamento da rede elétrica proporciona ao usuário dentro de uma casa. Neste caso, a solução de trafegar dados entre controladores, para diferentes tipos de aplicações, através da

infraestrutura de cabeamento da própria rede, possibilita uma otimização de redução, como, materiais, mão de obra, consumo de energia, etc.

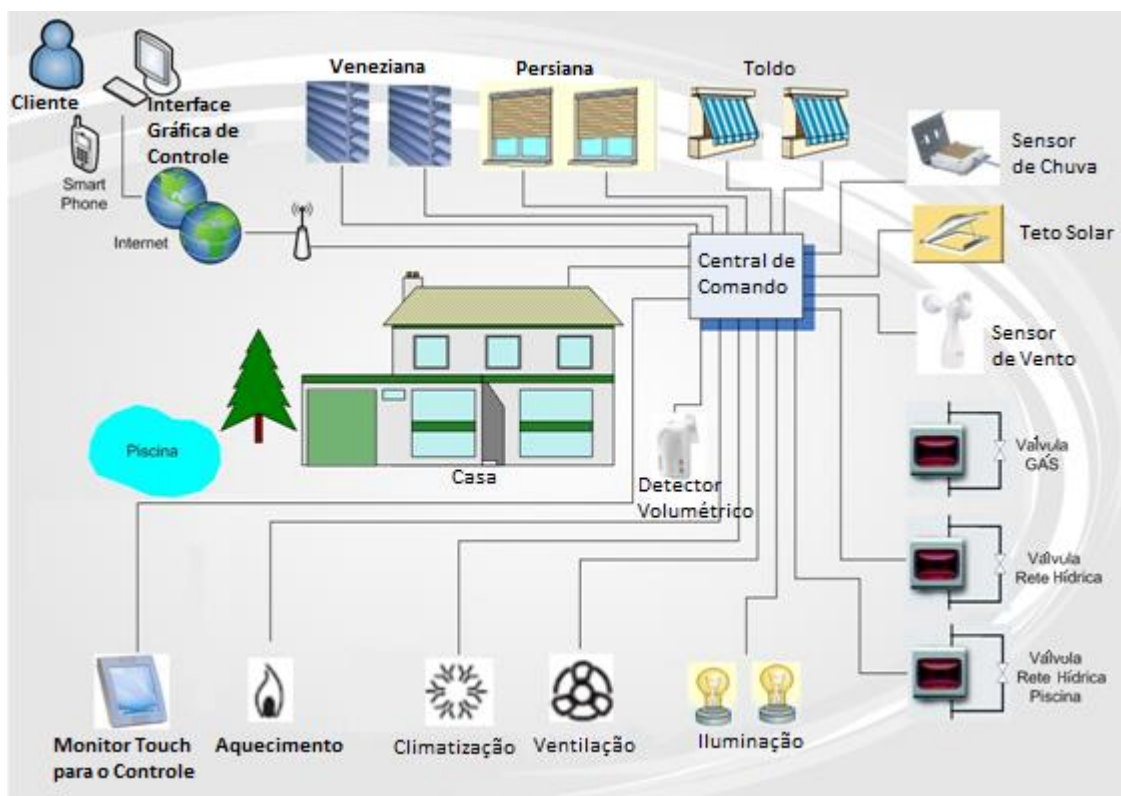


Figura 1: Exemplo de uma rede Domótica.

Fonte: Adaptado de CRSOLUTION (2013).

Com esse propósito, o presente trabalho é focado no desenvolvimento e avaliação de uma rede de Domótica de baixo custo utilizando módulos microcontrolados para transmissão e recepção de dados com capacidade de efetuar acionamentos e leitura de parâmetros do ambiente utilizando como meios físicos a rede elétrica já existente – *Power Line Communication* (PLC) – e a rede sem fio (*wireless*). No último caso, foi adotada a tecnologia Bluetooth para desenvolvimento de uma aplicação baseada em *smartphone* para interface remota com o usuário.

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Dentro do tema exposto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) aborda especificamente o desenvolvimento e a avaliação de um sistema de

Domótica que possibilite o uso das instalações elétricas de uma residência através de PLC. O sistema é formado por módulos microcontrolados que serão comandados de forma local, utilizando botões e um *display* de cristal líquido 16 x 2 (LCD – *Liquid Crystal Display*), ou via rede sem fio, através de uma aplicação de *software* desenvolvida para *smartphone* utilizando a tecnologia de comunicação sem fio Bluetooth. Durante a implementação da rede, foram utilizados módulos comerciais PLC e aplicados métodos para avaliar a confiabilidade da comunicação de comandos via a rede elétrica.

## 1.2 PROBLEMA

A automação residencial ou Domótica é um tópico muito atual e cada vez mais presente, principalmente em empreendimentos de alto padrão ofertados à população nos grandes centros urbanos. Frequentemente abordada em livros, filmes e filmes de ficção científica, as funcionalidades da AR incluem, por exemplo, ligar uma televisão no canal e horários programados, controlar a climatização de um ambiente, verificar através da *internet* se uma porta foi fechada e se o alarme ativado quando o usuário saiu de casa, entre outras aplicações.

Contudo, tomando-se em conta a realidade atual de muitas famílias, principalmente no Brasil, na maioria dos casos ainda não é um sistema viável financeiramente, principalmente pela necessidade de reforma em residências já prontas e que não foram construídas visando futuramente receber um sistema desse tipo. Aqui pode-se citar como exemplo, a utilização de calhas elétricas para a passagem dos cabos de comunicação, bem como com alterações no projeto elétrico da residência.

Para contornar estes problemas, atualmente existem basicamente dois tipos de tecnologia, as sem fio (*wireless* e *bluetooth*) e *modems* de comunicação via rede elétrica PLC. Entretanto, dado a falta de estudos na aplicação deste, viu-se a oportunidade, com este trabalho, de se obter mais informações sobre o *modem*.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Durante o curso de Engenharia de Controle e Automação da UTFPR foi dada ênfase a busca por soluções tecnológicas inovadoras para simplificação de processos e tarefas, bem como otimização da relação custo-benefício. Neste trabalho é apresentada a oportunidade de desenvolver-se e avaliar um sistema simples, eficaz e econômico que poderá ser aplicado no crescente mercado da Domótica.

Através da tecnologia PLC, aliada com a utilização de dispositivos *smartphones* para comando de acionamentos e leitura de parâmetros de um ambiente monitorado, é analisada a real possibilidade de se reduzir custos inerentes à automatização de uma residência que não fora previamente projetada para receber tal tecnologia. Trata-se de uma extensão do trabalho apresentado pelos autores Tavares et al. (2014), na UTFPR, que desenvolveram um sistema baseado em PLC através do protocolo de comunicação X-10. Tal protocolo de comunicação baseia-se na “injeção” de sinais de alta-frequência (120 kHz) sobre a rede elétrica em instantes que coincidem com a passagem por zero da onda senoidal. Diferente do trabalho mencionado, esta pesquisa irá avaliar o funcionamento de módulos PLC de uso comercial para conexão direta com microcontroladores via interface serial UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). A descrição detalhada do protocolo X-10 pode ser verificada no trabalho apresentado por Tavares et al. (2014).

### 1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de mercado em cima de módulos PLC, avaliar a eficácia na transmissão de dados deste e viabilidade para aplicação em AR, e por fim, desenvolver uma interface gráfica desenvolvida para *smartphone* para acionamento de lâmpadas.

### 1.4.1 Objetivos Específicos

- Estudar o sistema de transmissão de dados via PLC;
- Pesquisar os produtos PLC ofertados no mercado atual e adotar um módulo para o desenvolvimento do TCC;
- Pesquisa das tecnologias para implementação da aplicação para *smartphone* para controle do sistema;
- Avaliar e definir as interfaces necessárias aos sistemas microcontrolados central e periférico para conexão com os módulos PLC, controle local e via rede sem fio;
- Desenvolver e simular a programação dos microcontroladores dos dois módulos adotados no trabalho;
- Montar o módulo central com controle local do usuário e via *smartphone* para transferência de dados por PLC;
- Montar o módulo periférico microcontrolado com interface de comando para um relé de 220VCA/10A com três contatos para acionamento de cargas para AR;
- Adotar uma metodologia para avaliar a funcionalidade do sistema PLC;
- Realizar os testes de comunicação para avaliação do sistema.

### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 2 descreve a fundamentação teórica com os principais conceitos sobre PLC, técnicas de modulação e multiplexação de sinais para transmissão de dados através da rede elétrica para melhor entendimento do trabalho. Também são apresentados exemplos de produtos PLC baseados no protocolo X-10 e com protocolo aberto para o desenvolvimento de novas aplicações. No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e avaliação do sistema microcontrolado formado por um módulo mestre e outro escravo para avaliação da transmissão de dados via PLC. No Capítulo 4 são apresentados os resultados do desenvolvimento, bem como, a avaliação dos testes realizados em



laboratório e na casa do proponente deste TCC. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão descritos alguns conceitos básicos para transferência de dados via PLC, além de exemplos de módulos comerciais baseados no protocolo de comunicação X-10 e com protocolo de comunicação aberto pesquisados para o desenvolvimento do trabalho.

### 2.1 HISTÓRICO DO POWER LINE COMMUNICATION

Instalações de geração de energia elétrica são normalmente interligadas com outras instalações similares. Isso ocorre por várias razões, entre as quais a necessidade de fornecimento de energia de *back-up* em caso de perda de uma unidade, a necessidade de fechamento de unidades para realizar manutenção, cargas variantes, e da necessidade de gerar energia da forma mais econômica possível. A fim de se fazer esta coordenação entre as unidades geradoras, interligando as linhas de transmissão e os clientes finais, é necessária que haja uma comunicação eficaz e segura entre eles. Esta comunicação tem sido feita de várias maneiras, por exemplo, circuitos de supervisão dedicados, linhas telefônicas ou circuitos de corrente transportadora. No entanto, os circuitos dedicados separados, especialmente aqueles com o necessário grau de redundância e outros meios confiáveis, envolvem significativas despesas adicionais, logo, tem aparecido diversas propostas para fornecer o desejado grau de eficácia de comunicação através de sinalização realizada ao longo das linhas de transmissão (ADAMS et al., 1988).

Dentre as soluções encontradas, está a do *Power Line Communication*, que opera através da adição de um sinal de portador modulado na linha de transmissão de energia. Como a frequência do sinal modulado é muito maior do que a do sinal senoidal da rede elétrica que opera a 60 Hz (considerando o Brasil), ambos podem existir em harmonia no mesmo canal sem que ocorra perda de informação, assim sendo o princípio fundamental dessa tecnologia.

O desenvolvimento da tecnologia PLC só foi possível com o avanço das técnicas de modulação, isto porque a modulação consiste no processo de

transformar um sinal em uma forma adequada para transmissão através de um determinado meio físico (canal) (HAYKIN, 2001).

No processo de modulação que ocorre no transmissor, alguns parâmetros da onda portadora são modificados de acordo com a mensagem a ser enviada pelo canal de transmissão. O receptor recria a mensagem original a partir do sinal recebido através do canal (processo de demodulação). Entretanto, a presença de ruído e a distorção no sinal recebido impossibilitam a recriação exata da mensagem original. A degradação do sinal no sistema como um todo é influenciada pelo tipo de modulação usado, sendo algumas técnicas mais sensíveis a ruídos e distorções que outras (HAYKIN, 2001).

Uma vasta gama de tecnologias de PLCs é utilizada para diferentes aplicações, incluindo, por exemplo, a AR para acesso à *internet*, muitas vezes denominada de *Broadband Over Power Lines* (BPL). A maioria das tecnologias PLC limita-se a um tipo de fio (tais como fiação das instalações dentro de um único edifício), mas alguns podem cruzar entre dois níveis (por exemplo, tanto a rede de distribuição e em fiação de instalações). Normalmente transformadores evitam a propagação do sinal, o que requer múltiplas tecnologias para formar redes muito grandes. Várias taxas de dados e frequências são utilizadas em diferentes situações (LARS, 2014).

Apesar do crescimento no seu uso, a tecnologia PLC ainda não apresenta uma regulamentação universal. Alguns países já possuem algum tipo de regulamentação sobre utilização de banda de frequência e radiação eletromagnética proveniente da comunicação PLC, enquanto outros, não chegaram a um acordo sobre seus benefícios e malefícios. O Brasil se enquadra neste último perfil. Poucos são os trabalhos e estudos realizados por aqui. Algumas empresas de geração e distribuição de energia elétrica desenvolvem pesquisas sobre a viabilidade da utilização dessa nova tecnologia para serviços de telemetria e até mesmo *internet* com acesso banda larga. Porém, devido às regras definidas pela ANEEL, que definiu que para o uso do sistema de transmissão de sinal de *internet* via PLC, este deve ser leiloadado, e empresas como a COPEL, pioneira no uso da tecnologia no Brasil, se sentindo prejudicadas com tal legislação, desistiram deste nicho do mercado e abandonaram o projeto (Convergência Digital, 2009).

## 2.2 TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, o desenvolvimento da tecnologia PLC só se tornou possível com o avanço das técnicas de modulação, uma vez que esta consiste no processo de passar um sinal para uma forma que seja adequada para transmissão através de um canal, meio físico, específico (HAYKIN, 2001).

Para gerar um sinal que possa ser transmitido no canal desejado, o transmissor tem o papel de fazer a modulação do sinal portador, fazendo alguma modificação de algum parâmetro deste sinal de acordo com a mensagem que se deseja enviar. Enquanto que no receptor, o sinal é demodulado, recriando a mensagem original, porém, a presença de distorções e ruídos no sinal recebido impossibilitam a recriação perfeita da mensagem original. O nível de degradação do sinal no sistema em geral é influenciado pelo tipo de modulação usado, sendo algumas técnicas mais resistentes a ruídos e distorções que outras. As formas de se fazer modulação de sinais se agrupam em dois grupos, na modulação analógica e na digital.

### 2.2.1 Modulação por Pulsos

A modulação por pulsos é feita de forma digital. Ao contrário de uma onda senoidal, é utilizado um trem de pulsos que fazem a transmissão da informação, neste sistema se baseia em um processo de amostragens.

O processo consiste em fazer amostragem de um sinal analógico em intervalos fixos de tempo, gerando uma sequência de amostras uniformemente espaçadas no tempo. É essencial que se escolha uma taxa de amostragem de forma que a sequência de pulsos gerada defina apenas o sinal analógico original.

O Teorema de Nyquist estabelece que a taxa de amostragem deve ser maior do que o dobro da frequência do sinal a ser amostrado para que se possa recuperar o sinal original de suas amostras. Entretanto, para sinais que não possuem banda limitada, pode haver a sobreposição dos componentes de alta frequência sobre os de baixa frequência (*aliasing*), o que faz necessário a utilização de filtros no

processo de amostragem (filtros *antialiasing*). Pode-se distinguir duas famílias de modulação por pulsos: analógica e digital (HAYKIN, 2001).

### 2.2.1.1 Modulação por Pulsos Digitais

Nesta, a mensagem é representada de forma discreta, tanto na amplitude quanto no tempo, o que permite sua transmissão de forma digital, assim como uma sequência de pulsos. Cada valor dentro de um código é chamado símbolo, em um código binário, por exemplo, cada símbolo pode ter um de dois valores, ausência de pulso ou presença deste.

Existem diversos tipos de modulação por pulsos digital, como por exemplo:

- Unipolar sem retorno a zero;
- Polar sem retorno a zero;
- Unipolar com retorno a zero;
- Bipolar com retorno a zero;
- Código Manchester.

Na Figura 2 são mostrados alguns exemplos desses tipos de modulação.

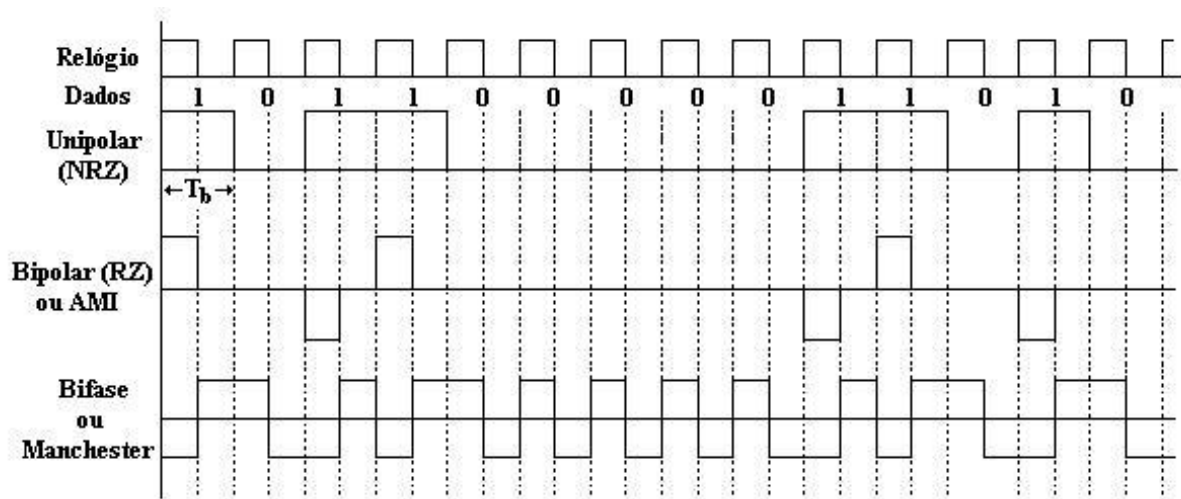


Figura 2: Exemplos de modulação por pulsos digitais.  
Fonte: Autoria própria.

## 2.3 MULTIPLEXAÇÃO DO SINAL

Multiplexação é o processo de combinar vários sinais para a transmissão simultânea sobre o mesmo canal. Dentre os métodos básicos de multiplexação pode-se citar:

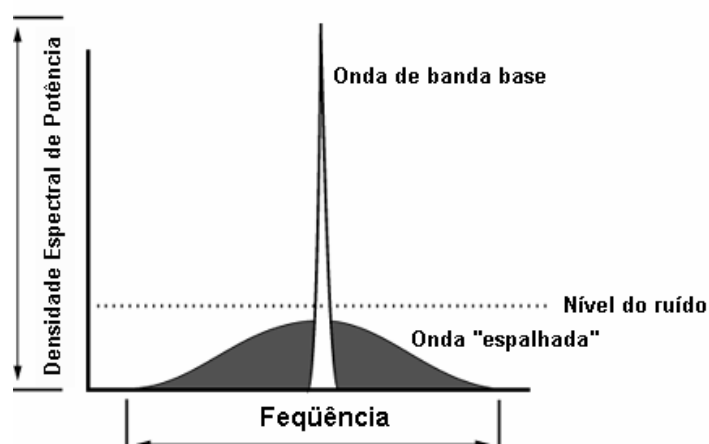
- *Frequency-Division Multiplexing* (FDM): usa modulação por onda contínua para colocar cada sinal em uma frequência específica de banda. No receptor são usados diversos filtros para separar os diferentes sinais e prepará-los para demodulação.
- *Time-Division Multiplexing* (TDM): usa modulação por pulsos para posicionar os sinais em diferentes intervalos de tempo.
- *Code-Division Multiplexing* (CDM): no qual cada sinal é identificado por um código, sequencia, diferente.

Essas técnicas de modulação são base para outras mais robustas utilizadas na comunicação pela rede elétrica, como por exemplo, a *Spread Spectrum*.

### 2.3.1 Spread Spectrum

Esta técnica de modulação é caracterizada por de rejeitar interferências na transmissão de dados. Segundo Haykin (2001), uma modulação *Spread Spectrum* é uma forma de transmissão na qual a informação ocupa uma banda maior que a banda necessária para transmiti-la, e o espalhamento do espectro é realizado antes da transmissão utilizando um código independente da informação, mesmo código que será usado pelo receptor para recuperar a informação original (New Wave Instruments, 2015).

Esta modulação troca a eficiência em termos de banda e potência em prol da segurança nas transmissões em ambientes hostis. Quando o sinal é espalhado no espectro de potência, ele parece ser apenas um ruído, podendo ser transmitido pelo canal sem ser detectado. Na Figura 3 é apresentado o espectro de potência para um sinal espalhado e um sinal de banda base.



**Figura 3: Densidade espectral de um sinal em banda e um sinal “espalhado”.**

**Fonte: New Wave Instruments, 2015.**

As vantagens desse tipo de modulação são:

- Baixa densidade espectral de potência;
- Resistência a interferências;
- Segurança de dados, pois o código usado para a dispersão tem baixa ou nenhuma correlação com o sinal real, e é único para cada usuário, sendo impossível separar do sinal a informação que está sendo transmitida sem o conhecimento do código utilizado.

De maneira geral, pode-se citar três tipos de sistemas *Spread Spectrum*:

- FH-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*): a banda total do canal de transmissão é dividida em vários sub-canais de banda estreita, e o sistema alterna rapidamente entre eles seguindo uma sequência aleatória conhecida tanto pelo transmissor como pelo receptor;
- DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*): utiliza um canal de banda larga (>1Mhz), onde todos transmitem uma alta taxa de símbolos binários seguindo uma sequência de um código aleatório previamente definido (pseudo-ruído). Este pseudo-ruído é um sinal digital produzido a uma frequência muito maior do que a de dados que se deseja transmitir, espalhando o sinal no domínio da frequência. Na recepção o sinal é filtrado seguindo a mesma sequência;
- Sistema híbrido DS/FH: a banda é dividida em sub-canais, sendo que em cada um deles um pseudo-ruído é multiplicado com o sinal de dados. Um endereço seria a combinação do código do pseudo-ruído e da sequência das frequências.

## 2.4 EQUIPAMENTOS PLCS OFERTADOS NO MERCADO ATUAL

Neste tópico são apresentados alguns exemplos de equipamentos e módulos comerciais que utilizam o protocolo de comunicação X10 e outros com protocolo de comunicação aberto para o desenvolvimento de novas aplicações, sendo ambos disponíveis para venda no mercado atual (Fevereiro de 2015).

### 2.4.1 Aplicações baseadas no protocolo X-10

#### 2.4.1.1 Módulo Pam04 Heavy Duty Appliance

O módulo Pam04 Heavy Duty Appliance (Figura 4) é um equipamento PLC de AR, fabricado pela empresa X-10 Home Gadgets, que utiliza o protocolo de comunicação X10. Entre as principais funcionalidades, o módulo não dimerizável permite o controle de ventiladores, aspiradores de pó, climatizadores de pequeno porte, bombas e motores, etc., suportando corrente de até 20 A e tensão de 240 VCA.



**Figura 4: Módulo de Aplicação Pam04 Heavy Duty da X10 home Gadgets.**

**Fonte: X-10 Home Gadgets, 2015a.**

Cada módulo receptor X10 é definido com um número de unidade único ou um número de unidade desejado. Cada receptor X10 pode operar em um conjunto com outros receptores com o mesmo número de unidade, trabalhando assim em paralelo, ou com códigos diferentes, desde que no controlador X10 esteja



configurado com o mesmo código que os receptores que está controlando. O preço do módulo é US\$ 34,99 – valor obtido no *site* do fabricante em 10 de fevereiro de 2015 (X-10 HOME GADGETS, 2015a).

#### 2.4.1.2 Mini Concentradora PMC01

Também fabricado pela X-10 Home Gadgets, a mini controladora PMC01 (Figura 5) possibilita o controle manual de até oito módulos receptores X10, bastando também ligá-lo na tomada do mesmo domicílio. O PMC01 controla até oito luzes X10 e aparelhos conectados aos módulos receptores X10.

O PMC01 possui as opções para controle de *dimmer* e botão para liga/desliga (*on/off*) para todas as luzes. A chave seletora atribui os 4 botões liga/desliga para controlar os módulos receptores X10 definidos para códigos entre 1 e 4 ou 5 e 8. O preço do módulo é US\$ 29,99 – valor obtido no *site* do fabricante em 10 de fevereiro de 2015 (X-10 HOME GADGETS, 2015b).



**Figura 5: Mini Controladora PMC01 com protocolo de comunicação X10.**

**Fonte: X-10 Home Gadgets, 2015b.**

Na Tabela 1 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da utilização de módulos comerciais com o protocolo de comunicação X-10.

**Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos módulos com protocolo de comunicação X-10.**

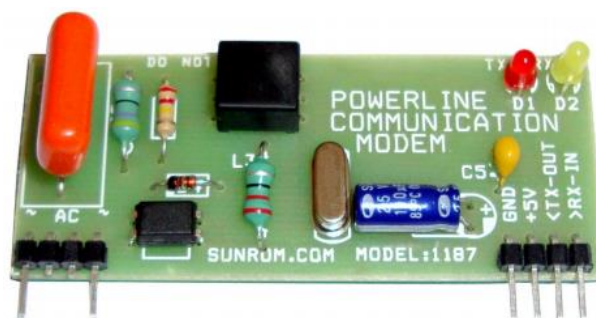
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ São produtos prontos para fazer a AR, não necessitando de intermediadores</li> <li>▪ Simplicidade de instalação e controle</li> <li>▪ Preço acessível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necessita de um módulo apenas para a transmissão da ordem e outro apenas como receptor para realização a ação desejada</li> <li>▪ Não são programáveis</li> <li>▪ Número de comandos restrito</li> <li>▪ Cada módulo receptor só realiza uma ordem por vez</li> <li>▪ Não há realimentação do estado dos módulos receptores para o transmissor</li> <li>▪ Necessidade de se adquirir mais de um módulo controlador caso haja o interesse de controlar mais módulos receptores</li> </ul>

**Fonte: Autoria própria.**

## 2.4.2 Aplicações baseadas em protocolo de comunicação aberto

### 2.4.2.1 Placa *Modem* PLC Modelo 1187

O módulo PLC da empresa Sunrom Technologies (Figura 6) oferece comunicação bi-direcional *half-duplex* sobre qualquer tensão de até 250 VCA e de frequência 50 Hz ou 60 Hz. Por padrão, o módulo está habilitado no modo receptor e fica o tempo todo monitorando a comunicação na linha de alimentação. Quando são recebidos dados através da porta serial RX-IN (pino de recepção), o módulo alterna para modo transmissor. Terminada a transmissão dos dados para a linha, retorna ao modo de receptor e volta monitorar a linha, enviando todas as informações recebidas para a porta serial TX-OUT (pino de transmissão).



**Figura 6: Placa Modem PLC 1187 da empresa Sunrom.**  
**Fonte: Sunrom Technologies, 2014.**

A troca de dados entre os módulos é transparente e o protocolo de comunicação fica a cargo do *firmware* instalado em um microcontrolador. Como resultado, unidades múltiplas podem ser ligadas à rede elétrica sem afetar a operação das outras. A transmissão se faz na base do *byte* por *byte*. Depois de enviar um *byte* para o módulo de transmissão, deve-se esperar, pelo menos, 500 ms (mili segundos) antes que um novo *byte* seja enviado ao módulo, uma vez que o módulo aguarda o cruzamento por zero da corrente alternada na linha para transferir nova informação. O preço do *modem* é U\$ 47,17 – valor obtido no *site* do fabricante em 10 de fevereiro de 2015 (SUNROM TECHNOLOGIES, 2014).

Na Tabela 2 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da utilização do *Modem* PLC Modelo 1187.

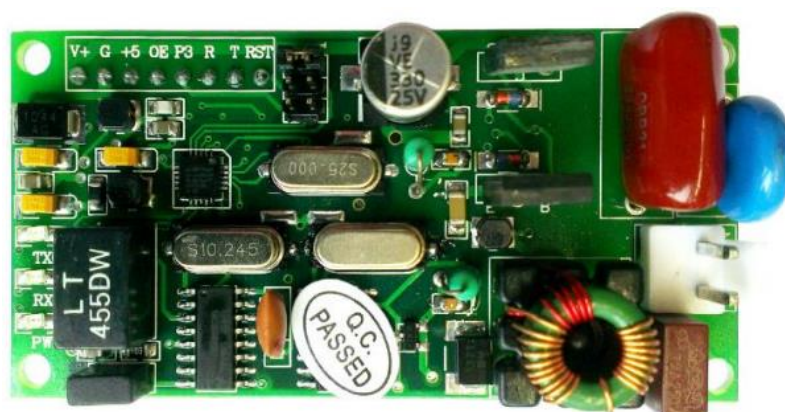
**Tabela 2: Vantagens e desvantagens do do Modem PLC Modelo 1187.**

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comunicação serial com sistema microcontrolado</li> <li>▪ Não há limite de informação transmitida</li> <li>▪ Há realimentação e a comunicação é <i>half-duplex</i> entre os módulos</li> <li>▪ O módulo é independente, não havendo a necessidade de outro tipo de produto para fazer a comunicação</li> <li>▪ Permite a utilização de um número ilimitado do mesmo módulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limite de <i>bits</i> transmitidos</li> <li>▪ Preço acima dos módulos baseados em X-10</li> <li>▪ Necessita de um intermediário para realizar a automação residencial</li> </ul>

**Fonte: Autoria própria.**

#### 2.4.2.2 Módulo PLC BW-EP10A

O circuito do *modem* BW-EP10A (Figura 7), fabricado pela empresa da Epona Tech. Ltd, opera com tensão de 12 V e taxa de transmissão entre 100 bps (*bits* por segundo) e 600 bps (ajustável), com modulação do tipo DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). A placa apresenta comunicação serial, podendo ser conectado diretamente aos pinos RXD (recepção) e TXD (transmissão) de microcontroladores de uso geral, o que é muito conveniente para o desenvolvimento de aplicações utilizando PLC.



**Figura 7: Placa *Modem* PLC BW-EP10A.**

**Fonte: Epona Tech. Ltd, 2014.**

A comunicação é *half-duplex* e a taxa de transmissão de comunicação do módulo na rede elétrica pode ser definida pelo próprio usuário. A tensão da rede pode ser 110 VCA ou 220 VCA com frequência de 50 ou 60 Hz. Além disso, pode operar em linhas de corrente contínua de até 300 V. A taxa de comunicação serial ou *baud rate* entre o módulo e a porta serial de um microcontrolador poder ser ajustável entre valores de 1200 bps a 9600 bps.

A transmissão de dados é configurável entre dois modos:

- Transmissão com comprimento de *byte* fixo, entre 1 e 32 *bytes*;
- Transmissão de quadro fixo, entre 32 e 256 *bytes*.

A distância de comunicação apresentada no manual do fabricante é de 500 metros em rede AC ou até 1000 metros linha DC. O preço do *modem* é

U\$ 25,00 – valor obtido no *site* do fabricante em 10 de fevereiro de 2015 (EPONA TECH. LTD, 2014).

Na Tabela 3 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da utilização do módulo PLC BW-EP10A.

**Tabela 3: Vantagens e desvantagens do do Modem PLC Modelo 1187.**

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comunicação serial</li> <li>▪ Não há limite de informação transmitida</li> <li>▪ Há realimentação e a comunicação é <i>half-duplex</i> entre os módulos</li> <li>▪ O módulo é independente, não havendo a necessidade de outro tipo de produto para fazer a comunicação</li> <li>▪ Permite a utilização de um número ilimitado do mesmo módulo</li> <li>▪ Velocidades de comunicação ajustáveis;</li> <li>▪ Distância de funcionamento adequada (até 500 metros para AR)</li> <li>▪ Tamanho de <i>bits</i> transmitidos compatível com a aplicação de AR</li> <li>▪ Preço mais acessível que os demais módulos pesquisados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necessita de um intermediário para realizar a automação residencial.</li> </ul>

**Fonte: Autoria própria.**

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a descrição do módulo PLC e demais componentes de *hardware* escolhidos para pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1 FUNCIONAMENTO DETALHADO DO MÓDULO PLC BW-EP10A

Os principais motivos que levaram a escolha do módulo PLC BW-EP10A foram: *hardware* acessível para programação, comunicação serial e preço mais acessível. Também foi levada em consideração a liberdade de escolha da velocidade de transmissão, tanto do controlador para o módulo quanto de módulo para módulo, além de não haver limite de informação transmitida e números de módulos na linha (sem limite de endereços).

Com as informações obtidas no manual do usuário do módulo de PLC BW-EP10A (EPONA TECH. LTD, 2014), se obteve as seguintes informações essenciais para a melhor parametrização do sistema que será implementado neste trabalho.

##### 3.1.1 Taxa de Transmissão do Sinal Portador

O BW-EP10A permite o ajuste da velocidade de transmissão do sinal portador entre 6 velocidades: 100 bps, 200 bps, 300 bps, 400 bps, 500 bps e 600 bps. A escolha da velocidade de transmissão deve ser feita de acordo com as prioridades de cada projeto, uma vez que quanto menor for a velocidade de transmissão na linha, mais estável é a transferência de dados e, quanto maior for a taxa de resistência a interferências, maior será a distância de comunicação.

Para a utilização da mais alta taxa de comunicação, é aconselhável que a linha de transmissão do usuário esteja nas condições mais próximas do ideal, ou seja, linha com curta distância de transmissão, em CC de baixa carga e sofrendo pouca interferência externa. Caso as condições sejam opostas ao ideal, linha em CA

com carga alta, percorrendo longas distancias e sofrendo alta interferência, o mais indicado é utilizar a taxa de transmissão mais baixa, pois esta é a mais estável e confiável de todas as taxas de comunicação, sendo indicada para projetos de controle de iluminação ou monitoramento de cabo quebrado.

### 3.1.2 Taxa de Transmissão da Porta Serial/COM

Além da taxa de transmissão na linha, existe a opção de ajustar a velocidade de transmissão das portas COM do PLC, o que permite a escolha mais compatível com o microcontrolador que será utilizado para o controle do sistema. As taxas de transmissão serial disponíveis são de 1200 bps, 2400 bps, 4800 bps e 9600 bps.

Independente da taxa de transmissão da portadora, diferentes taxas de transmissão COM podem ser selecionadas para trabalhar com módulo PLC. Por exemplo, quando a taxa de transmissão do portador é de 300 bps, os usuários podem selecionar qualquer uma das taxas de transmissão COM, variando de acordo com a necessidade de seu sistema.

### 3.1.3 Modo de Transmissão por Taxa de Dados Ajustável

No módulo escolhido, existem dois tipos de transmissão dos pacotes de dados. As opções são: transmissão por quantidade fixa de *bytes* ou por comprimento fixo de quadro. Sendo que cada uma tem a sua vantagem, uma sobre a outra, deve-se assim procurar selecionar a que o sistema do usuário possa tirar o maior proveito.

Independente da opção escolhida, o módulo PLC BW-EP10A, adiciona um cabeçalho, denominado *data header*, no início dos pacotes de dados e um *data end* no final, que são invisíveis ao código do usuário. Estes servem como forma de suporte que o PLC utiliza para saber quando está recebendo um pacote e quando este termina. Mesmo na opção de tamanho de quadro fixo, essa estrutura se repete. Na Figura 8 é mostrado o modo geral de transmissão de dados de suporte.



**Figura 8: Modo geral de transmissão de dados de suporte.**

**Fonte: Epona Tech. Ltd, 2014.**

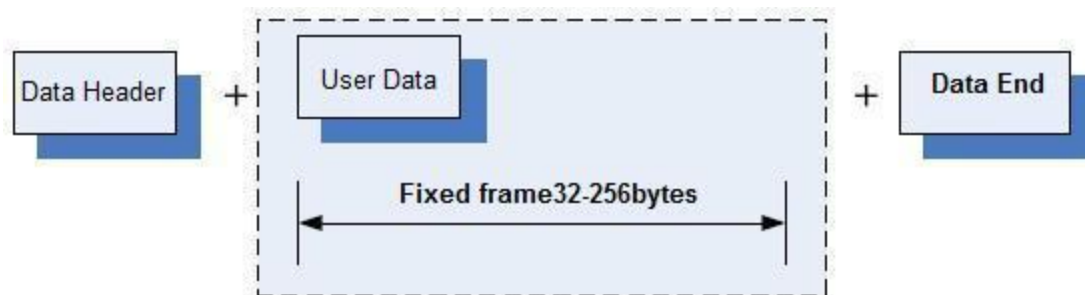
### 3.1.3.1 Transmissão por Quantidade de *Bytes*

No caso da transmissão por quantidade fixa de *bytes*, o módulo PLC só recebe dados de um determinado comprimento, o que evita a perda de dados no final de cada quadro. Ao contar de forma precisa o tempo de transmissão de cada pacote de dados da portadora, também evita de o módulo ficar mantido no modo de recepção tentando ler informação de ruído da linha. Por exemplo, caso o usuário defina os módulos para receber pacote de dados com comprimento de 6 *bytes*, estes irão esperar apenas por 6 *bytes* de dados e finalizarão o pacote para esperar por um novo pacote.

### 3.1.3.2 Transmissão por Tamanho de Quadro Fixo

Nesta opção de transmissão, os módulos são ajustados para receber um tamanho máximo de *bytes*. No total são 8 opções de tamanho de quadro que o módulo suporta, que variam em intervalos de 32 *bytes*, iniciando em 32 até 256 *bytes*, conforme ilustrado na Figura 9. O aconselhado é que o usuário utilize sempre o tamanho de quadro superior adjacente ao que ele irá transmitir.



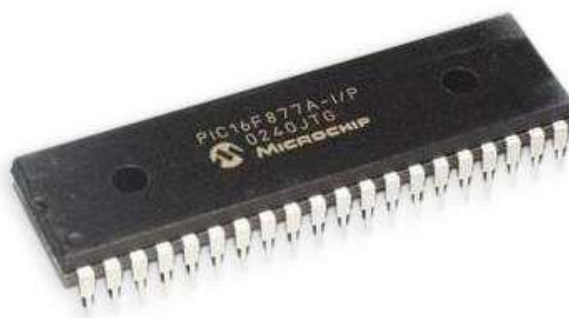


**Figura 9: Diagrama da transmissão por tamanho de quadro fixo.**  
 Fonte: Epona Tech. Ltd, 2014.

Caso o quadro enviado seja menor, o receptor vai continuar “ouvindo” a linha até dar o tempo da transmissão completa do tamanho de quadro na qual o módulo foi configurado, e se o tamanho do quadro for maior do que o padrão ajustado, o receptor vai simplesmente cortar o quadro recebido quando este atingir o tamanho esperado. Por exemplo: o módulo é definido para receber dados com quadros de 32 *bytes* fixos, então o tamanho dos dados recebidos varia entre 1 e 32 *bytes*. Se ocorrer uma interferência durante a transmissão de dados e os dados do *data end* se perder, sem nenhum conhecimento sobre quando a transmissão de dados terminou, o módulo vai manter o modo de recepção até receber todos os 32 *bytes*. Este método é mais adequado quando a quantidade de dados enviada é variável, podendo sempre mudar de tamanho sem que seja necessário reajustar os módulos.

### 3.2 MICROCONTROLADOR

Neste projeto, o microcontrolador (MCU) PIC16F877A (Figura 10), fabricado pela Microchip Technology Inc ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)), foi escolhido para gerenciar a transferência de dados via PLC e demais funcionalidades do sistema de AR. O dispositivo foi adotado uma vez que é facilmente encontrado para venda na região Curitiba, possui baixo preço (aproximadamente R\$15,00 - valor de referência em fevereiro de 2015), relativamente robusto e também por já ser conhecido e utilizado ao longo do curso de graduação na UTFPR. Todas as informações sobre o microcontrolador podem ser encontradas no manual do fabricante (MICROCHIP TECHNOLOGY INC, 2003).



**Figura 10: Foto do microcontrolador PIC16F877A.**

**Fonte: Microchip Technology Inc., 2003.**

O conjunto formado pelo microcontrolador e pelo módulo PLC é utilizado nas duas interfaces desenvolvidas, sendo estas: módulo de comunicação central (módulo mestre) e módulo de comunicação periférico (módulo escravo).

O módulo central possui as seguintes funções:

- Realizar a transmissão de dados via PLC;
- Receber e processar os comandos recebidos de forma remota (sem fio) através de um módulo conversor Serial-Bluetooth;
- Indicar e ler entrada de comandos através de um terminal emulador as informações do sistema, bem como o número de dados enviados e recebidos com sucesso;
- Acionamento de dispositivos periféricos (lâmpada e relé).

O módulo periférico apresenta as seguintes funções:

- Teste de comunicação com módulo central via PLC;
- Recepção e interpretação de comandos recebidos através de PLC;
- Indicar através de um terminal emulador as informações do módulo;
- Acionamento de dispositivos periféricos (lâmpada e relé).

Para cada módulo, foram desenvolvidos *firmwares* específicos em linguagem de programação C para realização das respectivas tarefas necessárias. Os códigos desenvolvidos neste trabalho estão disponíveis nos Apêndices A (módulo mestre inicial), B (módulo escravo inicial), C (módulo mestre com controle de acionamento de relé) e D (módulo escravo com controle de acionamento de relé).

Na Figura 11 é apresentado o diagrama em blocos do sistema de teste.

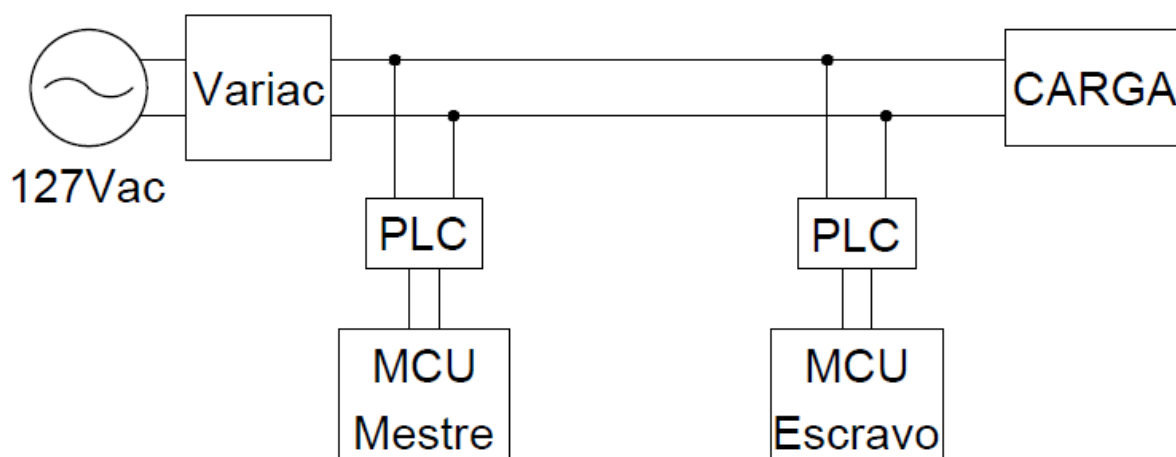


Figura 11: Diagrama do sistema de teste.

Fonte: Autoria própria.

### 3.3 MÓDULO CONVERSÃO SERIAL PARA USB

Para facilitar a realização de todos os testes de comunicação entre o PIC e o PLC foram utilizados dois módulos de conversão de serial para USB PL2303HX (Figura 12). Como a porta serial do PIC já estava ocupada para comunicação com o módulo PLC, foram utilizados dois pinos digitais do PIC para funcionarem como um *software* UART, isto é, foi implementada a função de comunicação serial por *firmware*, sendo que os mesmos pinos forma posteriormente utilizados para interface com o módulo de Bluetooth. O valor de referência de cada placa (fevereiro de 2015) é R\$ 17,16.



**Figura 12: Módulo Conversor Serial-USB.**

**Fonte: Autoria própria.**

### 3.4 MÓDULO DE BLUETOOTH

Para realizar a comunicação entre o *smartphone* e o módulo central, foi utilizado um módulo conversor Bluetooth HC-06 com entradas seriais (TX e RX). O módulo, apresentado na Figura 13, foi escolhido ao seu baixo custo e facilidade de programação. O valor de referência de cada placa (fevereiro de 2015) é R\$ 24,90.



**Figura 13: Módulo Bluetooth HC-06.**

**Fonte: Autoria própria.**

Entre as principais características do módulo Bluetooth HC-06 destacam-se:

- Comunicação via porta HCI padrão (UART) RXD e TXD;
- Alimentação: 3,6 Vcc até 6 Vcc;
- Utilização *transceiver* digital *wireless* de 2,4 GHz;
- *Bit* "0" (zero) como sinalizador de erro.

#### 3.4.1 Lista de comandos

Ao ser alimentação com 5 Vcc, o módulo automaticamente entrar no modo AT, caso não precise parear. O intervalo de comandos é de aproximadamente 1 segundo, o *baud rate* padrão é de 9600 bps e a senha padrão é 1234. Para testar a

comunicação, é enviado um comando AT a cada segundo, e a resposta será sempre “OK”, caso não haja erro.

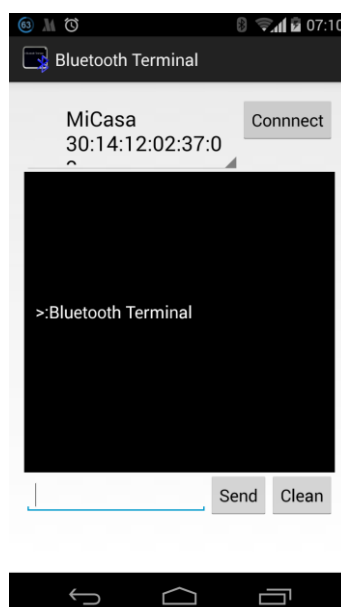
Para resetar o *baud rate* da comunicação serial, deve-se digitar “AT+BAUD1” no *smartphone*. Logo após, será recebida a velocidade atual. Em seguida, entrar com o comando “AT+BAUD2”, sendo “BAUD2” a velocidade desejada, que terá como retorno “OK+BAUD2”, caso o módulo aceite a velocidade requerida. Os valores de *baud rate* de trabalho são: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600 e 1382400 bps.

Outras funções também são possíveis, como resetar o nome do dispositivo (“AT+NAME*nome*”), resetar a senha (“AT+PIN*xxxx*”), checar se o dispositivo não está pareado com um terceiro (“AT+PN”) e setar a checagem da versão do AT (“AT+VERSION”).

Neste trabalho foram usadas as seguintes configurações básicas:

- Nome do módulo: MiCasa;
- Senha: Padrão 1234 (padrão);
- *Baud Rate*: 9600 (padrão).

Para verificar a comunicação entre os módulos, foi usado o aplicativo “Bluetooth Terminal” (Figura 14), disponível na loja Play Store de aplicativos para Android OS. O aplicativo foi escolhido uma vez que funciona como um terminal, similar ao *software* de comunicação Tera Term para PC, apresentando de forma simples todos os dados recebidos pelo *smartphone* via Bluetooth.



**Figura 14: Aplicativo (app) Bluetooth Terminal.**

**Fonte: A autoria própria**

### 3.5 APLICATIVO PARA SMARTPHONE

Para a criação do aplicativo (*app*) para *smartphone*, foi utilizado a interface *App Inventor 2* para *Android Operating System* (OS) da *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) - *website* <http://ai2.appinventor.mit.edu/>. Todo o aplicativo é desenvolvido no próprio *website* do MIT, fazendo com que não seja necessário a instalação de nenhum programa no computador, e permitindo que o usuário desenvolva seus aplicativos em qualquer aparelho com acesso à *internet*.

Toda a programação foi desenvolvida seguindo tutoriais fornecidos pelo próprio *site* do *App Inventor*, e tanto a parte gráfica apresentada na execução do *app* (Figura 15) no *smartphone*, quando a programação em si (Figura 16), é montada em forma de blocos, que são arrastados para a área de trabalho do *site*, linguagem esta, ideal para programação de *app* para iniciantes. A versão final do código em blocos do aplicativo está disponível no Apêndice E.

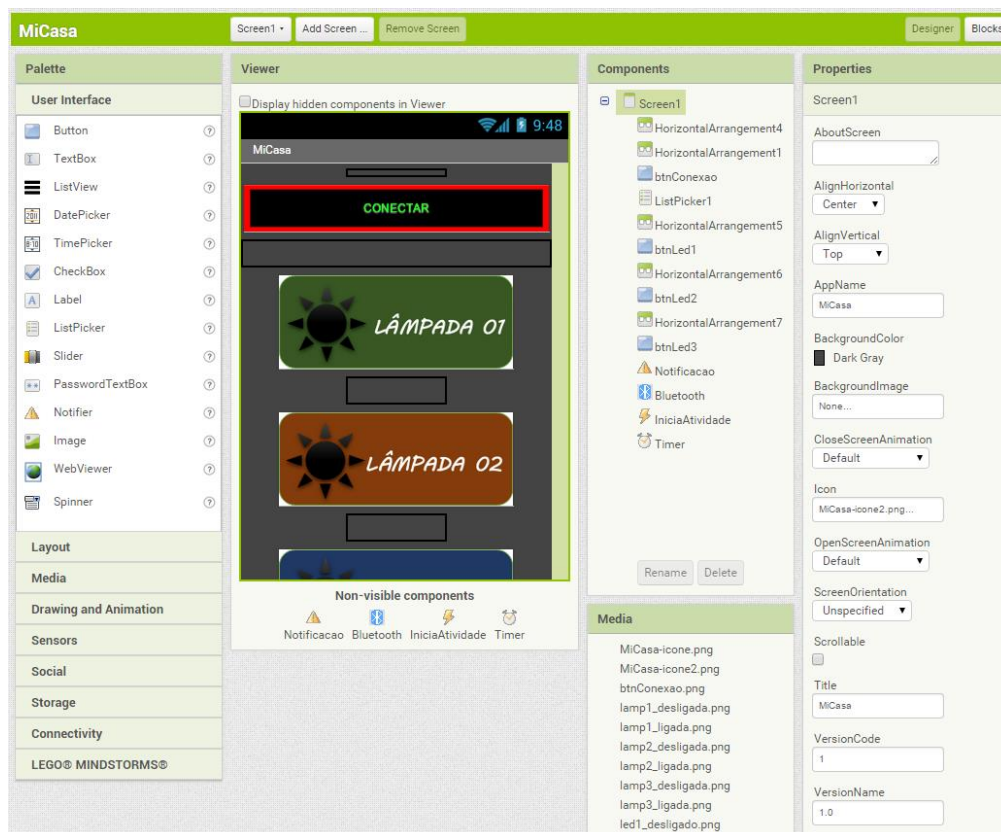


Figura 15: Montagem do aplicativo.

Fonte: Autoria própria.

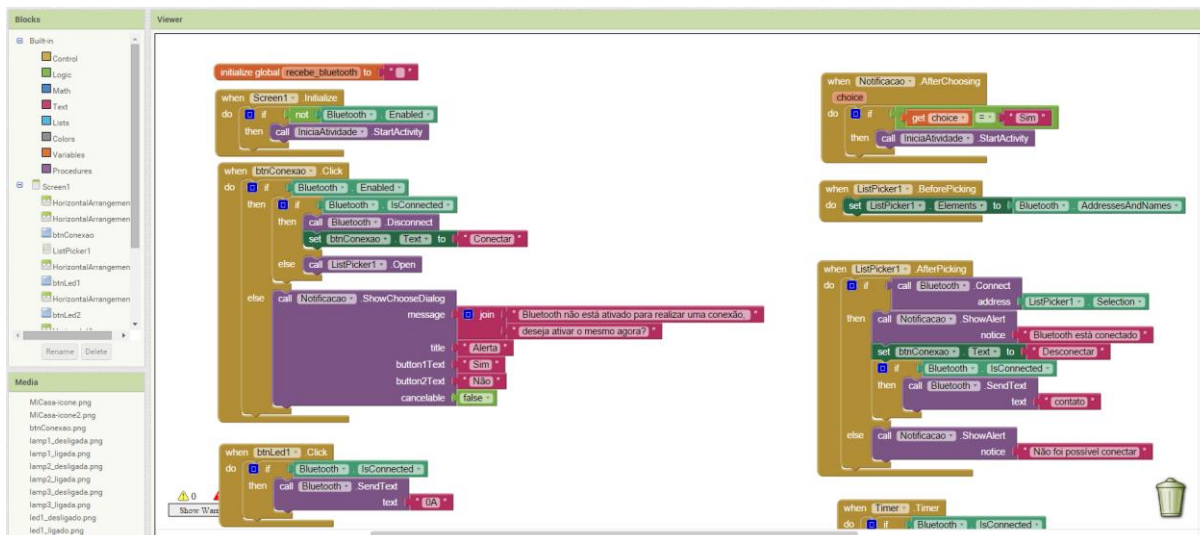


Figura 16: Programação do *app* em blocos.

Fonte: Autoria própria.

### 3.6 KIT MICROPIC DAELT PARA TESTES

O módulo MICROPIC\_DAELT versão 0, apresentado na Figura 17, foi utilizado para realização de todos os testes e ensaios iniciais. Após a confirmação do funcionamento de todas as interfaces do sistema foi projetada e confeccionada a placa de circuito impresso definitiva (PCB - *Printed Circuit Board*).

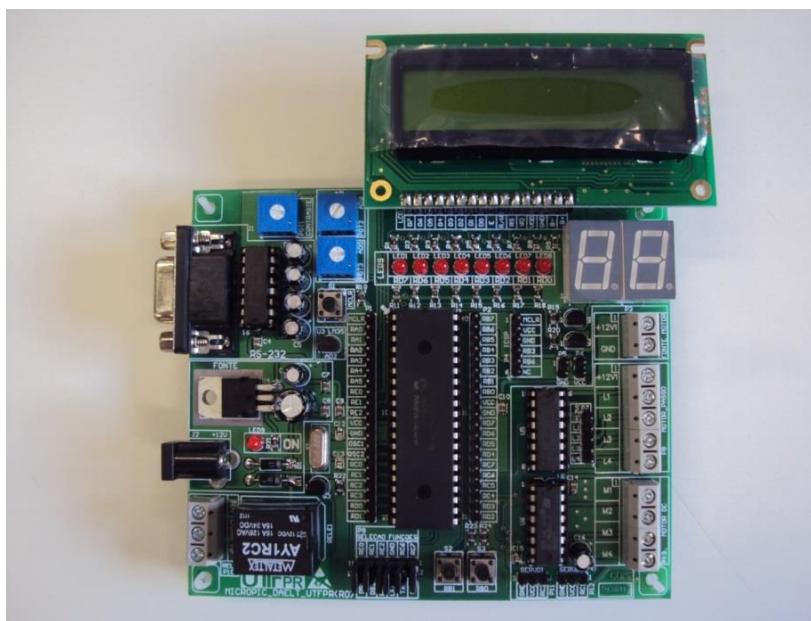


Figura 17: *Kit MICROPIC\_DAELT\_UTFPR versão 0.*

Fonte: Assef, 2014.

Do *kit* foram utilizados os pinos de comunicação serial UART, RC7 (RX) e RC6 (TX), os pinos RC0 (TX) e RC1 (RX) para o *software* UART, o relé ligado no pino RE2 e os pinos de VCC e GND, para referência e alimentação do *kit* em +5Vcc, vindo do PLC.

### 3.7 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DE TESTE DO SISTEMA

Embora o *modem* tenha sido escolhido entre outros motivos pela facilidade de programação, as informações detalhadas sobre os blocos funcionais que compõem o mesmo não são disponibilizadas pelo fabricante. Algumas características, como por exemplo, como exatamente é feita a comunicação com a rede, são proprietárias da empresa. Com isso, o *modem* acaba funcionando como



uma “caixa preta”, onde só se conhece o que entra e sai do mesmo. Dessa forma, a avaliação experimental visa a análise do comportamento do PLC BW-EP10A, em conjunto com o PIC 16F877A, em operação real para observar-se a influência dos seguintes parâmetros:

- Qualidade do sinal em relação à distância;
- Qualidade do sinal variando a carga e tensão na rede;
- Velocidade máxima para comunicação entre módulos;
- Tempo mínimo entre pacotes de dados enviados.

Assim, algumas considerações foram feitas de forma que os testes realizados pudessem levar a resultados que retratassem claramente as qualidades e problemas encontrados com as condições citadas.

Uma vez que o objetivo principal deste trabalho foi a avaliação da tecnologia de comunicação PLC para aplicações em automação predial e residencial utilizando um microcontrolador da família PIC, cuja comunicação de dados se dá através de troca de mensagens curtas, os testes realizados foram focados na transmissão e recepção de mensagens de apenas 1 *byte*.

Uma vez que para o envio de comandos para uso na domótica não há a necessidade de grande quantidade de dados, 1 *byte* possibilita até 256 comandos diferentes, o que é suficiente para a avaliação. Todavia, caso em projetos futuros se verifique a necessidade de um número maior de comandos, nada impede que pacotes de 1 *byte* seguidos se complementem, sendo então o tempo de atuação, a única variável notável no caso de múltiplos comandos complementares.

### 3.7.1 Qualidade do sinal variando a distância

Preocupando-se com a variação da qualidade do sinal de acordo com a variação da distância entre os módulos, foi feito o experimento variando-se a distância entre os módulos de 1 metro até 25 metros, utilizando intervalos de 1 metro. O ambiente inicial utilizado para os testes foi o laboratório B003 da UTFPR, onde se preconizou um maior controle do que estava ligado à rede simulada com dois cabos para circuito de força, seguindo o padrão NBR 5410:2004, de 25 metros (Figura 18).



Figura 18: Cabos de energia de 25 metros para testes.

Fonte: Autoria própria.

### 3.7.1.1 Qualidade do sinal variando a carga e tensão na rede

A maior preocupação no estudo da transmissão de dados pela rede elétrica com o *modem* escolhido, foi a imunidade do sinal transmitido a variações de carga e tensão na rede gerados por outros dispositivos conectados à esta. Nesse sentido, os experimentos foram realizados em diferentes ambientes, com diferentes níveis de carga e tensão.

Inicialmente foi utilizando um Variac (Figura 19) para variar a tensão AC. A tensão de saída do Variac foi utilizada para simular a tensão de rede elétrica para comunicação de dados via PLC. O reostato apresentado na Figura 20 foi utilizado como carga para realizar a variação de corrente elétrica na rede e verificar a influência destas variações nas taxas de comunicação.



**Figura 19: Variac para varia a tensão de 0V até 147V.**

**Fonte: Aatoria própria.**



**Figura 20: Reostato para variar a carga na rede.**

**Fonte: Aatoria própria.**

### 3.7.1.2 Velocidade máxima de comunicação entre módulos

Embora o *modem* escolhido permitisse a escolha de seis velocidades distintas para a comunicação na rede elétrica, o fabricante deste alerta para as possíveis perdas de pacotes caso a velocidade parametrizada no *modem* fosse alta, em caso de cargas altas na rede.

Contando com a possibilidade de falha na comunicação entre os módulos PLC, foi feita uma bateria de testes verificando-se a qualidade da comunicação, testando-se cada uma das 6 velocidades de comunicação disponíveis.

### 3.7.2 Locais de testes

Primeiramente foi utilizado o laboratório B003 da UTFPR. A segunda leva de testes foram realizadas dentro do apartamento do estudante proponente deste TCC. Os modems foram ligados em várias tomadas diferentes para se verificar a influência da distância na transmissão dos dados.

Nesta etapa do trabalho, o mais importante era verificar em primeiro lugar se os modems conseguiriam se comunicar em ambientes cujas ligações com a rede elétrica fossem distantes umas das outras, e em condições de cargas e tensão comuns em um ambiente residencial. Caso funcionasse, os testes seriam realizados a distâncias cada vez maiores até os limites do local utilizado para os estudos.

O problema encontrado foi a falta de certeza quanto à correspondência das distâncias entre as tomadas elétricas no apartamento, nas paredes dos locais de testes e as distâncias reais dos circuitos elétricos internos. Isso se deve ao fato de as plantas com projetos elétricos não serem muito acessíveis aos próprios proprietários, e também ao fato de tais circuitos já terem sido alterados sem atualização da documentação.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados iniciais do desenvolvimento dos dois módulos microcontrolados com comunicação via PLC e os resultados experimentais do sistema de AR. Os testes estão divididos em avaliação da qualidade do sinal, variando-se os parâmetros de comunicação do *modem*, e aferição do tempo mínimo de intervalo entre pacotes na comunicação realizados no apartamento (*in loco*) do autor deste TCC.

### 4.1 CONFECÇÃO DOS MÓDULOS

Após a elaboração do circuito esquemático e simulação do sistema com a ferramenta de *software* ISIS (Figura 21), seguido dos testes em laboratório com o *kit* MICROPIC\_DAELT e em *protoboard*, iniciou-se o processo de confecção da PCB utilizando o *software* ARES (Figura 22), ambos do pacote de *software* Proteus 8.

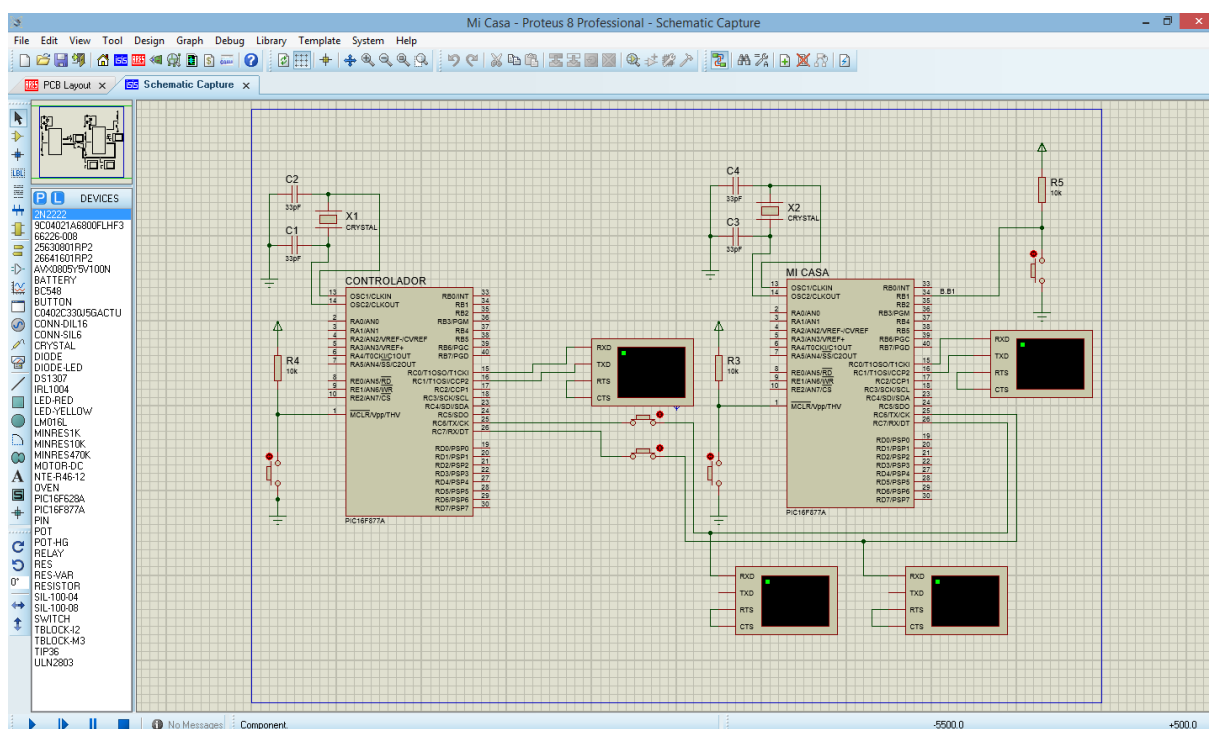


Figura 21: Ferramenta ISIS do *software* Proteus 8 Professional.

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, foi necessário desenvolver apenas um circuito microcontrolado para conexão com o módulo PLC. Além dos módulos confeccionados, foram compradas duas fontes de 12 Vcc para fazer a alimentação de cada módulo.

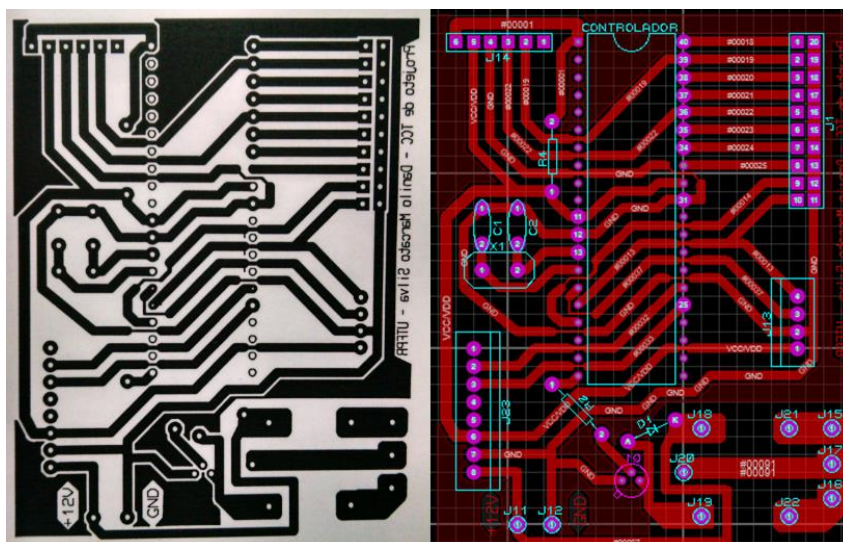
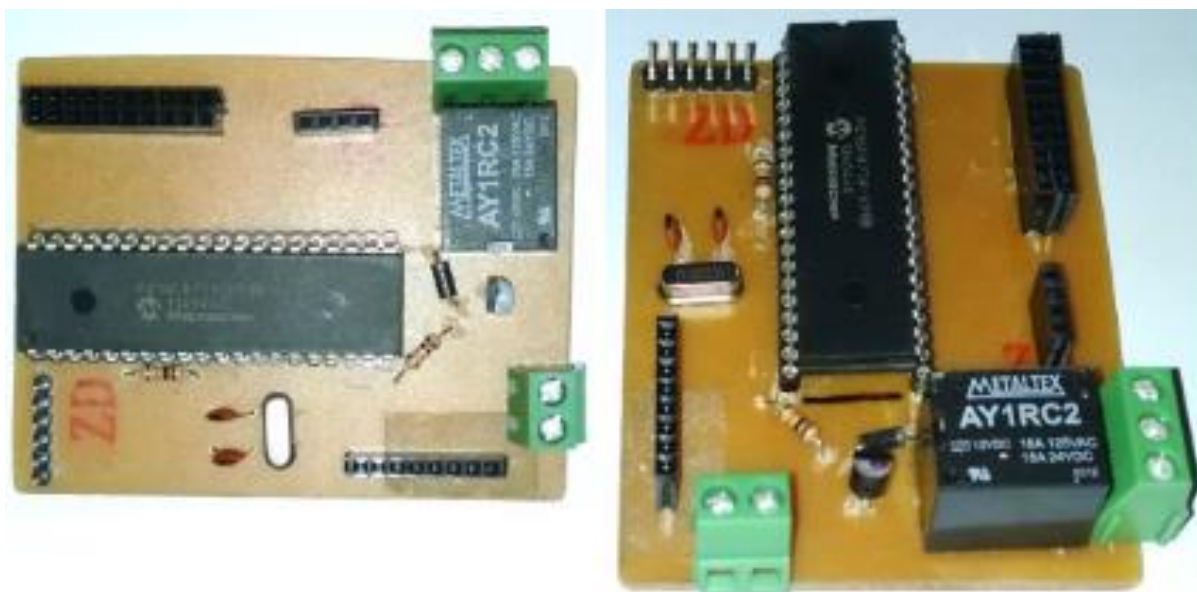


Figura 22: Layout do PCB do módulo de comunicação com a ferramenta ARES do software Proteus 8 Professional.

Fonte: Autoria própria.

Com o auxílio de um tutorial (SOARES), decidiu-se seguir um descritivo passo-a-passo para confecção do PCB que consiste na transferência térmica de tinta plástica para o lado cobreado da placa de fenolite. Após este processo, foram soldados os componentes, conforme pode ser observado na Figura 23. A relação dos componentes e materiais utilizados para a confecção e montagem das duas placas do sistema, bem como a relação dos valores individuais e totais dos itens, são apresentados na Tabela 4.

Na Figura 24 é apresentada a foto do módulo desenvolvido, formado pela placa microcontrolada e pelo módulo PLC. O módulo foi utilizado nos testes realizados na residência do proponente do TCC.



**Figura 23: Módulo de comunicação montado em PCB.**

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 4: Lista dos componentes e materiais utilizados.**

Qde.	Item	Descrição	Valor unitário	Preço
3	Microcontrolador	PIC16F877A	R\$16,40	R\$49,20
6	Capacitores	15 pF, 50 V, cerâmico	R\$0,10	R\$0,60
3	Cristal	8 MHz	R\$1,27	R\$3,81
3	Transistor	BC547B	R\$0,88	R\$2,64
6	Resistor	10 KΩ, 1/4 W	R\$0,10	R\$0,60
3	Diodo	1N4007, 1 A	R\$0,10	R\$0,30
3	Barra de pino Macho	1x40	R\$0,80	R\$3,20
3	Barra de pino Fêmea	1x40	R\$2,60	R\$10,20
3	Conector	KRE 3 vias	R\$0,50	R\$1,50
3	Relé	12 Vcc, 15 A	R\$4,10	R\$12,30
3	Conector Torneado	40 pinos	R\$1,40	R\$4,20
3	Placa de Cobre	10x15	R\$3,60	R\$10,80
1	Percloroeto de Ferro	500 ml	R\$15,00	R\$15,00
3	Fonte chaveada	12 Vcc/1 A	R\$12,00	R\$36,00
<b>Valor Total</b>				<b>R\$ 150,35</b>

Fonte: Autoria própria.



**Figura 24: Foto do módulo formado pela placa microcontrolada e pelo módulo PLC.**  
**Fonte: Autoria própria.**

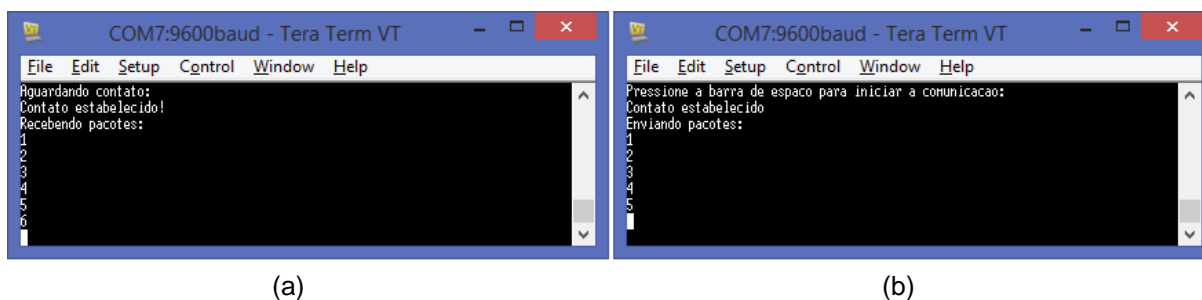
#### 4.2 SISTEMA DE TESTE EM LABORATÓRIO

Para a realização dos testes em laboratório, as conexões seriais R e T do módulo PLC foram ligadas os pinos RC6/TX e RC7/RX do *kit* MICROPIC DAELT, respectivamente. Também foram desenvolvidos dois *firmwares* escritos em linguagem C: um programa para o módulo mestre e outro para o módulo escravo.

Durante a inicialização de ambos os módulos, faz-se um *handshake* entre os dispositivos mestre e escravo para validar a conexão dos mesmos. Após verificada a conexão, o mestre faz um constante envio, com um intervalo de 1 segundo entre cada pacote, de um caractere específico do tamanho de 1 *byte* – tamanho que será utilizado no módulo de domótica final –, armazenando a contagem dos caracteres enviados. Ao mesmo tempo, o módulo escravo incrementa o número de caracteres recebidos. No total, são enviados 100 *bytes* pelo módulo mestre e, finalizado o envio, verifica-se a quantidade total de *bytes* que o módulo escravo recebeu para verificação da taxa de erros.



Na Figura 25 são apresentadas as telas do *software* terminal virtual Tera Term (disponível no *website* <http://tssh2.osdn.jp/index.html.en>), utilizado para aplicações de transferência de dados via porta de comunicação serial. Na Figura 25(a) e (b) são mostradas as informações de recebimento de *bytes* do módulo escravo e envio de *bytes* do módulo mestre, respectivamente.



**Figura 25:** Telas do *software* terminal virtual Tera Term. (a) Informações sobre o recebimento de *bytes* do módulo escravo. (b) Informações sobre o envio de *bytes* do módulo mestre.

Fonte: Autoria própria.

Para possibilitar a comunicação serial com o PC (*Personal Computer*), foi utilizado o módulo de conversão Serial-USB conectado ao *kit* MICROPIC\_DAELT, através dos pinos RC0 e RC1, com comunicação via o *firmware software-UART* implementado. A implementação desta nova porta serial foi feita visando, em um próximo passo, ser utilizada pelo módulo Bluetooth, necessário para a interface da domótica instalada na casa do usuário via aplicativo para *smartphone*. No caso do módulo de Bluetooth, foi utilizado o mesmo programa C para teste de comunicação comentado anteriormente, fazendo-se a mesma conexão aplicada ao módulo de conversão Serial-USB.

Na Figura 26 é apresentada a configuração do sistema de teste em laboratório, formada pelos módulos mestre e escravo, fonte de alimentação de 12 Vcc, Variac, reostato, e *notebook* para avaliação das informações transmitidas via PLC.

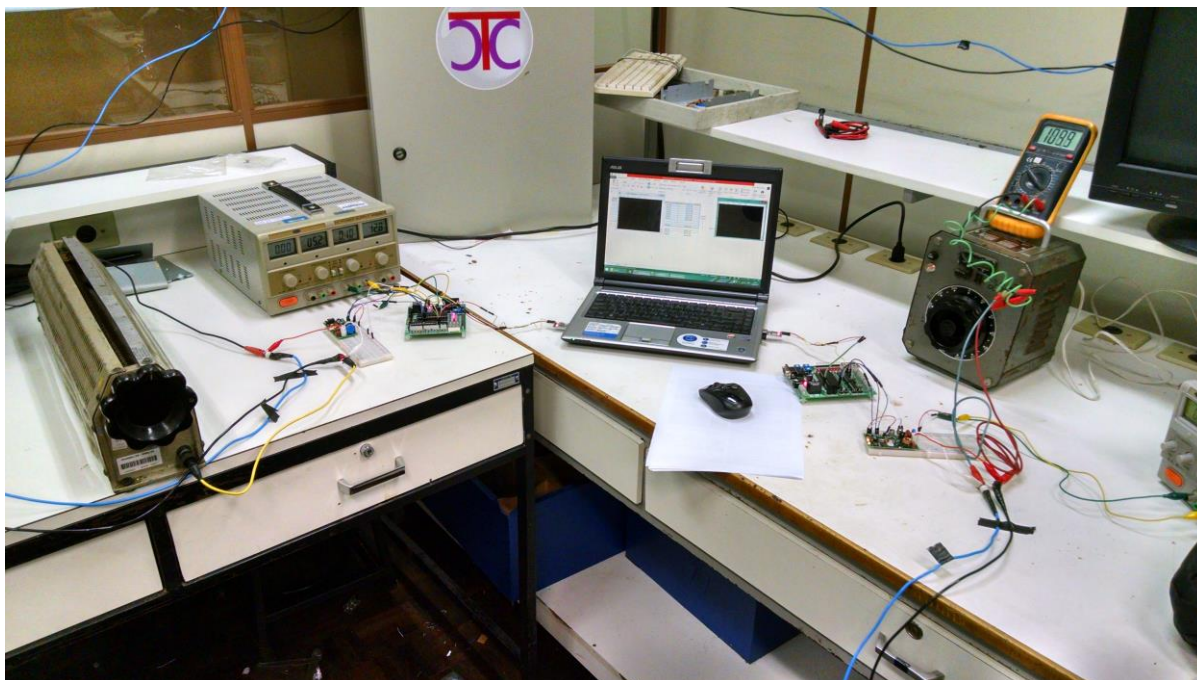


Figura 26: Equipamentos e materiais utilizados para teste em laboratório.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 27 são mostradas as conexões do reostato na rede, além da fonte de alimentação de 12 Vcc para o módulo PLC e a placa MICROPIC\_DAELT.

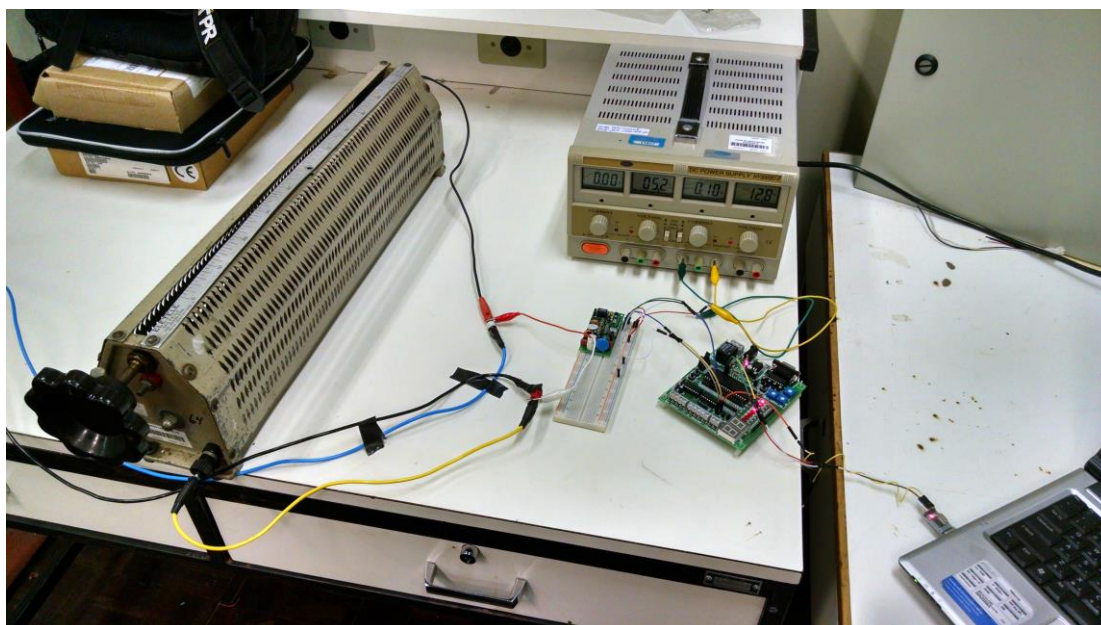


Figura 27: Conexões, reostato na rede, fonte 12 Vcc no módulo PLC e PIC16F877A.

Fonte: Autoria própria.

### 4.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DO SINAL

Nos testes em laboratório, foram avaliadas as informações apresentadas no manual de instruções do fabricante do PLC para diferentes taxas de comunicação, utilizando o reostato em ambas as correntes, contínua e alternada. Inicialmente foram realizados os testes com rede isolada em corrente contínua (Tabela 5 a Tabela 10) utilizando uma fonte CC ajustável de até 30 V da marca Icel, variou-se a tensão de saída desde 0 Vcc até 26,7 Vcc com passo de 5 Vcc. Em seguida, foram realizados os testes em corrente alternada (Tabela 11 a Tabela 16), ajustando a tensão de saída do Variac de 100 a 140 Vac com passo de 10 Vac. Para cada teste foram realizadas 10 medidas para todas as taxas de comunicação serial disponíveis no módulo PLC.

Todos os testes foram realizados com tempo de intervalo de envio de 1 segundo entre os caracteres. Além disso, o módulo mestre foi configurado para enviar 100 caracteres a cada teste, sendo que o módulo escravo foi programado para contabilizar o número de caracteres recebidos com sucesso.

**Tabela 5: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 100 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
0,70	0,00	0,00	100	100	100
0,20	0,00	0,00			100
25,00	0,00	0,00			100
25,00	0,00	339,00			100
25,00	5,00	339,00			100
25,00	10,00	339,00			100
25,00	15,00	339,00			100
25,00	20,00	339,00			100
25,00	25,00	339,00			100
25,00	26,70	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 6: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 200 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
0,70	0,00	0,00	200	100	100
0,20	0,00	0,00			100
25,00	0,00	0,00			100
25,00	0,00	339,00			100
25,00	5,00	339,00			100
25,00	10,00	339,00			100
25,00	15,00	339,00			100
25,00	20,00	339,00			100
25,00	25,00	339,00			100
25,00	26,70	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 7: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 300 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
0,70	0,00	0,00	300	100	100
0,20	0,00	0,00			100
25,00	0,00	0,00			100
25,00	0,00	339,00			100
25,00	5,00	339,00			100
25,00	10,00	339,00			100
25,00	15,00	339,00			100
25,00	20,00	339,00			100
25,00	25,00	339,00			100
25,00	26,70	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 8: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 400 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
0,70	0,00	0,00	400	100	100
0,20	0,00	0,00			100
25,00	0,00	0,00			100
25,00	0,00	339,00			100
25,00	5,00	339,00			100
25,00	10,00	339,00			100
25,00	15,00	339,00			100
25,00	20,00	339,00			100
25,00	25,00	339,00			100
25,00	26,70	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 9: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 500 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
0,70	0,00	0,00	500	100	100
0,20	0,00	0,00			100
25,00	0,00	0,00			100
25,00	0,00	339,00			100
25,00	5,00	339,00			100
25,00	10,00	339,00			100
25,00	15,00	339,00			100
25,00	20,00	339,00			100
25,00	25,00	339,00			100
25,00	26,70	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 10: Testes em tensão contínua com taxa de transmissão de dados igual a 600 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
0,70	0,00	0,00	600	100	100
0,20	0,00	0,00			100
25,00	0,00	0,00			100
25,00	0,00	339,00			100
25,00	5,00	339,00			100
25,00	10,00	339,00			100
25,00	15,00	339,00			100
25,00	20,00	339,00			100
25,00	25,00	339,00			100
25,00	26,70	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 11: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 100 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vac)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
25,00	100,00	339,00	100	100	100
25,00	110,00	339,00			100
25,00	120,00	339,00			100
25,00	130,00	339,00			100
25,00	140,00	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 12: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 200 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
25,00	100,00	339,00	200	100	100
25,00	110,00	339,00			100
25,00	120,00	339,00			100
25,00	130,00	339,00			100
25,00	140,00	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 13: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 300 bps.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
25,00	100,00	339,00	300	100	100
25,00	110,00	339,00			100
25,00	120,00	339,00			100
25,00	130,00	339,00			100
25,00	140,00	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 14: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 400.**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
25,00	100,00	339,00	400	100	100
25,00	110,00	339,00			100
25,00	120,00	339,00			100
25,00	130,00	339,00			100
25,00	140,00	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 15: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 500 bps (média de 10 medidas em cada caso).**

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
25,00	100,00	339,00	500	100	100
25,00	110,00	339,00			100
25,00	120,00	339,00			100
25,00	130,00	339,00			100
25,00	140,00	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

Tabela 16: Testes em tensão alternada com taxa de transmissão de dados igual a 600 bps.

Distância percorrida (m)	Tensão na rede (Vcc)	Carga na rede ( $\Omega$ )	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
25,00	100,00	339,00	600	100	100
25,00	110,00	339,00			100
25,00	120,00	339,00			100
25,00	130,00	339,00			100
25,00	140,00	339,00			100

Fonte: Autoria própria.

Contudo, embora se presumisse a qualidade do produto comercial testado, esperava-se que, devido às condições normais de ruído e carga presentes na rede elétrica, a qualidade do sinal poderia ser afetada conforme a variação da distância e da velocidade de comunicação. Tal expectativa foi gerada principalmente ao fato de que o próprio fabricante alerta para possíveis problemas. Porém, conforme foi aferido com os testes, dentro das condições testadas, não houve qualquer perda de sinal entre os módulos. Na Figura 28 são apresentadas as telas do *software* Tera Term indicando o número de 100 caracteres enviados pelo módulo mestre e também recebidos com sucesso pelo módulo escravo, considerando a última linha da Tabela 16.

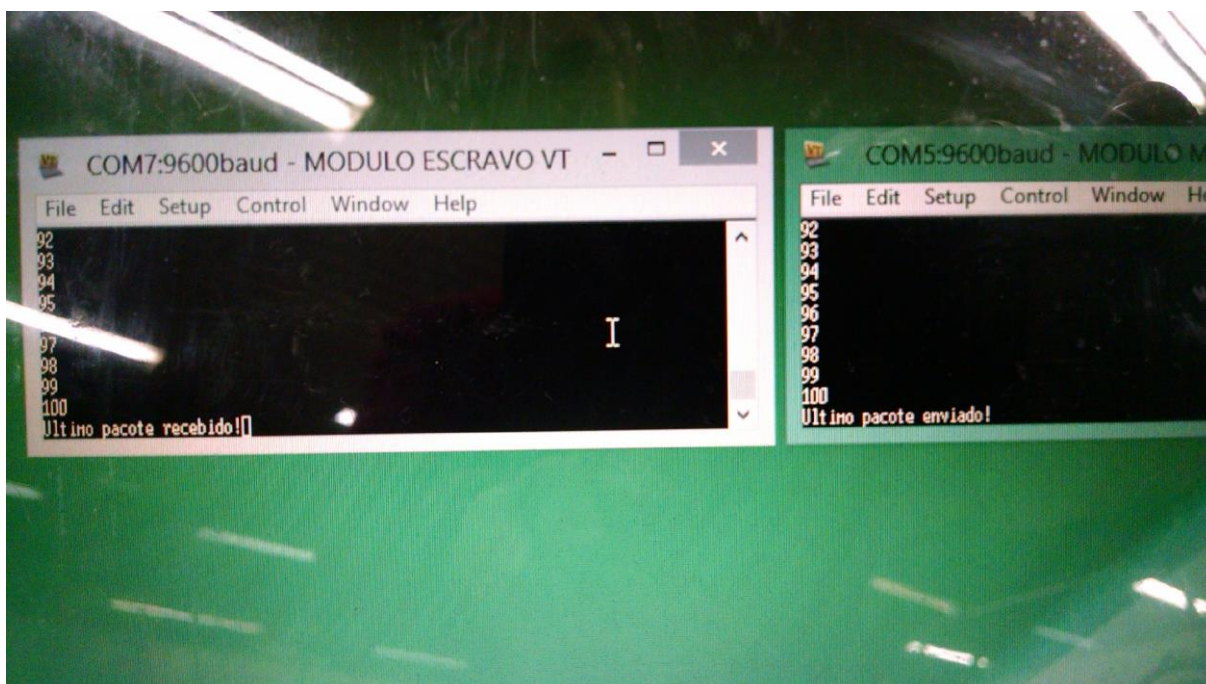
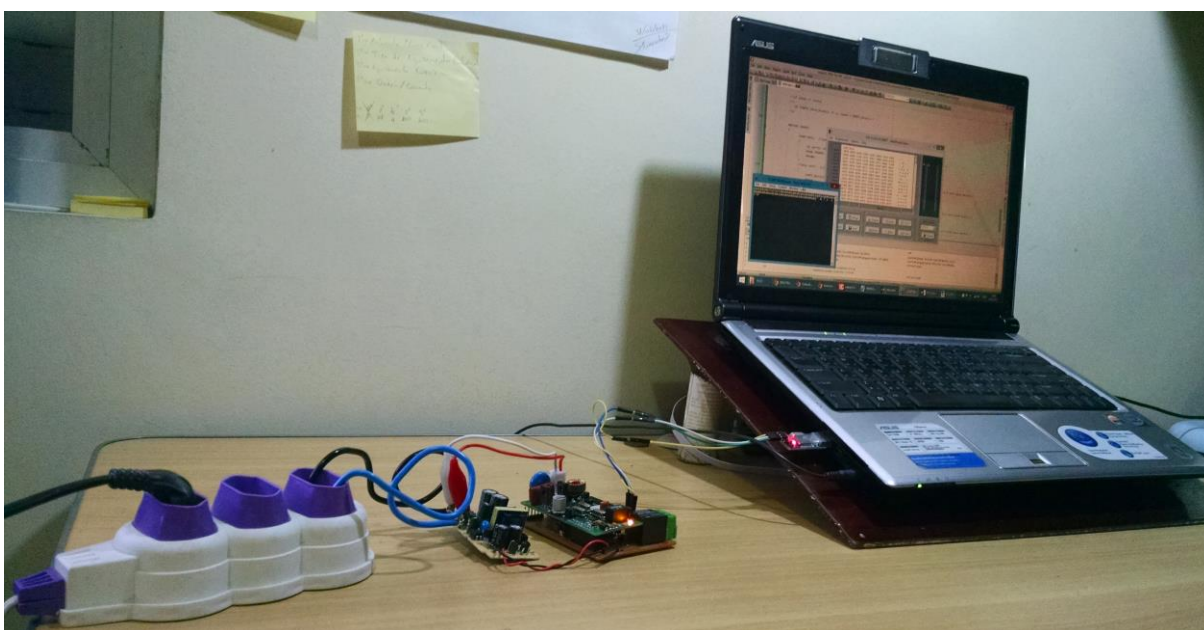


Figura 28: Telas do *software* Tera Term indicando o sucesso dos 100 caracteres enviados.

Fonte: Autoria própria.

Por fim, foram realizados os testes *in loco*, utilizando o mesmo programa para testar as velocidades de comunicação disponíveis, mas agora com o módulo final desenvolvido em PCB.

Na Figura 29 é apresentado o sistema de teste em um cômodo do apartamento do proponente deste TCC. O sistema é formado por um notebook, por uma fonte chaveada de alimentação de 12 Vcc e pelo sistema microcontrolado mestre com o PLC BW-EP10A-EM, conectado à rede elétrica através de uma extensão.



**Figura 29: Sistema de teste *in loco* ligado à rede elétrica através de uma extensão, formado por com uma fonte chaveada de 12 Vcc e pelo módulo mestre.**

**Fonte: Autoria própria.**

Na Figura 30 é apresentado o sistema de AR escravo no cômodo mais distante do apartamento do proponente deste TCC em relação ao sistema mestre. O sistema é formado por uma fonte de alimentação de 12 Vcc e pelo sistema microcontrolado escravo com o PLC BW-EP10A-EM conectado diretamente à rede elétrica.



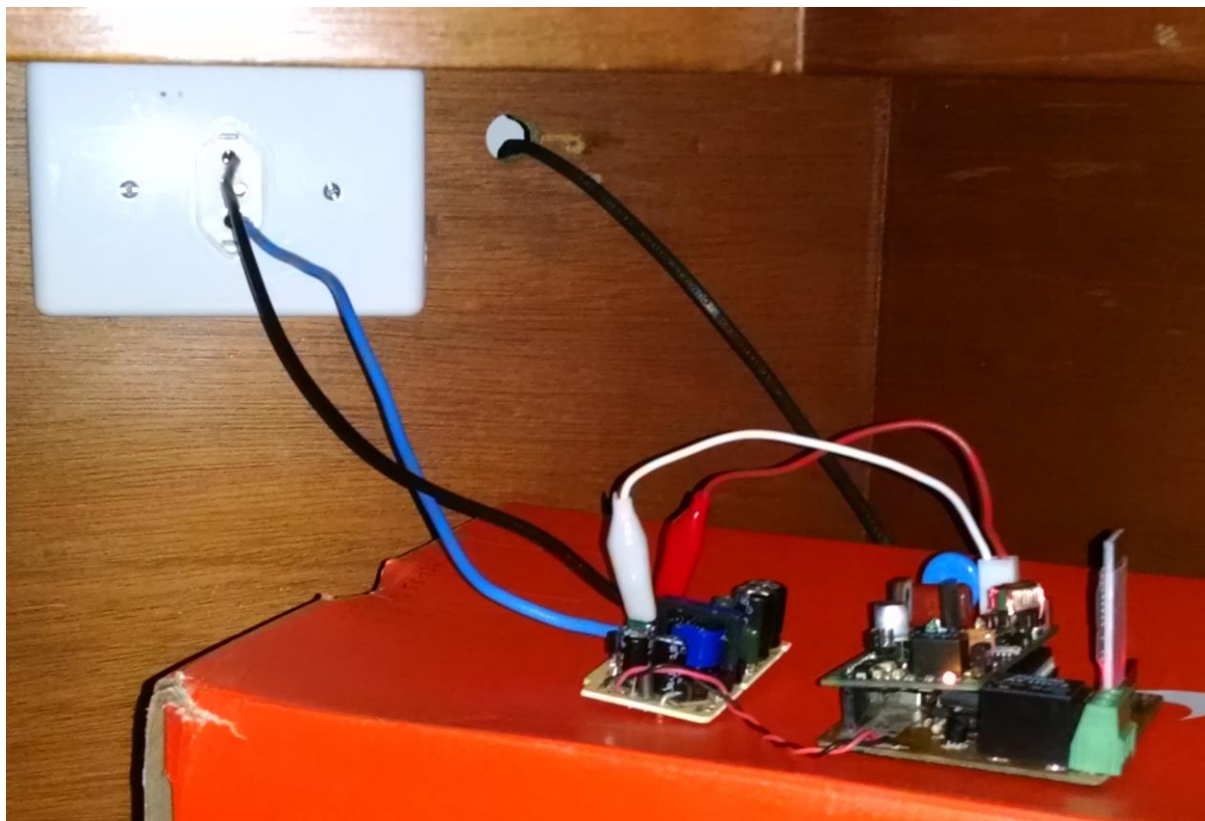


Figura 30: Sistema de teste *in loco* ligado diretamente à rede elétrica, formado por com uma fonte chaveada de 12 Vcc e pelo módulo escravo.

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados dos teste para avaliação dos módulos do sistema de AR. Os teste foram realizados em todas as velocidades de transmissão disponíveis e com 10 leituras cada. Com estes resultados, além da comprovação da qualidade do *modem* PLC, definiu-se que pela maior velocidade de transmissão de dados (600 bps) na configuração do sistema de AR desenvolvido.

Tabela 17: Testes em rede residencial. Média de 10 medidas em cada velocidade de transmissão disponível.

Tensão na rede	Velocidade de transmissão (bps)	Número de pacotes transmitidos	Número de pacotes recebidos
Nominal - 127Vac	100	100	100
	200		100
	300		100
	400		100
	500		100
	600		100

Fonte: Autoria própria

Como exemplo de aplicação, na Figura 31 é apresentado o *layout* do aplicativo final desenvolvido para *smartphone* e na Figura 32 o controle de acionamento de uma lâmpada via Bluetooth, exposto no Capítulo 3.5.



Figura 31: Aplicativo para *smartphone* desenvolvido.

Fonte: Autoria própria.

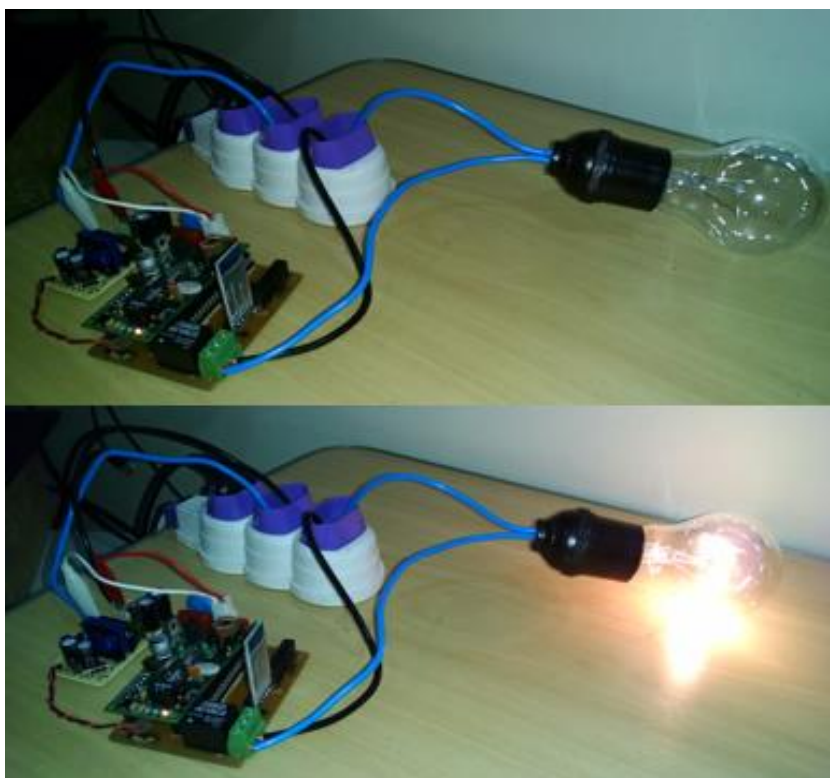


Figura 32: Teste de acionamento de lâmpada com módulo de AR via aplicativo de *smartphone*.

Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.1 Avaliação do tempo de intervalo entre pacotes transmitidos

Neste teste, foi variado o tempo entre a transmissão de caracteres de 100ms a 1000ms para identificar o atraso mínimo possível para recepção correta da informação. Foram feitos testes nos extremos das velocidades que o módulo permitia – no mínimo em 100 bps (Tabela 18) e no máximo em 600 bps (Tabela 19). Na Tabela 18, pode-se verificar que somente a partir do intervalo de tempo de 500 ms o módulo escravo recebe todos os dados enviados de forma correta, e na Tabela 19, só a partir de 650 ms. Abaixo deste tempo, o módulo escravo perder os pacotes do mestre, uma vez que estes começam a se sobrepor.

**Tabela 18: Relação de intervalo de tempo (em milisegundos) x média de pacotes recebidos para 100 bps.**

<b>Intervalo de Tempo (ms)</b>	<b>Média de Pacotes Recebidos</b>
100	0
150	0
200	12
250	23
300	38
350	52
400	66
450	83
500	100
550	100
600	100
650	100
700	100
750	100
800	100
850	100
900	100
950	100
1000	100

**Fonte: Autoria própria.**

**Tabela 19: Relação de intervalo de tempo (em milisegundos) x média de pacotes recebidos para 600 bps.**

<b>Intervalo de Tempo (ms)</b>	<b>Média de Pacotes Recebidos</b>
100	0
150	0
200	0
250	8
300	12
350	57
400	61
450	77
500	80
550	92
600	97
650	100
700	100
750	100
800	100
850	100
900	100
950	100
1000	100

**Fonte: Autoria própria.**

Com este teste, conclui-se que, caso futuramente se deseje utilizar um grande número de pacotes para enviar uma informação maior, devido a limitação de tempo de intervalo entre pacotes, este sistema começa a perder qualidade devido à latência dos módulos PLCs. Visando contornar tal problema, aconselha-se desenvolver um sistema de forma que os comandos, onde o tempo seja mais crucial, seja feito com o menor número de *bytes*, e que apenas utilize-se um número maior para comandos que não exija uma resposta rápida do sistema.

## 5 CONCLUSÃO

A finalidade deste projeto foi testar a qualidade da comunicação de um *modem* comercial de *Power Line Communication* como enlace físico de rede para aplicações em domótica. Para isto, foi construído um protótipo com o objetivo de fazer os testes necessários e demonstrar as potencialidades da tecnologia para o seu emprego de projetos de automação residencial.

Fazendo o uso das tecnologias disponíveis, foram feitas várias baterias de testes para averiguar a qualidade do sistema. Confirmada a transferência de dados, foi implementado um módulo básico para automação residencial, que utiliza um aplicativo de *smartphone* para enviar os comandos via Bluetooth até o módulo microcontrolado desenvolvido. Neste, um microcontrolador mestre tem a função de receber e transmitir os comandos via PLC para o módulo escravo que possui um relé para atuar como interruptor de uma lâmpada.

Em comparação com outros métodos, este é um método de automação muito simples. Ao implementar esta tecnologia espera superar as desvantagens do atual sistema de cabeamento de dados que necessitam de uma estrutura dedicada nas instalações residenciais. Portanto, a primeira, e também a maior contribuição deste trabalho, consiste exatamente em demonstrar a viabilidade de soluções de domótica de baixo custo. Outra contribuição direta deste projeto consiste em despertar o interesse acadêmico, notadamente para alunos de graduação, para esta área do conhecimento que possui um conjunto bastante amplo de aplicações. Através de um projeto, que utiliza conceitos de sistemas microcontrolados, eletrônica digital entre outras áreas, é possível construir um equipamento suficientemente genérico para controlar diversos tipos de dispositivos.

Mediante o desenvolvimento deste trabalho, observa-se no cenário compreendido pelo tema que a automação residencial está se tornando uma nova tendência da tecnologia, e por isso, faz se necessário o aperfeiçoamento. No Brasil a automação residencial ainda é pouca difundida. Por meio desse cenário enfatiza-se a importância de criar sistemas de automação de baixo custo bem como a oportunidade de inserção de produto no mercado, mas que não descartem a segurança, eficiência e principalmente a facilidade de expansão e interação com o usuário final.

Apesar do foco acadêmico, o desenvolvimento desse tipo de projeto representa não só a aplicação dos conhecimentos obtidos na faculdade, mas também uma excelente oportunidade de negócios para os futuros engenheiros.

O objetivo de projetar e testar um sistema e implementar um sistema microcontrolado para a automação residencial utilizando um *modem* de *Power Line Communication* e aplicativo para *smartphone* para fazer interface com o usuário, foi totalmente atendido.

No que tange o objetivo de teste e validação do sistema de automação implementado, deve-se fazer a observação de que há a necessidade de testes mais profundos, tais como, distância máxima permitida entre os módulos, perdas na transmissão entre diferentes circuitos elétricos, influências de ruídos na comunicação causadas por diferentes cargas conectadas à rede elétrica, etc. Além disso, a comunicação PLC através dos módulos *modem* é viável nos casos em que não é necessária o envio de pacotes com intervalo de tempo inferior a 650 ms, considerando a maior taxa de comunicação.

Com os testes e resultados apresentados, ao menos considerando comandos simples, pode-se concluir que o módulo BW-EP10A-EM da Epona Tech. Ltd é indicado para o desenvolvimento de sistemas para domótica.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de refinamento do sistema microcontrolado para automação residencial baseado em *Power Line Communication*, foram identificadas as seguintes oportunidades de melhorias e trabalhos futuros:

- Implementação dos módulos de automação residencial, como controle de televisores via sinais de infravermelho, variação na intensidade da iluminação com *dimmer*, controle de climatização, etc.;
- Melhorias da interface de usuário, através da *internet* com um servidor dedicado para automação da casa, tornando a interface mais acessível, intuitiva e amigável;
- Adição de novas funcionalidades, como, por exemplo, a disponibilização de imagens de câmeras na *internet* através da

pesquisa de outros protocolos de comunicação pela rede *Power Line Communication*. Neste caso, deve-se pesquisar outros módulos com maiores taxas de transmissão;

- Formatação desta prova de conceito como um produto comercial.

Tais modificações requerem alterações tanto no *hardware* (suporte a outros tipos de dispositivos como ethernet) como no *software* (extensão da lógica, parametrização, definições de bibliotecas, entre outros).

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. K., SYMONDS, F. W., ROCHELLE, R. W. **Power line communication**. Patente de número US 4785195 A, 1988. Disponível em: <https://www.google.com/patents/US4785195>. Acesso em: 05 fev. 2015.
- ASSEF, A. A. **Manual de instruções: Kit de desenvolvimento com microcontrolador PIC16F/18F - MICROPIC DAELT versão 0**. Disponível em: [http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/disciplinas/sistemas-microcontrolados/kit-micropic-daelt-utfpr-r0/Manual\\_MICROPIC\\_DAELT-R0.pdf/view](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/disciplinas/sistemas-microcontrolados/kit-micropic-daelt-utfpr-r0/Manual_MICROPIC_DAELT-R0.pdf/view). Acesso em: 10 jun. 2015.
- BERGER, L. T.; PAGANI, P.; SCHWAGER, A.; RENSBURG, P. J. v. **MIMO Power Line Communications: Narrow and Broadband Standards, EMC, and Advanced Processing**, 1th ed. Taylor & Francis Group: 2014.
- BRAIN, M. **How Microcontrollers Work**, 2015. Disponível em: <http://electronics.howstuffworks.com/microcontroller1.htm>. Acesso em: 10 fev. 2015.
- CONVERGÊNCIA DIGITAL. **Banda Larga via rede elétrica: Copel diz que regulamento enterra oferta do serviço**, 31/08/2009. Disponível em: [http://www.wirelessbrasil.org/bloco/websites\\_tecnologia/PLC/artigos\\_noticias/2009/ago\\_31a.html](http://www.wirelessbrasil.org/bloco/websites_tecnologia/PLC/artigos_noticias/2009/ago_31a.html). Acesso: 15 dez. 2014.
- CRSOLUTION. 2013. **Domótica**. Disponível em: <http://www.rcrsolution.com/servizi/domotica>. Acesso em: 28 jan. 2015.
- DIAS, C. L. de A.. **Domótica: Aplicabilidade às edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.
- EPONA TECH. LTD, 2014. Power Line Carrier (PLC) Module BW-EP10A. Disponível em: [http://epona.en.alibaba.com/product/1915209261-218587378/Power\\_Line\\_Carrier\\_PLC\\_Module\\_BW\\_EP10A.html](http://epona.en.alibaba.com/product/1915209261-218587378/Power_Line_Carrier_PLC_Module_BW_EP10A.html). Acesso em: 17 out. 2014.
- HAYKIN, S. **Communication Systems**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico Brasileiro**, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2014.
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC, 2003. **PIC16F87XA Data Sheet**. Disponível em: [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf). Acesso em: 20 fev. 2015.
- MURATORI, J. R.; BÓ, P. H. D. **Automação residencial: histórico, definições e conceitos**, 2011. Disponível em: [http://www.instalacoeseletricas.com/download/Automacao\\_residencial1.pdf](http://www.instalacoeseletricas.com/download/Automacao_residencial1.pdf). Acesso em: 26 nov. 2014.



NEW WAVE INSTRUMENTS, **Spread Spectrum Tools & Resources: Spread Spectrum Communications**, 2015. Disponível em:

[http://www.newwaveinstruments.com/resources/reprints/primers/tutorials/spread\\_spectrum\\_communications/project.htm](http://www.newwaveinstruments.com/resources/reprints/primers/tutorials/spread_spectrum_communications/project.htm). Acesso em: 17 jan. 2015.

SOARES, M. J. **Como confeccionar placas de circuito impresso com acabamento semi-profissional:**

[http://www.arnrobotics.com.br/eletronica/como\\_confeccionar\\_placas\\_semi\\_profissionais.htm](http://www.arnrobotics.com.br/eletronica/como_confeccionar_placas_semi_profissionais.htm). Acesso em: 10 jun. 2015.

SUNROM TECHNOLOGIES, 2014. **Powerline Communcation Modem (PLC).**

Disponível em: <http://www.sunrom.com/p/powerline-communication-modem-plc>. Acesso em: 12 out. 2014.

TAVARES, G. B.; BATISTA, G. H. B.; WILLIAN, P. R. **Sistema Microcontrolado para Automação Residencial Baseado em Power Line Communication via Protocolo X-10**. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Ênfase em Automação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

X-10 HOME GADGETS. **Manual da Mini Concentradora PMC01**. Disponível em: <http://www.authinx.com/manuals/X10/PMC01.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2015b.

X-10 HOME GADGETS. **Manual do módulo Pam04 Heavy Duty Appliance**.

Disponível em: <http://www.authinx.com/manuals/X10/PAM04.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2015a.

## APÊNDICE A - *FIRMWARE* DE TESTE DE COMUNICAÇÃO DO MÓDULO MESTRE

```

#include <stdlib.h> // include this header
char txt0[11]="0123456789";
char txt1[22]="Contato estabelecido!";
char txt2[18]="Enviando pacotes:";
char txt3[23]="Ultimo pacote enviado!";
char txt4[16];
char txt5[27]="Teste de contato em: 54321";
char txt7[16]="Recebido: ";
char txt8[72]="Pressione a barra de espaco para testar a comunicacao entre os modulos:";
bit oldstate;
char teste, receive, error, x;
int contTX=1, i=0;

/*****
Inicialização do PIC16F877A
*****/
void inicializa_pic (void)
{
ADCON1 = 0X06;    // PINOS CONFIGURADOS COM I/O
TRISD = 0X00;    // PortD COMO SAIDA DE DADOS
TRISE = 0X00;    // PortE COMO SAIDA DE DADOS
TRISB = 0B01000000;    // RB3 E RB4 - CHAVES
}

/*****
Função para inicialização do UART
*****/
void InitMain()
{
//Inicialização de periféricos
//uart
UART1_Init(9600);

//Inicialização de portas
//UART

```

```

TRISC.B6 = 0;
TRISC.B7 = 1;
TRISB.B1 = 1;
PORTB = 1;
}
/*****
Função principal
*****/
void main ()
{
  inicializa_pic();
  InitMain();
  error = Soft_UART_Init(&PORTC,1 , 0, 9600, 0); // Initialize Soft UART at 14400 bps
  if (error > 0)
  {
    PORTB = error;          // Signalize Init error
    while(1) ;             // Stop program
  }

  for (i = 0; i < 72; i++)
  {
    teste = txt8[i];
    Soft_UART_Write(teste);
  }
  Soft_UART_Write(0x0d);
  Soft_UART_Write(0x0a);
  receive = Soft_UART_Read(teste);
  if (receive == 0x20)
  {
    UART1_Write(0x37);
    receive = 0;
  }

  while (1)
  {
    if (UART1_Data_Ready())
    {
      receive = UART1_Read();

      if (receive == 0x33)

```

```

{
  receive = 0;
  for (i=0; i<22; i++)
  {
    teste = txt1[i];
    Soft_UART_Write(teste);
  }
  Soft_UART_Write(0x0d);
  Soft_UART_Write(0x0a);
  for (i=0; i<18; i++)
  {
    teste = txt2[i];
    Soft_UART_Write(teste);
  }
  Soft_UART_Write(0x0d);
  Soft_UART_Write(0x0a);

  while (contTX <= 100)
  {
    if (contTX <= 9) {teste = txt0[contTX]; Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 9) && (contTX <= 19)) {Soft_UART_Write(0x31); teste = txt0[contTX-10];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 19) && (contTX <= 29)) {Soft_UART_Write(0x32); teste = txt0[contTX-20];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 29) && (contTX <= 39)) {Soft_UART_Write(0x33); teste = txt0[contTX-30];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 39) && (contTX <= 49)) {Soft_UART_Write(0x34); teste = txt0[contTX-40];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 49) && (contTX <= 59)) {Soft_UART_Write(0x35); teste = txt0[contTX-50];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 59) && (contTX <= 69)) {Soft_UART_Write(0x36); teste = txt0[contTX-60];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 69) && (contTX <= 79)) {Soft_UART_Write(0x37); teste = txt0[contTX-70];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 79) && (contTX <= 89)) {Soft_UART_Write(0x38); teste = txt0[contTX-80];
Soft_UART_Write(teste);}
    if ((contTX > 89) && (contTX <= 99)) {Soft_UART_Write(0x39); teste = txt0[contTX-90];
Soft_UART_Write(teste);}
    if (contTX == 100) {Soft_UART_Write(0x31); Soft_UART_Write(0x30);
Soft_UART_Write(0x30);}
  }
}

```

```
contTX++;
UART1_Write(0x37);
Soft_UART_Write(0x0d);
Soft_UART_Write(0x0a);
Delay_ms(1000);
}
UART1_Write(0x36);
for (i=0; i<23; i++)
{
  teste = txt3[i];
  Soft_UART_Write(teste);
} } } }
```

## APÊNDICE B - *FIRMWARE* DE TESTE DE COMUNICAÇÃO DO MÓDULO ESCRAVO

```

#include <stdlib.h> // include this header

char txt0[11]="0123456789";
char txt1[22]="Contato estabelecido!";
char txt2[24]="Ultimo pacote recebido!";
char txt3[20]="!!ERROR OVER LOAD!!";
char txt4[19]="Recebendo pacotes:";
char txt5[27]="Teste de contato em: 54321";
char txt7[16]="Recebido: ";
char txt8[20]="Aguardando contato:";
bit oldstate;
char teste, receive, error, contato=0;
int contRX=0, i=0;

/*****
Inicialização do PIC16F877A
*****/
void inicializa_pic (void)
{
ADCON1 = 0X06; // PINOS CONFIGURADOS COM I/O
TRISD = 0X00; // PortD COMO SAIDA DE DADOS
TRISE = 0X00; // PortE COMO SAIDA DE DADOS
TRISB = 0B01000000; // RB3 E RB4 - CHAVES}
/*****

Função para inicialização do UART
*****/
void InitMain()
{
//Inicialização de periféricos
//uart
UART1_Init(9600);

//Inicialização de portas

//UART
TRISC.B6 = 0;
TRISC.B7 = 1;

```

```

TRISB.B1 = 1;

PORTB = 1;
}

/*****
Função principal
*****/
void main ()
{
    inicializa_pic();
    Lcd_Init();
    InitMain();
    error = Soft_UART_Init(&PORTC,1 , 0, 9600, 0); // Initialize Soft UART at 14400 bps
    if (error > 0)
    {
        PORTB = error;           // Signalize Init error
        while(1) ;              // Stop program
    }
    for (i = 0; i < 20; i++)
    {
        teste = txt8[i];
        Soft_UART_Write(teste);
    }
    Soft_UART_Write(0x0d);
    Soft_UART_Write(0x0a);
    while (1)
    {
        if (UART1_Data_Ready())
        {
            receive = UART1_Read();

            if (receive == 0x37)
            {
                if (contato == 1)
                {
                    receive=0;
                    contRX++;
                    if (contRX <= 9) {teste = txt0[contRX]; Soft_UART_Write(teste);}
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        if ((contRX > 9) && (contRX <= 19)) {Soft_UART_Write(0x31); teste = txt0[contRX-10];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 19) && (contRX <= 29)) {Soft_UART_Write(0x32); teste = txt0[contRX-20];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 29) && (contRX <= 39)) {Soft_UART_Write(0x33); teste = txt0[contRX-30];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 39) && (contRX <= 49)) {Soft_UART_Write(0x34); teste = txt0[contRX-40];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 49) && (contRX <= 59)) {Soft_UART_Write(0x35); teste = txt0[contRX-50];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 59) && (contRX <= 69)) {Soft_UART_Write(0x36); teste = txt0[contRX-60];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 69) && (contRX <= 79)) {Soft_UART_Write(0x37); teste = txt0[contRX-70];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 79) && (contRX <= 89)) {Soft_UART_Write(0x38); teste = txt0[contRX-80];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 89) && (contRX <= 99)) {Soft_UART_Write(0x39); teste = txt0[contRX-90];
Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 99) && (contRX <= 109)) {Soft_UART_Write(0x31);
Soft_UART_Write(0x30); teste = txt0[contRX-100]; Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 109) && (contRX <= 119)) {Soft_UART_Write(0x31);
Soft_UART_Write(0x31); teste = txt0[contRX-110]; Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 119) && (contRX <= 129)) {Soft_UART_Write(0x31);
Soft_UART_Write(0x32); teste = txt0[contRX-120]; Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 129) && (contRX <= 139)) {Soft_UART_Write(0x31);
Soft_UART_Write(0x33); teste = txt0[contRX-130]; Soft_UART_Write(teste);}
        if ((contRX > 139) && (contRX <= 149)) {Soft_UART_Write(0x31);
Soft_UART_Write(0x34); teste = txt0[contRX-140]; Soft_UART_Write(teste);}
        if (contRX > 149)
        {
            for (i=0; i<20; i++)
            {
                teste = txt3[i];
                Soft_UART_Write(teste);
            }
        }
        Soft_UART_Write(0x0d);
        Soft_UART_Write(0x0a);
    }
    if (contato == 0)

```



```
{
  UART1_Write(0x33);
  receive=0;
  contato=1;
  for (i=0; i<22; i++)
  {
    teste = txt1[i];
    Soft_UART_Write(teste);
  }
  Soft_UART_Write(0x0d);
  Soft_UART_Write(0x0a);
  for (i=0; i<19; i++)
  {
    teste = txt4[i];
    Soft_UART_Write(teste);
  }
  Soft_UART_Write(0x0d);
  Soft_UART_Write(0x0a);
}
}
if (receive == 0x36)
{
  for (i=0; i<24; i++)
  {
    teste = txt2[i];
    Soft_UART_Write(teste);
  } } } } }
```

## APÊNDICE C - *FIRMWARE* FINAL DO SISTEMA DESENVOLVIDO DO MÓDULO CENTRAL

```
#include <stdlib.h> // include this header
```

```
char teste, receive, error, dado, counter=0;
int x1=0, x2=0, x3=0;
```

```
/******
```

```
Função para inicialização do UART
```

```
*****/
```

```
void InitMain()
```

```
{
```

```
    //Inicialização de periféricos
```

```
    //uart
```

```
    UART1_Init(9600);
```

```
    //Inicialização de portas
```

```
    TRISC.B6 = 0;
```

```
    TRISC.B7 = 1;
```

```
    TRISB.B1 = 1;
```

```
    TRISD.B1 = 0;
```

```
    PORTB = 1;
```

```
}
```

```
void interrupt() {
```

```
    if (INTCON.T0IF) {
```

```
        if (counter >= 20) {
```

```
            Soft_UART_Break();
```

```
            counter = 0;        // reset counter
```

```
        }
```

```
        else
```

```
            counter++;        // increment counter
```

```
        INTCON.T0IF = 0;        // Clear Timer0 overflow interrupt flag
```

```
    }
```

```
}
```

```
/******
```

```
Função principal
```

```
*****/
```

```
void main ()
```

```
{
```

```
    OPTION_REG = 0x04;        // TMR0 prescaler set to 1:32
```

```
    InitMain();
```

```
    error = Soft_UART_Init(&PORTC,0 , 1, 9600, 0); // Initialize Soft UART at 14400 bps
```

```
    if (error > 0)
```

```
    {
```

```
        PORTB = error;        // Signalize Init error
```

```
        while(1);            // Stop program
```

```

}

while(1)
{
    INTCON.GIE = 1;
    INTCON.T0IE = 1;

    teste = dado;
    dado = Soft_UART_Read(&error);
    INTCON.GIE = 0;

    if (dado == teste)
    {
        if (UART1_Data_Ready() == 1) {dado = UART1_Read();}
    }

    switch (dado)
    {
        case 0x42:
        {
            if (x1==0) {PORTD.B1=1; x1=1; Soft_UART_Write(0x63); }
            {PORTD.B1=0; x1=0; Soft_UART_Write(0x64); }
            break;
        }
        case 0x41:
        {
            UART1_Write(0x41);
            if (x2==0){Soft_UART_Write(0x61); x2=1;}
            else {Soft_UART_Write(0x62); x2=0;}
            break;
        }
        case 0x43
        {
            UART1_Write(0x43);
            if (x3==0){Soft_UART_Write(0x65); x3=1;}
            else {Soft_UART_Write(0x66); x3=0;}
            break;
        }
    }
    dado=0;
}
}

```

## APÊNDICE D - *FIRMWARE* FINAL DO SISTEMA DESENVOLVIDO DO MÓDULO PERIFÉRICO

```
#include <stdlib.h> // include this header

char teste, receive, error, dado, counter=0;
int x=0;

/*****
Função para inicialização do UART
*****/
void InitMain()
{
    //Inicialização de periféricos
    //uart
    UART1_Init(9600);

    //Inicialização de portas

    TRISC.B6 = 0;
    TRISC.B7 = 1;
    TRISB.B1 = 1;
    TRISD.B1 = 0;

    PORTB = 1;
}
/*****
Função principal
*****/
void main ()
{
    InitMain();

    while(1)
    {
        if (UART1_Data_Ready() == 1) {dado = UART1_Read();}

        switch (dado)
        {
            case 0x43:
            {
                if (x==0) {PORTD.B1=1;    x=1; UART1_Write(0x65); }
                else {PORTD.B1=0;    x=0; UART1_Write(0x66); }
                dado=0;
                break;
            }
        }
    }
}
```

}  
}

## APÊNDICE E - CÓDIGO DO APLICATIVO PARA SMARTPHONE

