

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DE CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA

GUILHERME BURDINSKI TAVARES
GUSTAVO HENRIQUE BRESSAN BATISTA
WILLIAN PRESTES DE RAMOS

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA AUTOMAÇÃO
RESIDENCIAL BASEADO EM POWER LINE COMMUNICATION VIA
PROTOCOLO X-10**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

GUILHERME BURDINSKI TAVARES
GUSTAVO HENRIQUE BRESSAN BATISTA
WILLIAN PRESTES DE RAMOS

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA AUTOMAÇÃO
RESIDENCIAL BASEADO EM POWER LINE COMMUNICATION VIA
PROTOCOLO X-10**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, dos cursos de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica e Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Amauri Amorin Assef.

CURITIBA

2014

GUILHERME BURDINSKI TAVARES
GUSTAVO HENRIQUE BRESSAN BATISTA
WILLIAN PRESTES DE RAMOS

SISTEMA MICROCONTROLADO PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL BASEADO EM POWER LINE COMMUNICATION VIA PROTOCOLO X-10

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

Curitiba, 24 de fevereiro de 2014.

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.
Coordenador de Curso
Engenharia Industrial Elétrica ênfase Automação

Prof. Amauri Amorin Assef, Dr.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Automação do DAELT

ORIENTAÇÃO

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

BANCA EXAMINADORA

Daniel Balieiro Silva, Mestre.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Winderson Eugenio dos Santos, Doutor.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

TAVARES, Guilherme Burdinski, BATISTA, Gustavo H. Bressan; RAMOS, Willian Prestes. Sistema microcontrolado para automação residencial baseado em power line communication via protocolo X-10. 2013. 101f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Elétrica, Ênfase em Automação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O presente trabalho teve como escopo apresentar os conceitos fundamentais acerca da tecnologia de transmissão de dados através da rede elétrica para automação residencial, comumente conhecida como *Power Line Communication* (PLC), e os avanços no projeto dos módulos transmissores e receptores para comunicação via rede elétrica. Para implantar a comunicação foi utilizado um protocolo, já existente, o X-10, o qual é de código aberto possibilitando assim sua manipulação. Esse protocolo foi implementado através de um microcontrolador que permite gerar frequências, que por sua vez através de módulos de circuitos são acoplados, injetados e recebidos na rede elétrica. O módulo transmissor ficou responsável por enviar um comando X-10, e o módulo receptor por receber esse comando e acionar o dispositivo desejado a ser controlado e pertencente à rede elétrica. Foram apresentadas ao longo dos capítulos a fundamentação teórica, a metodologia adotada e as etapas deste projeto. Ao final foram discutidos os resultados obtidos com a implantação do protótipo de automatização residencial abordando os aspectos didáticos e de aplicação do sistema desenvolvido.

Palavras - chave: Comunicação Via Rede Elétrica. *Power Line Communication*. Automação Residencial. X-10. Microcontrolador. Módulo Transmissor. Módulo Receptor.

ABSTRACT

TAVARES, Guilherme Burdinski, BATISTA, Gustavo H. Bressan; RAMOS, Willian Prestes. Microcontrolled system for home automation based on power line communication using X-10 protocol. 2013. 101f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Elétrica, Ênfase em Automação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

This work had the objective to present the fundamental concepts about data transmission technology via the mains for home automation, commonly known as Power Line Communication (PLC), and advances in the design of transmitters and receivers modules for power line communication. To deploy the communication was used an existing protocol X-10, which is open source thus enabling their manipulation. This protocol was implemented through a microcontroller to generate frequencies, which in turn through modules circuits are coupled, injected and received the power grid. The transmitter module sends an X-10 command module and the receiver received this command and trigger the desired device to be controlled and owned by grid. Are presented throughout the chapters the theoretical framework and the methodology steps of this project. At the end we were discussed the results obtained with the implementation of the prototype home automation addressing aspects of teaching and application of the developed system.

Keywords: Power line communication. Home Automation. X-10. Microcontroller. Transmitter module. Receiver module.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de uma rede Domótica.....	16
Figura 2 - Representação de uma transmissão no padrão X-10.....	17
Figura 3 - Onda senoidal com a injeção de um sinal X-10.....	18
Figura 4 - Estrutura de recebimento de mensagem segundo o modelo OSI.....	24
Figura 5 - Envio de pulso após passagem por zero.	26
Figura 6 - Envio de sinais binários 1 e 0.	27
Figura 7 - Rotina padrão de transmissão X-10.....	28
Figura 8 - Frame do protocolo X-10.	29
Figura 9 - Diagrama de Comunicação <i>Power Line Communication</i>	35
Figura 10 - Circuito Detector de Passagem por Zero.	36
Figura 11 - Resultado do DPZ.....	36
Figura 12 - Detalhe optoacoplador 4N25.	37
Figura 13 - PIC16F877A.....	40
Figura 14 - Pinagem PIC16F877A.	41
Figura 15 - Módulo transmissor.....	42
Figura 16 - Circuito Módulo Transmissão.....	43
Figura 17 - Módulo Recepção.	44
Figura 18 - Circuito Módulo Recepção.	45
Figura 19 - Módulo Amplificador.....	46
Figura 20 - Circuito Acoplador da transmissão.....	48
Figura 21 - Circuito Acoplador da recepção.	48
Figura 22 - Interface com o usuário.....	50
Figura 23 - Fluxograma de Inicialização do Transmissor.	53
Figura 24 - Fluxograma da rotina de leitura.	54
Figura 25 - Fluxograma de envio de mensagem.	55
Figura 26 - Fluxograma de envio de mensagem duplicada.....	56
Figura 27 - Fluxograma de escuta do <i>Start Code</i>	57
Figura 28 - Fluxograma de destinação da mensagem.	58
Figura 29 - Comparação da mensagem duplicada.....	59
Figura 30 - Fluxograma de execução do comando.	60
Figura 31 – Gerador 120 kHz.....	61
Figura 32 – Diagrama em blocos simplificado do PWM.....	62
Figura 33 - Período PWM.....	63
Figura 34 - <i>Layout</i> PCI Transmissor e Receptor respectivamente.	66
Figura 35 - Placa do Módulo Transmissor Concluída.....	67
Figura 36 - Placa do Módulo Receptor Concluída.....	67
Figura 37 - Forma de onda passagem por zero.	70
Figura 38 – <i>Burst</i> de 120 kHz.....	71
Figura 39 - Atraso do Microcontrolador para Envio de um bit X-10.....	71
Figura 40 – <i>Burst</i> injetado na rede elétrica.....	72
Figura 41 - Filtros e Acoplamento Receptor.....	73
Figura 42 - Sinal na saída do filtro passa-alta.	74
Figura 43 - Sinal Filtro Passa-Alta.....	74
Figura 44 - Sinal do amplificador sintonizado.....	75
Figura 45 - Saída Amplificador Simples.	76
Figura 46 - Sinal Detecção de Envoltória.	76
Figura 47 - Sistema Implementado.	77
Figura 48 - Quadro X-10 Gerado pelo Módulo Transmissor.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos principais protocolos de comunicação via rede elétrica	15
Tabela 2 - Códigos do protocolo X-10.....	31
Tabela 3 - Exemplo de Transmissores e Receptores do sistema X-10.....	32
Tabela 4 - Lista de Materiais.....	68

LISTA DE SIGLAS

AC	<i>Alternate Current</i>
ADC	Conversor digital / analógico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AURESIDE	Associação Brasileira de Automação Residencial
<i>Bit</i>	Estado logico 1/0
<i>Burst</i>	Pico de sinal
CEBus	Consumer Electronic Bus
CPU	Unidade Central de Processamento
<i>Datasheet</i>	Folha de dados técnicos do fabricante
DC	<i>Direct Current</i>
<i>Dimmer</i>	Regulador de intensidade de luz
DIP	Domotics Integration Project
DPZ	Detector de Passagem por Zero
EHS	<i>European Home Systems</i>
EIB	<i>European Installation Bus</i>
EUA	Estados Unidos da América
FGV	Fundação Getúlio Vargas
I/O	Entrada e saída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD	<i>Display</i> de Cristal Líquido
LED	Diodo Emissor de Luz
LonWorks	<i>Local Operating Network</i>
LSB	<i>Least significant bit</i>
LTDA.	Limitada
MSB	<i>Most significant bit</i>
OSI	<i>Open systems Interconnection</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PLC	<i>Power Line Communications</i>
PROM	Memória Programável Somente para Leitura
PWM	<i>Pulse-width modulation</i>
RAM	Memória de Acesso Aleatório

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
ULA	Unidade Lógica Aritmética
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
X-10	Protocolo de Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	12
1.1.1	Delimitação do tema	12
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS	19
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo Geral	19
1.3.2	Objetivos específicos	20
1.4	JUSTIFICATIVA	20
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	A TECNOLOGIA <i>POWER LINE COMMUNICATION</i> X-10	23
2.1	TEORIA DE TRANSMISSÃO: <i>POWER LINE COMMUNICATION</i> X-10	23
2.2	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO X-10	24
2.2.1	Atenuação e Ruído do Sinal X-10	26
2.2.2	Cabeçalho X-10	27
2.3	CÓDIGOS DO PROTOCOLO X-10	30
3	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	34
3.1	CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO	35
3.2	CIRCUITO DETECTOR DE PASSAGEM POR ZERO	36
3.3	OPTOACOPLADOR 4N25	37
3.4	MICROCONTROLADOR	38
3.4.1	Arquitetura genérica de um microcontrolador	39
3.4.2	Família PIC	39
3.4.3	PIC16F877A	40
3.5	MÓDULO DE TRANSMISSÃO	42
3.6	MÓDULO DE RECEPÇÃO	44
3.7	AMPLIFICADOR SINTONIZADO	46
3.8	CIRCUITO ACOPLADOR	47
3.9	INTERFACE COM O USUÁRIO	49
4	SEÇÃO DO FIRMWARE	51
4.1	FLUXOGRAMA FUNCIONAL	52
4.1.1	Fluxograma Algoritmo Transmissão	53
4.1.2	Fluxograma Algoritmo Recepção	57
4.2	GERAÇÃO <i>BURST</i> 120 kHz	60
4.3	GERAÇÃO DE ONDA QUADRADA UTILIZANDO O PIC16F877A	62

4.4	PERÍODO PWM.....	62
4.5	RAZÃO CÍCLICA PWM.....	64
4.6	LEITURA DE SINAIS DA REDE ELÉTRICA.....	64
5	CONFEÇÃO DOS MÓDULOS.....	66
5.1	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI).....	67
5.2	RELAÇÃO DE COMPONENTES.....	68
6	RESULTADOS.....	69
6.1	TESTES E VALIDAÇÃO DOS MÓDULOS.....	69
6.1.1	Detecção de Passagem por Zero.....	69
6.1.2	Injeção do Sinal.....	70
6.1.3	Acoplamento.....	72
6.2	VERIFICAÇÃO MÓDULO RECEPTOR.....	72
6.2.1	Sinal Filtro Passa-Alta (Desacoplamento) – P1.....	73
6.3	ASPECTOS GERAIS DO HARDWARE.....	77
7	CONCLUSÃO.....	79
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
8	REFERÊNCIAS.....	83
	APÊNDICE A - FIRMWARE DE TRANSMISSÃO.....	87
	APÊNDICE B - FIRMWARE DE RECEPÇÃO.....	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

1.1.1 Delimitação do tema

Segundo dados divulgados do Censo Demográfico brasileiro, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, vêm ocorrendo mudanças no perfil demográfico e nos hábitos da população brasileira, destacando-se o aumento da expectativa de vida, a redução do número de filhos, o aumento da mão-de-obra feminina no mercado de trabalho e o aumento da violência nos grandes centros urbanos, fato este que acarreta no sentimento de amedrontamento da sociedade atual. A ideia de que viver em coletividade oferece segurança, há muito tempo foi extinta. Em contraponto, é cada vez mais natural, o sentimento de insegurança e de busca pelo isolamento como formas de proteção contra a violência presente, especialmente, nos grandes centros urbanos.

Aliado a estes fatores, mudança nas características econômicas e sociais, agregam novas necessidades das moradias das famílias, que de acordo com pesquisa da Fundação Getúlio Vargas (FGV) (2004, p.6), sobre orçamentos familiares, indicativos como: o crescimento por procura por serviços de tele entregas, o aumento das vendas pela internet, assinaturas de planos de banda larga, telefonia e TV a cabo, bem como os serviços remotos de vigilância, apresentam-se como fatores que, demonstram que a população adquiriu, nos últimos anos, novos hábitos de consumo. Assim, o mercado imobiliário deve considerar a existência atual de uma classe de consumidores mais exigente, que tem procurado produtos e serviços com qualidade e diferenciação, e ainda, que as pessoas têm buscado agregar a suas moradias, elementos que lhes proporcionam o aumento do conforto e segurança. Esses fatores refletem-se diretamente nas novas necessidades das moradias das famílias, devendo ser considerados na concepção dos novos projetos habitacionais (DIAS, 2004).

Automação residencial, ou domótica, está cada dia facilitando mais a vida dos moradores. É possível uma gama de possibilidades práticas e econômicas que utilizam a automação, desde a básica até a mais abrangente, em sistemas de

integração para diversos ambientes. O resultado é um ambiente prático, confortável, agradável, mais bonito, valorizado e seguro, de acordo com o interesse do usuário.

Fechar a porta, acender a luz, abrir as persianas da sala, habilitar ou desabilitar equipamentos eletrônicos, alterar a luminosidade do ambiente, realizar abertura de cortinas, janelas, são apenas algumas facilidades que podem ser conseguidas com um simples toque de um botão que, programado, agrupa várias tarefas a serem realizadas em um mesmo ambiente automatizado.

Com esse propósito, surge a Domótica, junção da palavra latina “Domus” (casa) com “Telemática” (eletrônica + informática). O significado está relacionado à instalação de tecnologia em residências, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida, aumentar a segurança e viabilizar o uso racional dos recursos para seus habitantes.

A Associação Brasileira de Automação Residencial (AURESIDE) (2005, p. 56), referindo-se à Domótica nas construções, assegura que construir “com algum diferencial é atualmente uma ferramenta de *marketing* para o setor. Os mais jovens buscam novidade; e os mais idosos segurança, ambos encontrados nos sistemas de automação residencial”. Sinônimos tais como Automação Residencial, Automação Doméstica ou Automatização Residencial podem ser encontradas. Para Wortmeyer, Freitas e Cardoso (2005), “automação residencial representa o emprego de tecnologias ao ambiente doméstico, com o objetivo de propiciar conforto, praticidade, produtividade, economia, eficiência e rentabilidade, com valorização da imagem do empreendimento e de seus usuários”.

“Segundo a Domotics Integration Project (DIP), Domótica ou tecnologia da casa inteligente é a integração dos serviços e tecnologias, aplicados a residências, *flats*, apartamentos, casas e pequenas construções, com o propósito de automatizá-los e obter aumento em relação à segurança e proteção, conforto, comunicação e gerenciamento técnico.”

A incorporação da Domótica ao ambiente residencial é composta de uma rede de comunicação que permite a interconexão de uma série de dispositivos, equipamentos e outros sistemas, com o objetivo de obter informações sobre o ambiente residencial e o meio em que ele se insere, efetuando determinadas ações a fim de supervisioná-lo ou gerenciá-lo, com auxílio de dispositivos transmissores e receptores possibilita automatizar as rotinas e tarefas de uma casa.

O meio de transmissão é um suporte físico onde circula a informação trocada entre os diversos dispositivos da rede de Domótica. Dispositivos como transmissores e receptores, comunicam entre si ou com unidades centrais inteligentes, sendo capazes de interpretar os dados recebidos e transmitir sinais para efetuar acionamentos ou ajustes a determinados equipamentos, respondendo a suas necessidades de comunicação, segurança, controle e gerenciamento das instalações. Segundo Teruel (2008, p.40), os principais meios de transmissão de dados para integrar os dispositivos que realizam a automação de setores de uma residência são: rede elétrica - *Power Line Communication* (PLC), fibra óptica, rádio frequência, infravermelhos, cabo de par trançado e rede sem fio (*wireless*).

Existem registros de transmissão de comandos utilizando a tecnologia *Power Line Communication* (PLC) desde 1838, com a primeira patente sendo registrada em 1897. A partir de 1913 a tecnologia tornou-se comercial (RIBEIRO, 2007). Inicialmente era chamada de *Power Line Carrier* e muito usada em redes de alta tensão de 69 kV a 500 kV pelas concessionárias de energia elétrica para comunicação de voz e dados entre as subestações.

Sendo PLC um acrônimo, também utilizado na designação de Controladores Lógico Programáveis (*Programmable Logic Controller*), cabe aqui ressaltar que, ao longo deste trabalho, quando não referenciado por extenso, o termo PLC, refere-se à expressão *Power Line Communication*.

Este projeto irá convergir na solução da integração de módulos de automação residencial usando a tecnologia *Power Line Communication*, para que os dispositivos conectados à rede elétrica troquem informações (dados) através de um protocolo de comunicação. Os principais protocolos de comunicação que usam a rede elétrica são: X-10, CEBus (*Consumer Electronic Bus*), LonWorks (*Local Operating Network*), EIB (*European Installation Bus*), EHS (*European Home Systems*), entre outros.

Independente do contexto, protocolo é uma resolução, onde regras ficam definidas e devem ser respeitadas pelas partes envolvidas. Assim, um protocolo de comunicação é um conjunto de convenções necessárias para a troca de informação entre diferentes dispositivos de forma eficiente. Estes, quando estão associados a um mesmo protocolo, conseguem trocar informações entre si, já que funcionam sob a mesma “linguagem”.

A Tabela 1 mostra a comparação entre os principais protocolos de comunicação via rede elétrica.

Tabela 1 - Comparação dos principais protocolos de comunicação via rede elétrica

Protocolos	X-10	LonWorks	CEBus	EIB	EHS
Rapidez de instalação	Boa	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Expansibilidade (Números de dispositivos)	256	10 ¹⁹	61000	65536	10 ¹²
Meios de comunicação utilizados	Rede elétrica	Rede elétrica	Rede elétrica	Rede elétrica	Rede elétrica
Custo	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado

Fonte: Adaptado de Análise comparativa dos sistemas domóticos (FERNADES, 2001).

Algumas conclusões após análise da Tabela 1 podem ser citadas, tais como: a tecnologia X-10 é a mais fácil e rápida de instalar/configurar; no que se refere ao critério da expansibilidade é a tecnologia LonWorks a que permite o maior número de dispositivos, sendo o sistema X-10 o mais limitado (apenas 256 nós). Todos os sistemas usam a rede elétrica como meio de comunicação.

Portanto, este projeto irá se concentrar na automação residencial utilizando a tecnologia *Power Line Communication* através do protocolo de comunicação X-10, por apresentar vantagens: na facilidade e rapidez de instalação e configuração; possibilidade de aproveitamento de uma rede elétrica já existente e, sobretudo, o baixo custo.

Entre 1976 e 1978, a empresa Pico Electronics, sediada em Glenrothes (Escócia), que é reconhecida como a criadora do primeiro *chip* de calculadora do mundo, cujos projetos tinham código de X-1 até X-9, tentou desenvolver um sistema de automação doméstica que utilizasse a rede elétrica como meio de comunicação e que permitisse controlar remotamente os aparelhos eletrônicos e luzes de uma residência. Com vista a obter o apoio financeiro necessário para o desenvolvimento e distribuição dos seus produtos, a Pico Electronics associou-se em 1978 a uma companhia de áudio conhecida como BSR, o que resultou na criação da X-10 LTDA (RYE,1997). Desenvolveu-se então o sistema X-10, tal como hoje é conhecido. Posteriormente foi estabelecido um acordo com a Sears, Roebuck & Company, e

com a Radio Shack. Em 1979 a X-10 LTDA começou a distribuir o sistema X-10 a estas duas empresas que, por sua vez, o introduziram com sucesso no mercado. O financiamento dos produtos X-10 foi feito pela BSR, desde 1978 até julho de 1984, mas a partir deste momento, devido a dificuldades financeiras sentidas pela BSR, o mesmo passou a ser efetuado pela X-10 (EUA) Inc (subsidiária da BSR-USA), a qual passou a controlar todo o *marketing* do X-10. Em 1987 a X-10 LTDA comprou a parte correspondente à BSR e assumiu todas as atividades de *marketing* do X-10, inclusive aquisição da patente, a qual veio a expirar em 1997, ou seja, o X-10 é atualmente um protocolo aberto, sendo muitas as empresas que comercializam os produtos baseados nesta tecnologia. A grande variedade de módulos e interfaces X-10, a utilização da rede elétrica existente como meio de transmissão, os preços baixos e a facilidade de instalação contribuíram para o rápido sucesso do X-10 nos EUA e Europa (HERNANDES, 2006).

Na Figura 1 destaca-se a grande mobilidade que o cabeamento da rede elétrica proporciona ao usuário dentro de uma casa, utilizando a infraestrutura da própria rede elétrica, ou seja, do condutor elétrico para transportar os sinais entre os diferentes equipamentos *Power Line Communications*. O sistema é composto por vários tipos de controladores, para diferentes tipos de aplicações.

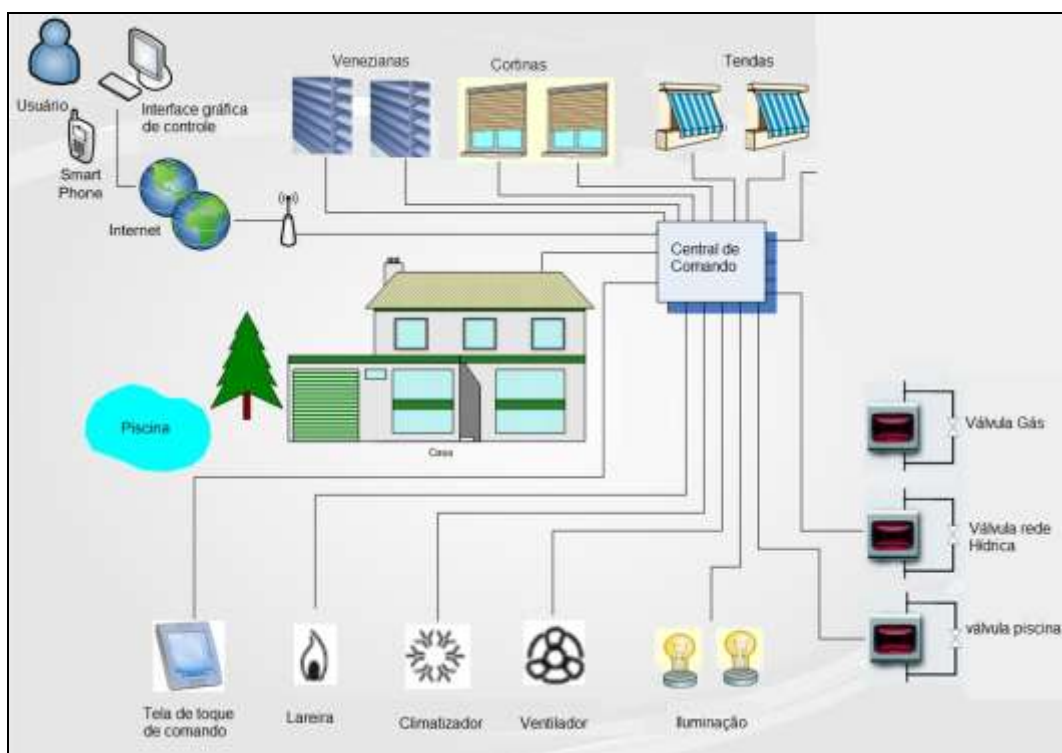


Figura 1 - Exemplo de uma rede Domótica.
Fonte: Adaptado de CRSOLUTION (2013).

A infraestrutura da rede elétrica domiciliar utilizada como meio de transmissão de informações, comporta-se como uma rede de dados onde cada tomada elétrica é um ponto de conexão à rede. Inúmeras aplicações podem ser utilizadas com a tecnologia *Power Line Communication*. Segundo a Resolução Normativa nº 3752009, de 25 de agosto de 2009, da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, *Power Line Communication* é o sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio físico para a comunicação digital ou analógica de sinais, tais como: internet, vídeo, voz, entre outros. E, graças ao aproveitamento de infraestrutura e fiação já presente, esta surge com um potencial enorme para comunicação para os mais diversos fins, e no caso proposto, trata-se de uma comunicação de um dispositivo de controle para automação residencial.

O X-10 é um protocolo de comunicação que controla remotamente os dispositivos elétricos utilizando a rede elétrica como meio de transmissão entre o transmissor e o receptor. A comunicação baseia-se na “injeção” de sinais de alta-frequência (120 kHz) sobre a rede elétrica de 127 VAC, representando sinais binários (1 ou 0). O número binário “1” é representado por um *burst* de 120 kHz durante 1 ms, o mais próximo possível da passagem por zero da rede elétrica, enquanto o binário “0” é representado pela ausência do *burst* de 120 kHz na passagem por zero. O protocolo de comunicação X-10 utiliza redundância dos dados transmitidos, isto é, em uma passagem por zero da senóide é enviado o *bit* desejado e na passagem seguinte é enviado seu complemento (CENTRAL CASA, 2013).

O protocolo X-10 implementa um sistema simples de endereçamento constituído (Figura 2) por duas partes: código de endereçamento/casa (*house/letter code*) que é composto por letras de A a P e código de unidade (*unit code*), corresponde a uma zona de um determinado circuito de comando e tem também 16 posições possíveis: 1 a 16. Assim é possível ter no sistema até 256 dispositivos (16 códigos de endereçamento x 16 códigos de dispositivo) (NUNES, 2009).

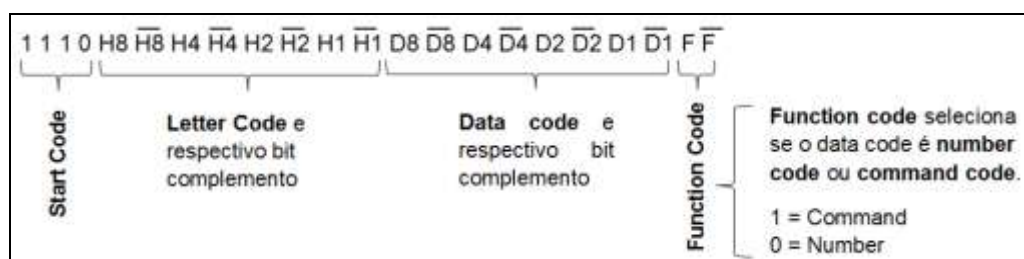


Figura 2 - Representação de uma transmissão no padrão X-10.
Fonte: Adaptado de TRINDADE (1997).

Apesar de sua fácil instalação, alguns cuidados devem ser tomados, pois, por utilizarem os condutores da instalação elétrica, faz-se necessário instalar filtros nos ramais elétricos de entrada da residência, para que bloqueiem a saída ou entrada dos sinais gerados pelos dispositivos X-10.

Mediante a comunicação entre transmissores e receptores, enviando e recebendo sinais por meio da infraestrutura da própria instalação da rede elétrica na residência, esta é transformada em uma rede de comunicação através da superposição de um sinal de baixa potência modulado em alta frequência na senóide da rede elétrica. Assim, sobreposto à senóide da rede elétrica, insere-se um sinal com a informação a ser transmitida. Este sinal composto (energia elétrica + dados) é enviado pela rede elétrica. Na recepção, está um módulo receptor, sintonizado para sinais modulados de alta frequência, podendo assim, ser programado para responder a um determinado pulso. Isto permite enviar e receber sinais entre vários aparelhos que estejam simplesmente ligados à rede elétrica da residência.

Para permitir o uso em instalações elétricas trifásicas, os sinais de 120 kHz são emitidos três vezes em cada ciclo, em instantes que coincidem com a passagem por zero da onda senoidal de cada uma das fases (Figura 3). Deste modo, e recorrendo a acopladores próprios, torna-se possível comunicar com qualquer dispositivo, independentemente da fase em que esteja instalado. Por uma questão de simplificação da explicação, este aspecto será omitido na continuação do presente projeto, referindo-se apenas aos sinais relativos a uma única fase.

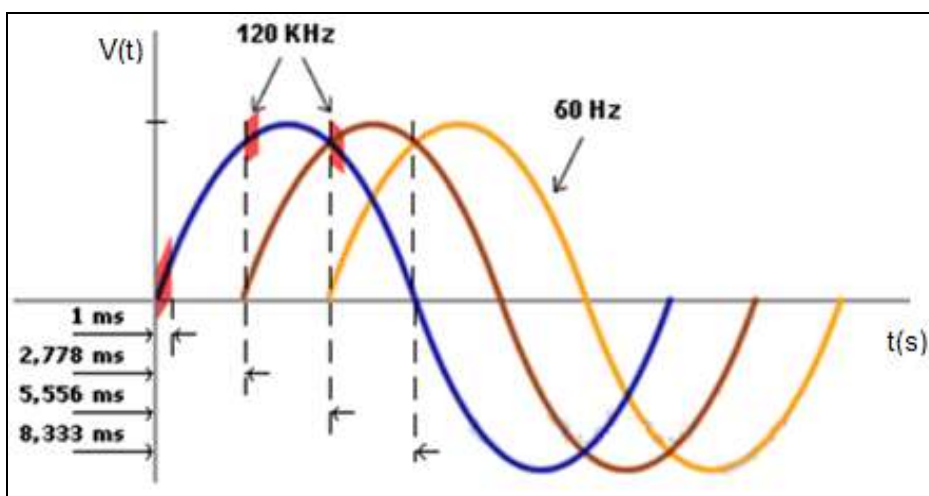


Figura 3 - Onda senoidal com a injeção de um sinal X-10.
Fonte: Adaptado de CENTRAL CASA (2013).

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A rede elétrica não apresenta como principal finalidade servir como um meio de comunicação de dados, sendo muito suscetível a ruídos para esta aplicação. Existem inúmeras fontes que podem gerar estes ruídos, algumas com menos e outras com mais intensidade. Estes ruídos são extremamente prejudiciais para a propagação dos sinais de *Power Line Communication*. Aqui cabe a formulação de um questionamento: É possível desenvolver um sistema microcontrolado de baixo custo para comunicação entre equipamento utilizando a estrutura da rede elétrica via protocolo X-10?

Tendo em vista esta problemática de comunicação via rede elétrica, com critério de redundância e confiabilidade, bem como a complexidade técnica e delimitação do próprio tempo para desenvolvimento tanto de *hardware* quanto de *firmware*, este projeto se delimitará na demonstração e implementação de uma pequena parcela das diversas funcionalidades do protocolo de comunicação X-10, se restringindo a apenas a funções como Liga e Desliga, e endereçando apenas a quatro dispositivos na rede elétrica. Tais dispositivos serão lâmpadas acionadas por relés, dos quais terão a funcionalidade de responder aos comandos de liga e desliga através da comunicação enviada via a rede elétrica. Apesar de se restringir a simples funções, é possível demonstrar/observar as potencialidades da tecnologia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar e desenvolver um sistema de automação residencial capaz de comunicar-se via rede elétrica, sendo necessário para instalação apenas ligar um módulo de controle/transmissor em uma tomada e o módulo a ser comandado/receptor em outra tomada elétrica utilizando o protocolo X-10.

1.3.2 Objetivos específicos

Objetivos específicos estão listados a seguir:

- Apresentar o conceito de *Power Line Communication*;
- Apresentar a estruturação do protocolo de comunicação X-10;
- Pesquisar e projetar os módulos de *hardware* necessários para o desenvolvimento do trabalho de comunicação via rede elétrica;
- Escolher um microcontrolador para atribuir a funcionalidade do X-10 na operação;
- Desenvolver o algoritmo, *firmware*, com o dispositivo escolhido;
- Testar e validar o sistema de automação desenvolvido.

1.4 JUSTIFICATIVA

A evolução tecnológica dos diferentes sistemas domésticos, aliados ao crescimento explosivo da internet e os resultados dos investimentos em infraestrutura de comunicações, tem estimulado a indústria de construção civil a incorporar soluções inovadoras de automação residencial em seus novos empreendimentos (HERNANDES, 2006).

Assim a automação residencial vem 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. A utilização da rede elétrica já existente na residência e o baixo custo dos aparelhos compatíveis com o protocolo X-10 torna possível um sistema de automação residencial que atenda aos requisitos citados anteriormente (AURESIDE, 2013).

Adota-se, portanto *Power Line Communication* neste Trabalho de Conclusão de Curso como *retrofitting*, ou seja, termo este utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização/reforma de algum equipamento ou sistema, é um procedimento moderno, efetivo e com custo inferior ao de novas aquisições.

A comunicação via *Power Line Communication* é viável, pois é uma forma mais econômica na implementação de sistema de automação, pois já utiliza um meio de transmissão existente. O sistema da rede elétrica no Brasil atinge aproximadamente 98% da população (RIBEIRO, 2007). Isto significa que a estrutura de rede para comunicação de dados para a automação pretendida utilizando a tecnologia *Power Line Communication* já está praticamente pronta.

Sendo, portanto uma área de desenvolvimento ampla, implementar um sistema *Power Line Communication* utilizando microcontrolador, aliado com a incorporação do protocolo X-10 bem consolidado, torna-se uma trabalho interessante no ambiente acadêmico associado ao fim do curso de Engenharia Elétrica.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A realização deste trabalho foi constituída das seguintes etapas:

1ª Etapa: Metodologia Aplicada ao TCC

Estudo e Revisão Bibliográfica: Pesquisa de referências bibliográficas, através da busca de livros, artigos, *datasheets*, trabalhos técnicos em acervos e na internet, selecionando as obras com maior relevância sobre o assunto, em principal sobre aspectos técnicos de funcionamento e modulação do protocolo X-10 operando em um microcontrolador;

2ª Etapa: Trabalho de Conclusão de Curso 1

Projeto e desenvolvimento: Embasamento teórico para a elaboração e desenvolvimento do esquema elétrico, que envolveu a determinação dos componentes para atender as especificações do projeto;

3ª Etapa: Trabalho de Conclusão de Curso 2

Desenvolvimento da programação e confecção dos módulos de transmissão e recepção para implantação do sistema de automatização residencial *Power Line Communication* via X-10 e resultados atingidos com o sistema.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso está composto de 8 capítulos além dos elementos pré e pós-textuais de forma a abordar:

Capítulo 1: O primeiro capítulo apresenta o tema, a delimitação do tema, os problemas e premissas, objetivos e a metodologia referente ao tema.

Capítulo 2: Fundamentação teórica: abordando a teoria bem como o funcionamento da tecnologia *Power Line Communication* via protocolo de comunicação X-10.

Capítulo 3: Especificações Técnicas, ou seja, *hardwares* ou módulos de circuitos que constituem o sistema *Power Line Communication* X-10.

Capítulo 4: Estruturação da lógica para criação do *firmware*, linguagem de processamento dos comandos do protocolo X-10 para o microcontrolador.

Capítulo 5: Confecção de módulos transmissores e módulos receptores: como caráter prático comprovando aplicação na automatização residencial.

Capítulo 6: Resultados de testes com os módulos elaborados confrontando-os com os resultados encontrados via simulação no Capítulo 3.

Capítulo 7: Conclusão: contendo as considerações finais obtidas através do desenvolvimento do trabalho realizado.

Capítulo 8: Referências.

2 A TECNOLOGIA *POWER LINE COMMUNICATION X-10*

Neste capítulo são apresentados os conceitos principais sobre a tecnologia *Power Line Communication X-10* que deram suporte para o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso. O item 2.1 apresenta uma pequena introdução sobre o tema e teoria de transmissão pela rede elétrica, enquanto o item 2.2 aborda o protocolo X-10, responsável pela camada de enlace. O item 2.3 apresenta em detalhes as tabelas de códigos internos da funcionalidade e operação do protocolo.

2.1 TEORIA DE TRANSMISSÃO: *POWER LINE COMMUNICATION X-10*

A comunicação via rede elétrica definida por *Power Line Communication* se baseia na modulação de sinais de telecomunicações sobre o sinal senoidal da rede. Esta tecnologia originou-se a partir da observação de que vários equipamentos eletrônicos já interferiam na rede elétrica gerando certas modulações sobre a mesma. Como por exemplo, cargas geradoras de interferência elétrica: motores universais (encontrados em muitos equipamentos residenciais como ventiladores, liquidificadores, centrífugas, enceradeiras, máquinas de lavar roupa, etc.) e alguns tipos de lâmpadas, que injetavam ruídos e modulações identificáveis no canal. Assim, esses aparelhos quando usados causavam interferências em outros equipamentos eletrônicos, como aparelhos de televisão e som, ligado a mesma rede elétrica.

Eletrodomésticos como liquidificadores antigos, por exemplo, recebem eletricidade para o funcionamento do rotor de seus motores com escovas a carvão, o que gera atrito, onde centelhas acabam por introduzir na rede elétrica sinais modulados. Tais sinais não são uniformes e possuem frequência bastante próxima da velocidade de giro do motor, além das frequências harmônicas. Desta forma, não existindo filtros e controladores do nível de modulação para que impeça a propagação, o sinal modulado será inserido na fase da fiação elétrica e assim chegando a outros equipamentos ligados na mesma fase.

Como a frequência do sinal modulado é muito maior do que a do sinal senoidal da rede elétrica que opera a 60 Hz, ambos podem existir em harmonia no mesmo canal sem que ocorra perda de informação, assim sendo o princípio fundamental dessa tecnologia (COCA & POTORAC, 2003).

2.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO X-10

Os dispositivos *Power Line Communication* não possuem uma fiação específica interligando-os diretamente, mas para a viabilidade da solução, os equipamentos necessitam transmitir e receber os dados sobre o enlace já existente. O protocolo X-10 é um protocolo de camada 1 e 2 do modelo OSI (*Open systems Interconnection*).

Quando as redes de computadores surgiram, as soluções eram, na maioria das vezes, proprietárias, ou seja, uma determinada tecnologia só era suportada pelo próprio fabricante. Uma vez que não havia a possibilidade de misturar soluções de fabricantes diferentes, um mesmo fabricante era responsável por construir praticamente tudo na rede. Para facilitar a interligação de sistemas de computadores a ISO (*International Standards Organization*) desenvolveu um modelo de referência chamado OSI, para que os fabricantes pudessem criar protocolos a partir desse modelo.

Na Figura 4 encontra-se representada a estrutura de uma mensagem recebida segundo o modelo OSI.



Figura 4 - Estrutura de recebimento de mensagem segundo o modelo OSI.
Fonte: Adaptado de IMASTERS (2013).

A camada de Ligação de dados ou *enlace* é responsável por identificar os equipamentos numa rede com base nos seus endereços de *hardware* e, desse modo, controlar o fluxo de dados e organizar os *bits* da camada Física.

A camada Física define as características técnicas dos equipamentos elétricos do sistema. Esta contém os equipamentos de comunicação que comunicam diretamente com o controlador da camada de Ligação de dados, no caso da rede doméstica *Power Line Communication* é a rede elétrica existente.

O protocolo de comunicação X-10 consiste no envio de sinais binários pela rede elétrica, através de pulsos de frequência de 120 kHz, ou portadora em amplitude de 120 kHz, como encontrado em diversas bibliografias. O sinal deve ser inserido logo a seguir à passagem por zero da onda senoidal de 60 Hz, uma vez que o ponto de passagem por zero possui menos ruído e está sujeito a menor interferência por parte de outros dispositivos ligados à rede elétrica (HAYKIN, 2004), e com duração de um curto espaço de tempo, mais precisamente um milissegundo (Figura 5). Esta particularidade é usada pelos receptores para saberem quando devem “escutar” a linha (*Header*). O sinal é enviado através da rede elétrica de energia até aos receptores X-10, ligados à rede.

O protocolo X-10 comunica-se através da fiação da rede elétrica, por meio desta enviando e recebendo sinais. O método usado pelo X-10 baseia-se em uma estrutura que é precedida por um código de início pré-determinado (*start code*) para que tanto o transmissor quanto o receptor obtenha uma referência de início previsível. A implementação da *Power Line Communication* via X-10, consiste em que todos os dispositivos ligados a rede em que se deseje a transmissão e recepção de dados de comunicação, contemple um circuito detector de passagem por zero da senóide da rede elétrica, o qual o sinal será injetado, ou seja, de um detector “*zero-crossing*” que irá permitir a sincronização entre os transmissores e receptores *Power Line Communication*. O receptor ativa sua janela de recepção de dados duas vezes para cada ciclo da onda senoidal, amostrando assim 120 vezes por segundo (HAYKIN, 2004).

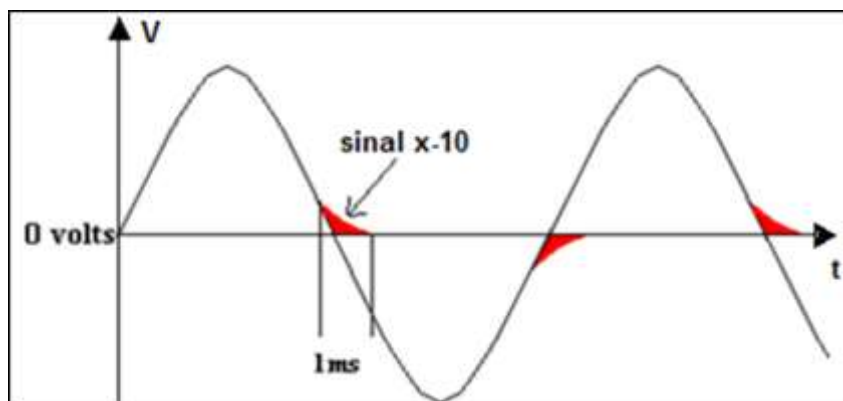


Figura 5 - Envio de pulso após passagem por zero.
Fonte: SCIENCEPROG (2007).

Zero-crossing, ou passagem por zero, é um termo muito utilizado em engenharia. Em termos matemáticos, significa a mudança do sinal da função, de positivo para negativo ou vice-versa. O *zero-crossing*, em corrente alternada, é um ponto na equação da onda em que a tensão é igual à zero. Em ondas senoidais, isso normalmente ocorre duas vezes durante cada ciclo (LIU et al.,2003).

2.2.1 Atenuação e Ruído do Sinal X-10

Dado que o meio de distribuição de energia é muito ruidoso eletricamente, através do protocolo de comunicação X-10 incorpora-se algumas técnicas de detecção de erros no âmbito da especificação do mesmo. Cada *bit* "1" numa transmissão X-10 é um *burst* de 120 kHz no sinal AC (corrente alternada), e cada *bit* "0" é a ausência deste *burst*. Um *burst* deve possuir a duração de até 1ms, começando o mais próximo possível do cruzamento pelo ponto zero (zero crossing) da tensão AC. O *burst* é enviado para cada *bit*, uma para cada cruzamento do ponto zero. Isto leva à melhor relação sinal/ruído para transmissão de dados. Além disso, adota-se uma política em que um *bit* nunca é enviado isoladamente, sendo sempre enviado o *bit* e o seu complemento, e cada sequência de código é enviada duas vezes. Isto significa na prática que, sempre que se pretende enviar o *bit* 1, isso corresponde a enviar 1 (sinal de 120 kHz na origem) seguido de um 0 (ausência de sinal). O envio do *bit* 0 corresponde a enviar um 0 (ausência de sinal) seguido de um 1 (frequência de 120 kHz na origem). Isto se encontra ilustrado na Figura 6. Este

cuidado visa minimizar a probabilidade do ruído elétrico ser confundido com um sinal válido, diante dessa lógica constrói-se uma sequência binária, formando assim, os dados transmitidos pela tecnologia *Power Line Communication* via protocolo de comunicação X-10 (TRINDADE, 1997).

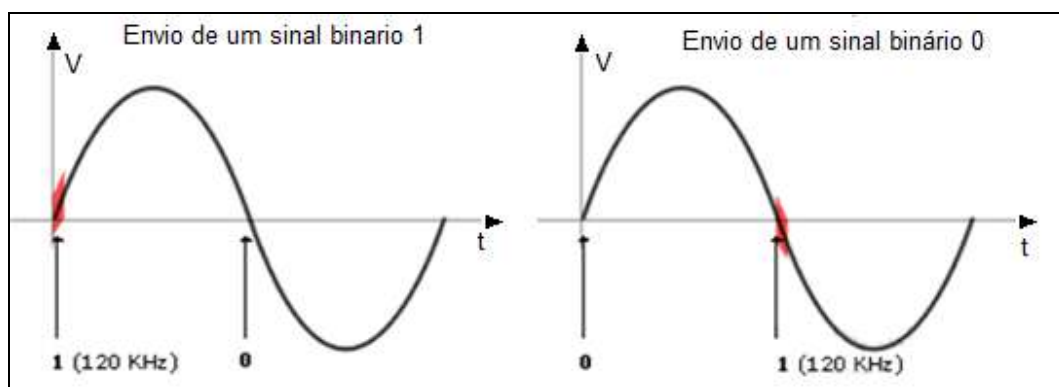


Figura 6 - Envio de sinais binários 1 e 0.
Fonte: CENTRAL CASA (2013).

O pulso representado na Figura 6, pelo *bit* 1, sua frequência de 120 kHz aparenta como um pequeno bloco, diante dos 60 Hz da onda senoidal, frequência utilizada pelas concessionárias de energia elétrica no Brasil. Sendo assim, os receptores *Power Line Communication* estão calibrados para reconhecerem pequenos *short bursts*, de 120 kHz, frequência bem mais alta e nítida se comparados com os 60 Hz da onda senoidal.

2.2.2 Cabeçalho X-10

Na transmissão de um bloco de comando X-10 são necessários 11 ciclos senoidais. Através de um cabeçalho inicia-se a transmissão de um sinal *Power Line Communication*. Os dois primeiros ciclos para a transmissão do código *start code* (4 *bits*). Os próximos 4 ciclos representam *letter code* e os 5 últimos ciclos representam o *number code* ou *command code* (1 à 16). Os códigos de funções (*command code*) são comandos para a execução de uma atividade específica como: ligar, desligar, etc. Para efeitos de redundância e confiabilidade, todas as chamadas do protocolo

X-10 são transmitidas em quatro *frames* (blocos) de dados para cada comando acionado (SCIENCEPROG, 2007), conforme ilustra a Figura 7.

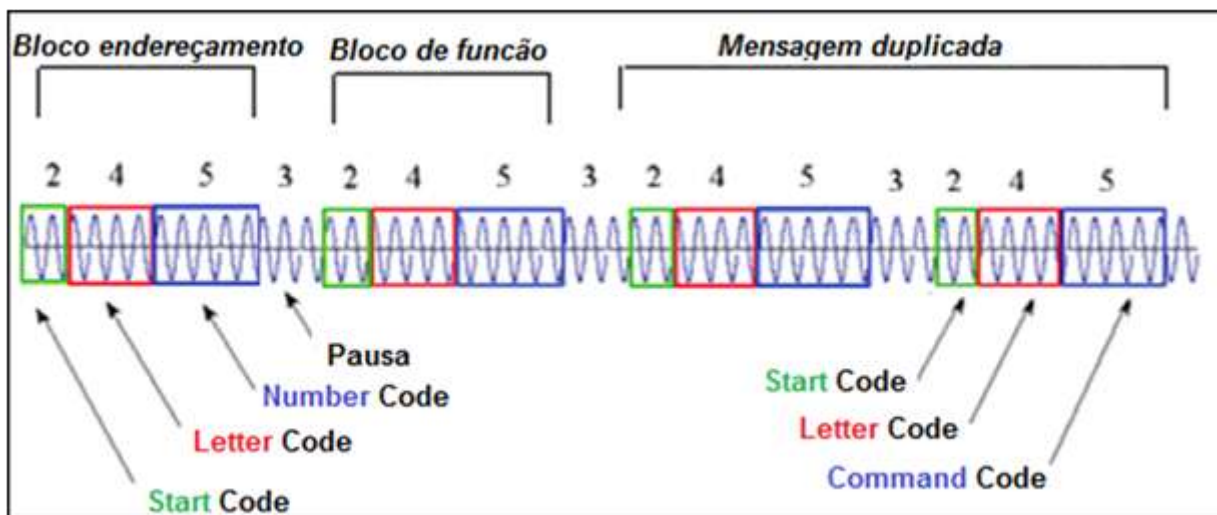


Figura 7 - Rotina padrão de transmissão X-10.
Fonte: Adaptado de SCIENCEPROG (2007).

Algumas explicações fazem-se necessárias, sendo elas: *house code* e *letter code* são termos sinônimos que se referem à mesma função do protocolo X-10, sendo o campo destinado ao endereçamento do dispositivo *Power Line Communication* na rede (Seção 2.3). O Campo *number code* corresponde a um número de 1 a 16 na coluna *command code* da Tabela 2 da Seção 2.3, destinada, por exemplo, a expansão do endereçamento da solução. E por fim, *function code* é o campo do protocolo destinado ao transporte das funções suportadas pelo protocolo X-10.

Quando um dispositivo transmissor envia um comando, os dispositivos receptores necessitam saber para quem vai ser enviado. Para isso, os dispositivos identificam um ponto de partida bem definido e conhecido por todos os dispositivos X-10, informando-os que imediatamente após a este ponto de partida se vai seguir um conjunto de *bits* de dados que conterà toda a informação necessária. Assim a especificação do protocolo X-10, define que entre blocos de comando, seja ele um bloco de endereçamento ou de um bloco de ativação de uma função, exista uma sequência de seis zeros (000000), ou seja, três ciclos da onda senoidal, com exceção do comando "*dim*" e do "*bright*" e dos dados que seguem a função "*extended data*" (referenciados na seção 2.3). Esse "intervalo de pausa" reinicia os

registradores dos receptores e garante a integridade dos *frames* do protocolo (SCIENCEPROG, 2007).

A Figura 7 ilustrou quatro *frames* de dados do protocolo X-10. Entenda-se aqui por *frame* o conjunto de *bits* da sequência “*start code*”, “*letter code*”, “*data code*” transmitidas em 11 ciclos (períodos) da onda senoidal. O comando é iniciado por um cabeçalho, que na especificação do protocolo recebe o nome de *start code*, esse cabeçalho sempre precede aos pacotes da rede *Power Line Communication*. O segundo campo contém o endereço de um dispositivo *Power Line Communication* na rede, enquanto o terceiro transporta o comando ou função para o dispositivo alvo, vide Figura 8.

Para a transmissão completa da mensagem de atuação do protocolo X-10, ou seja, transportada por quatro *frames*, são então necessários 53 ciclos (44 ciclos mais 9 ciclos de pausas) ou 0,883 segundos de uma onda senoidal de frequência de 60 Hz, representadas por 88 *bits*.

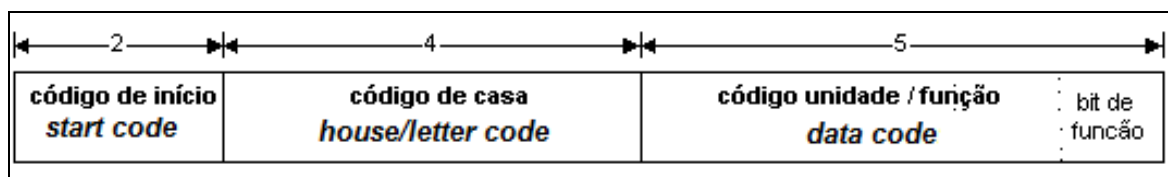


Figura 8 - Frame do protocolo X-10.
Fonte: Adaptado de FERNANDES (2001).

Uma vez que o receptor tenha processado um *frame* de endereçamento, este se encontra pronto para o recebimento do *frame* contendo o bloco de função suportado pelo X-10, (*command code*). Como descrito anteriormente, todos os quadros de dados devem começar com o código de inicialização (*start code*). A diferença entre um bloco de endereçamento para um bloco de função reside na ativação do *bit* de função, D16, da coluna *function code* (Seção 2.3). Sendo igual a “1” o *frame* será um bloco de função ou *command code*, caso contrário será um bloco de endereçamento estendido, *number code*.

2.3 CÓDIGOS DO PROTOCOLO X-10

A Tabela 2 ilustra o mapa de endereçamento e dos códigos das funções suportadas pelo protocolo X-10. A tabela possui duas colunas (*Letter Code/House Code* e *Command Code/Function Code*), cujos títulos já foram mencionados durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

A Coluna *Letter Code* possui um total de 16 endereços, pois quatro *bits* geram dezesseis combinações diferentes, que corresponde da letra A até a letra P, sendo destinados à identificação dos dispositivos elétricos no enlace *Power Line Communication*. Cabe ressaltar que a atribuição dos *bits* tanto para a coluna *letter code* quanto para *command code* são feitas de modo aleatoriamente, não seguindo o padrão binário.

A coluna *Command Code* ou *Function Code* é constituída por 5 *bits* e destina-se a dupla funcionalidade. A primeira delas refere-se ao complemento da coluna *Letter Code*, destinando 4 *bits* dos 5 *bits* a mesma, totalizando 8 *bits* para o endereçamento de dispositivos. Assim consegue-se estender a quantidade de endereços para até 256 dispositivos elétricos pertencentes ao enlace. A segunda funcionalidade destina-se ao acionamento das funções suportadas pelo protocolo. Para isso o *bit* da coluna D16 deve ser igual a 1.

As instruções “*on*” e “*off*” são as funções mais básicas do protocolo X-10, tendo como função à ação de ligar ou desligar um dispositivo elétrico em específico, pois essas funções necessitam do endereço do dispositivo alvo na rede. As instruções “*All units on*” e “*All units off*” são instruções que abrangem todos os dispositivos do enlace *Power Line Communication*, ou seja, emitem um sinal de *broadcast* na rede afetando todos dispositivos da fase elétrica (domínio do enlace). Na especificação do protocolo X-10, há comandos específicos para um determinado dispositivo elétrico, como as lâmpadas. As instruções “*DIM*” e “*Bright*” são destinadas ao controle da taxa de iluminação de um ambiente, ou seja, pode-se controlar a variação da taxa de luminosidade de um determinado ambiente. “*Dim*” reduz a intensidade luminosa, enquanto “*Bright*” aumenta-a. Deve-se salientar que o uso das funções “*Dim*” e “*Bright*” não se restringem apenas à regulação da intensidade luminosa, podendo vir a ser usados para outras funções, tais como o controle da subida e descida de estores (cortinas) ou o controle de aquecimento. A

função “*Pre-set dim*” possui a mesma função das instruções anteriores, com o diferencial de possuir apenas dois níveis de intensidade luminosa predefinidos.

Há um conjunto de instruções com a finalidade de obter o estado de um dispositivo. As instruções “*status*” oferecem essa funcionalidade. O conjunto de instruções “*status=on*” e “*status=off*” permitem obter a informação se um dispositivo elétrico, em específico, foi ligado ou desligado, funcionando como uma confirmação de execução aos comandos “*on*” e “*off*”. “*Status request*” é um pedido sobre o estado de um determinado dispositivo elétrico, ou seja, faz a verificação para saber se o mesmo encontra-se ligado ou não. Uma ausência de resposta indicaria algum tipo de problema com o dispositivo elétrico alvo, como sua queima. Essa função é usada no monitoramento dos dispositivos elétricos no enlace, alertando para eventuais queimas de dispositivos, como o de uma lâmpada (X-10, 2013).

A instrução “*hail request*” é utilizada quando se deseja realizar alguma transmissão para um determinado endereço. Ela é usada para detectar a ocorrência de transmissões no meio. O retorno da instrução “*hail acknowledge*”, indica uma transmissão em curso ao endereço desejado. Sendo assim, um novo endereço, “*Letter Code*”, poderá ser utilizado. Essa prática é empregada a fim de evitar colisões de pacotes no enlace *Power Line Communication*.

Existem algumas instruções cuja finalidade é de próprio controle do protocolo. Esse é o caso da instrução “*extended data*”. A instrução informa qual é o tamanho, em *bytes*, da carga útil de um pacote de dados. Como o protocolo possui *frames* de tamanho variados, essa instrução garante o correto entendimento dos mesmos, pois os *frames* da tecnologia *Power Line Communication X-10* possuem tamanhos variados. Já a instrução “*extended code*” possui a faculdade de flexibilizar a limitação do protocolo relacionado ao endereçamento. Estendendo os 4 *bits* iniciais (*Letter Code*) para 8 *bits*, resultando em 256 endereços disponíveis.

Tabela 2 - Códigos do protocolo X-10

(continua)

	HOUSE/LETTER CODE				COMMAND CODE				FUNCTION	
	H8	H4	H2	H1	D8	D4	D2	D1	D16 (F)	
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0

	HOUSE/LETTER CODE				COMMAND CODE					FUNCTION
	H8	H4	H2	H1	D8	D4	D2	D1	D16 (F)	
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0
	ALL UNITS OFF					0	0	0	0	1
	ALL UNITS ON					0	0	0	1	1
	ON					0	0	1	0	1
	OFF					0	0	1	1	1
	DIM					0	1	0	0	1
	BRIGHT					0	1	0	1	1
	ALL LIGHTS OFF					0	1	1	0	1
	EXTENDED CODE					0	1	1	1	1
	HAIL REQUEST					1	0	0	0	1
	HAIL ACKNOWLEDGE					1	0	0	1	1
	PRE-SET DIM					1	0	1	X	1
	EXTENDED DATA (ANALOG)					1	1	0	0	1
	STATUS = ON					1	1	0	1	1
	STATUS = OFF					1	1	1	0	1
	STATUS REQUEST					1	1	1	1	1

Fonte: Códigos de comandos no padrão X-10 (TRINDADE, 1997).

Desta forma, um módulo receptor ou transmissor X-10, “escuta” a linha de transmissão (rede elétrica) a procura de um sinal de 120 kHz em uma janela destinada ao protocolo, como discutido nas Seções 2.2 e 2.3 deste TCC. Na Tabela 3 são apresentados alguns exemplos de aplicações de módulos transmissores e receptores no sistema X-10.

Tabela 3 - Exemplo de Transmissores e Receptores do sistema X-10. (continua)

Módulos Receptores		
Dispositivo	Ação	Aplicações
Módulo de Equipamento	Ligado/Desligado	Equipamentos Eletrônicos
Módulo de Lâmpadas	Ligado/Desligado/ <i>Dimmer</i>	Lâmpadas
Interruptor de Parede	Ligado/Desligado/ <i>Dimmer</i>	Luzes Residenciais
Tomadas de Corrente Elétrica	Ligado/Desligado/ <i>Dimmer</i>	Controle Total
Módulo Universal	Aberto/Fechado	Controle dos Sistemas
Módulo de Campainha	Som	Sinal Recebido
Módulo de Sirene	Som	Alarme de Segurança
Sensores de Luminosidade	Ligado/Desligado	Abertura de Janelas
Sensores de Movimento	Ligado/Desligado	Acionamento devido ao movim.

(conclusão)

Módulos Transmissores		
Dispositivo	Ação	Aplicações
Termostatos	Ligado/Desligado	Controle de Temperatura
Sensores de Janelas	Aberto/Fechado	Acionamento de alarme devido invasão
Painel de Segurança	Alarme e Chamada	Acionamento de luzes e realização de chamadas telefônicas
Controle Remoto	Programação	Controle similar aos de TV
Emissão de Infravermelho	Sinais de Infravermelho	Controle de Equipamentos Domésticos

Fonte: Adaptado de SENA, (2005, p. 21).

3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

No Capítulo 2 foram apresentados os fundamentos necessários para o desenvolvimento do projeto, tais como os principais aspectos que envolvem a comunicação via rede elétrica e o protocolo X-10 a ser utilizado.

Neste Capítulo os métodos e materiais utilizados para o desenvolvimento dos dispositivos para a implementação do sistema de automação residencial através da rede elétrica residencial utilizando o protocolo X-10 são detalhados.

O desenvolvimento dos módulos de comunicação via rede elétrica (módulo transmissor e módulo receptor) foram divididos em blocos a fim de organizar o projeto em diversas tarefas, onde as mesmas serviram como orientação e indicadores no desenvolvimento do projeto, vide Figura 9.

As tarefas foram definidas do seguinte modo:

- Projeto do circuito DPZ (detector de passagem por zero);
- Projeto do circuito gerador de *burst* de 120 kHz de frequência;
- Interface com o usuário;
- Amplificador/Filtro Sintonizado para detectar a portadora;
- Circuito acoplador de sinais de dados na rede elétrica;
- Detector de envoltória;
- Interpretação dos comandos.

Na Figura 9 é apresentada uma visão geral da implementação PLC X-10.

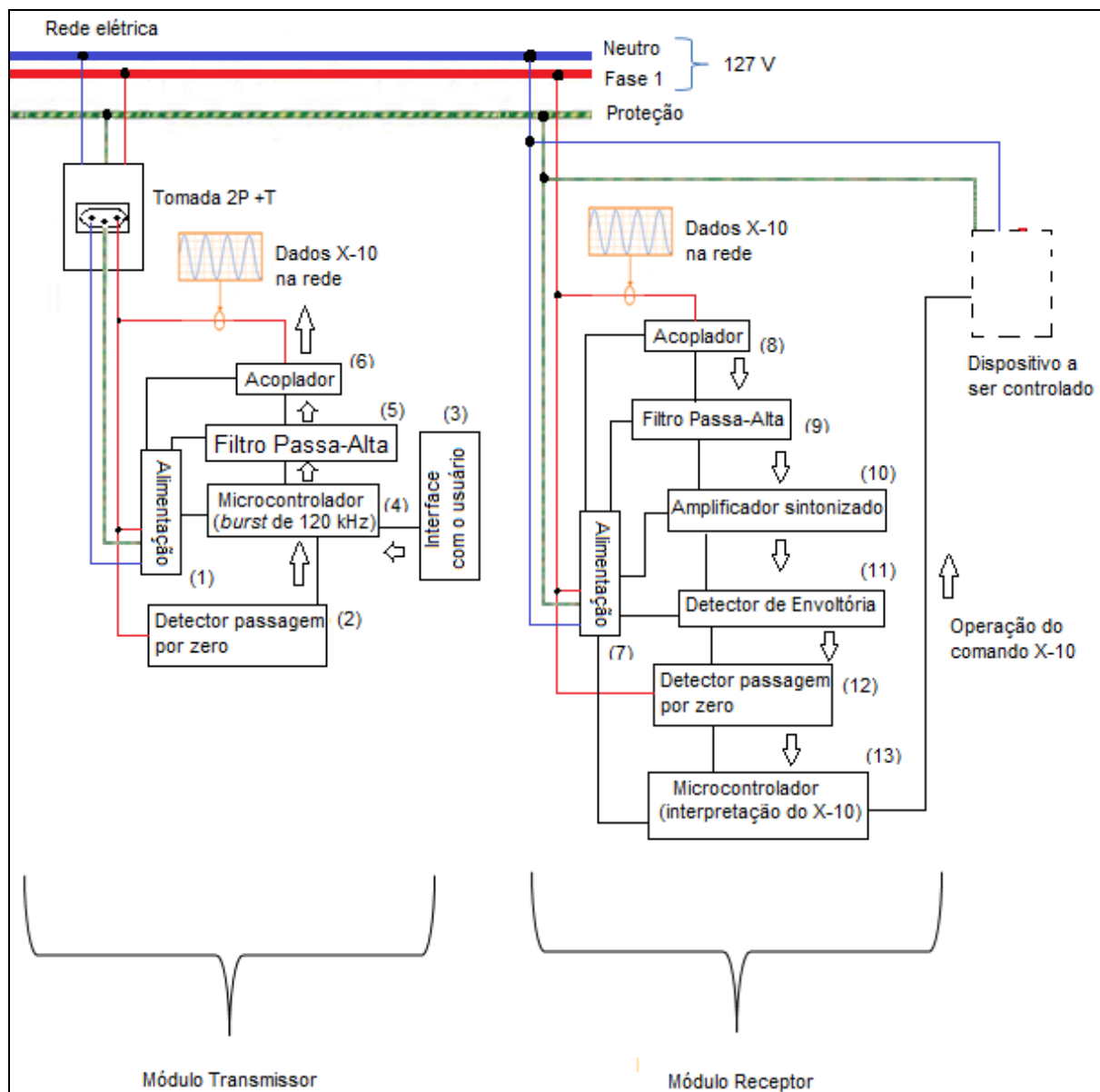


Figura 9 - Diagrama de Comunicação *Power Line Communication* via protocolo X-10.
Fonte: Autoria própria.

3.1 CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

O microcontrolador PIC16F877A e outros circuitos necessitam de 5 V contínuos de alimentação, para isso utiliza-se uma fonte de alimentação DC (corrente contínua). Neste projeto utilizou-se de uma fonte de alimentação externa.

3.2 CIRCUITO DETECTOR DE PASSAGEM POR ZERO

O instante de envio de dados pela rede é sincronizado com a passagem por zero do sinal senoidal da rede elétrica. Portanto, é necessária a implementação de um circuito que consiga fazer essa detecção. O circuito dedicado a fazer tal detecção de passagem pelo zero é mostrado na Figura 10.

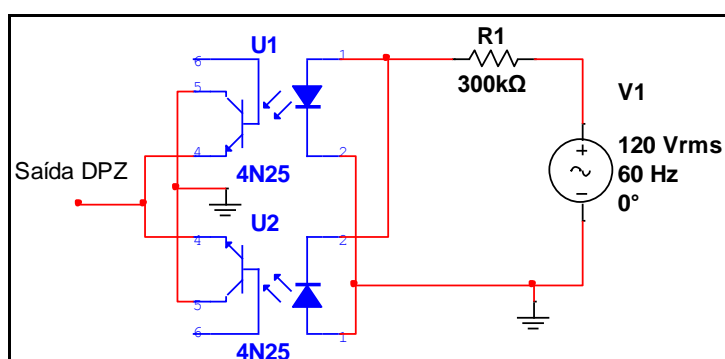


Figura 10 - Circuito Detector de Passagem por Zero.
Fonte: Autoria própria.

O circuito gera na saída uma borda de descida a cada passagem por zero. A borda é encaminhada ao microcontrolador, que por sua vez a detecta gerando a interrupção externa. Quando isso ocorre, o algoritmo verifica se há dados a serem recebidos ou transmitidos e executa a lógica de cada caso, vide Tabela 2 de Comando X-10 na Seção 2.3. Na Figura 11 é apresentado o resultado do circuito.

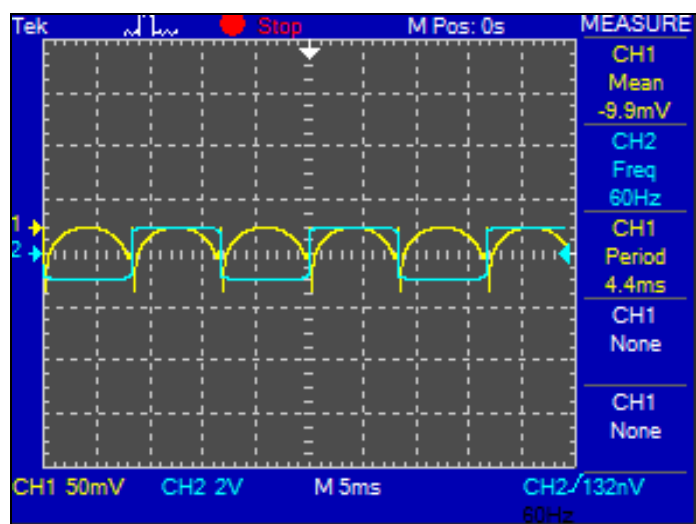


Figura 11 - Resultado do DPZ.
Fonte: Autoria própria.

3.3 OPTOACOPLADOR 4N25

Para garantir a integridade dos módulos de circuitos, bem como dos pinos do microcontrolador, devido ao risco de sobrecargas na rede ou qualquer outra perturbação que venha pôr em risco a integridade dos componentes eletrônicos devido a correntes elevadas na rede de comunicação, o microcontrolador PIC 16F877A foi isolado por meio de optoacopladores.

Optoacopladores são componentes eletrônicos cuja finalidade é isolar tensões entre dois circuitos que estejam interligados. Principalmente entre circuitos que possuam referências distintas.

Na Figura 12 é exibida a pinagem do optoacoplador 4N25. O lado do LED emissor de luz não tem contato elétrico com o lado do transistor fotossensível, isto garante o isolamento elétrico entre dois circuitos.

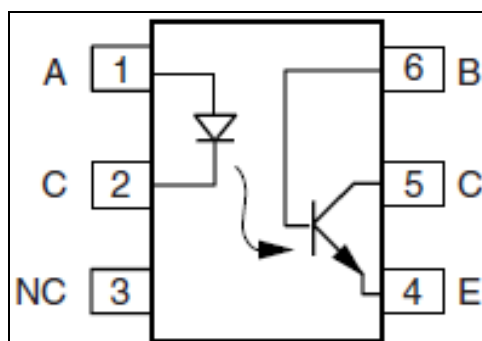


Figura 12 - Detalhe optoacoplador 4N25.
Fonte: VISHAY (2013).

O optoacoplador utilizado no projeto foi o 4N25, por ser muito simples e de baixo custo. O pino 1 está ligado ao ânodo do diodo infravermelho e o pino dois ao cátodo. Na teoria quanto maior a corrente que passa entre o ânodo para o cátodo maior e a quantidade de portadores livres e mais íons são liberados para a base do foto transistor. Como a corrente na base aumenta a diferença de potencial entre o coletor (pino 5) e o emissor (pino 4), maior a corrente que percorre entre os dois terminais, com limites especificados no manual do fabricante.

Desta forma, optoacopladores foram utilizados para isolar o módulo transmissor e o módulo receptor, protegendo os componentes eletrônicos inerentes. A lógica consiste num acionamento indireto. O sinal provindo da rede elétrica passa

pela base do transistor que recebendo o sinal, é saturado. Neste instante o LED do optoacoplador emite luz e satura o foto transistor interno. Estes eventos fazem com que o mesmo sinal que está na base do transistor, seja repetido na saída do optoacoplador, sendo transmitido para o pino de interrupção RB0/INT do microcontrolador, e assim este detecta a passagem por zero do sinal senoidal da rede elétrica.

3.4 MICROCONTROLADOR

Microcontroladores são amplamente utilizados na automação industrial, predial, residencial, brinquedos e eletrodomésticos ou qualquer aplicação que seja necessário controle de sinais eletrônicos.

Este é o componente principal do projeto, pois a implementação do protocolo X-10 é feita toda através de *firmware*. Para desempenhar esta função essencial, foi selecionado o microcontrolador PIC16F877A, fabricado pela Microchip. A seleção deste modelo foi feita pela sua grande versatilidade, ao conhecimento em programação adquirido ao longo do curso, a sua memória *flash* interna para armazenamento do programa, a sua capacidade integrada de fazer a modulação PWM (*Pulse-width modulation*) e a variedade de configurações de seus pinos de entrada e de saída.

A proposta do sistema de automação e controle residencial com transmissão de dados via *Power Line Communications* pode ser vista na Figura 9, já referenciada. O microcontrolador é o gerenciador de todo o processo de envio, recebimento e execução dos sinais de comando. É necessário então programar um algoritmo do protocolo de comunicação de dados para este projeto, X-10, o qual é composto por três partes, conforme já referenciados na Seção 2.2. Constituem-se dos dados de inicialização (*start code*), que servem para o gerenciador saber que após estes dados, chegarão os dados de endereço, ou seja, os dados do dispositivo que deverá ser comandado. E, por fim, os dados de comando, referenciados na Tabela 2 da Seção 2.3, como por exemplo, o comando liga e desliga.

3.4.1 Arquitetura genérica de um microcontrolador.

Os microcontroladores possuem em sua arquitetura as partes descritas a seguir:

- E/S (entrada/saída): há três maneiras de se transferir dados para dentro ou para fora de uma memória: E/S programadas, E/S acionada por interrupção e por acesso direto a memória. Representam as interfaces para conexão do microcontrolador com componentes externos;
- Memória de dados: permite ao programador escrever ou ler um determinado dado sempre que necessário;
- Memória de programa: é onde fica armazenado o programa do microcontrolador;
- ULA (Unidade Lógica Aritmética): é onde são feitos os cálculos e lógicas matemáticas;
- Periféricos: são circuitos que dão flexibilidade ao microcontrolador para realizar controle de dispositivos;
- CPU (Unidade Central de Processamento): esta parte do microcontrolador é responsável por todo processamento de dados da unidade (MALVINO, 1985).

3.4.2 Família PIC

O PIC é um microcontrolador desenvolvido pela empresa Microchip, que utiliza como arquitetura o modelo Harvard, diferentemente da tradicional arquitetura Von-Neuman. A arquitetura de Harvard baseia na separação de barramentos de dados das memórias onde estão as instruções de programa e das memórias de dados, permitindo que um processador possa acessar as duas simultaneamente. A arquitetura de Von-Neuman caracteriza pela possibilidade de uma máquina digital armazenar seus programas no mesmo espaço de memória que os dados, podendo assim manipular tais programas.

A grande vantagem da família PIC é que todos os modelos possuem um set de instruções bem parecido. Desta forma, conhecendo e estudando a característica de um PIC é possível à familiarização com todos os microcontroladores, o que torna a migração para outros modelos muito mais simples (SOUZA, 2005).

O PIC internamente dispõe de todos os dispositivos típicos de um sistema microprocessado, ou seja: uma CPU cuja finalidade é interpretar as instruções de programa; uma memória PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Somente para Leitura) na qual irá memorizar de maneira permanente as instruções do programa; uma memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa; uma série de linhas de E/S para controlar dispositivos externos ou receber pulsos de sensores, chaves, etc. (MIKRO, 2013).

3.4.3 PIC16F877A

O microcontrolador explorado neste projeto é o PIC16F877A, apresentado na Figura 13. Tal dispositivo foi escolhido devido ao baixo custo e recursos disponíveis, sendo adequado para a aplicação.

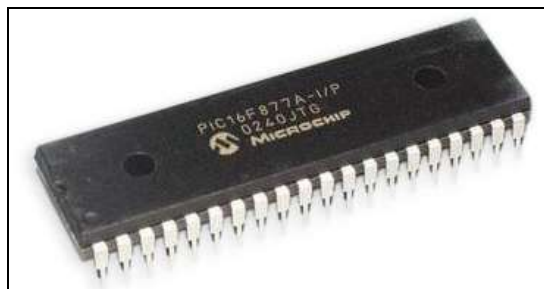


Figura 13 - PIC16F877A.
Fonte: MICROCHIP Inc (2003).

As características desse microcontrolador, tendo como base seu *datasheet*, são:

- Microcontrolador de 40 pinos, o que possibilita a montagem de um *hardware* complexo e capaz de interagir com diversos recursos e funções ao mesmo tempo;
- 33 portas configuráveis como entrada ou saída;
- 15 interrupções disponíveis;

- Memória de programação E²PROM FLASH, que permite a gravação rápida do programa diversas vezes no mesmo *chip*, sem a necessidade de apagá-lo por meio de luz ultravioleta, como acontece nos microcontroladores de janela;
- Memória de programa com 8K *words*, com capacidade de escrita e leitura pelo próprio código interno;
- Memória E²PROM ¹ (não volátil) interna com 256 *bytes*;
- Memória RAM² com 368 *bytes*;
- Três *timers* (2x8 *bits* e 1x16 *bits*);
- Comunicações seriais: SPI³, I²C ⁴ e USART; Conversores analógicos de 10 *bits* (8x) e comparadores analógicos (2x);
- Conversores analógicos de 10 *bits* (8x) e comparadores analógicos (2x);
- Dois módulos CCP: Capture, Compare e PWM (MICROCHIP Inc, 2003).

A seguir é apresentado na Figura 14 a pinagem do PIC16F877A (muitos pinos possuem várias funções, não significando que as funções possam ser exercidas ao mesmo tempo (CORTELETTI, 2013)).

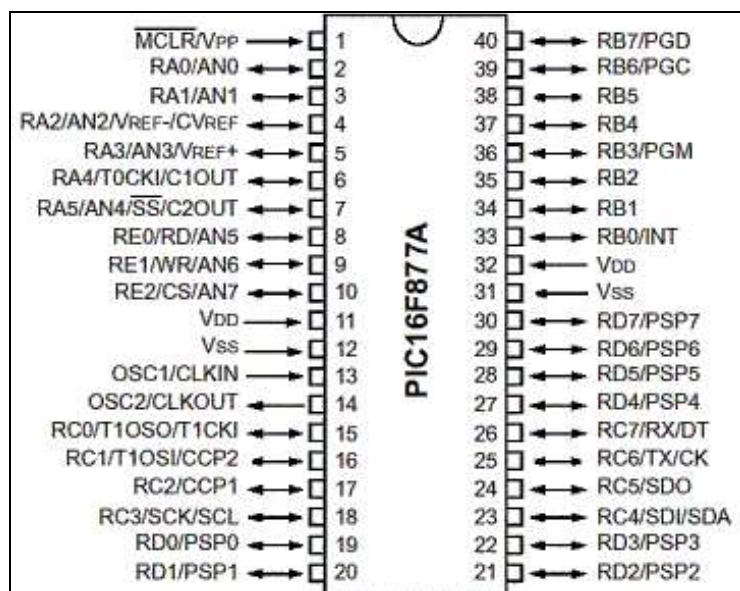


Figura 14 - Pinagem PIC16F877A.
Fonte: MICROCHIP Inc (2003).

¹ EEPROM: Memória fixa que pode ser gravada e apagada em tempo de execução.

² RAM: Memória de acesso aleatório, volátil e de alta velocidade de acesso.

³ SPI: Serial Peripheral Interface – Interface periférica serial: Padrão de comunicação serial que usa 4 fios.

⁴ I²C: Padrão de comunicação serial desenvolvido pela PHILIPS.

3.5 MÓDULO DE TRANSMISSÃO

O módulo de transmissão controlará todos os dispositivos conectados a ele. Através da interface com o usuário (Seção 3.9), a partir de quatro chaves, o usuário selecionará a casa, o dispositivo, código de função e enviará os dados através da rede elétrica. O detector de cruzamento de zero detectará a passagem pelo zero da tensão da rede de 60 Hz. O microcontrolador PIC16F877A foi programado para executar as funções de transmissão.

Nesse comando é gerado um sinal através da portadora de 120 kHz (± 2 kHz), gerada no PWM do PIC16F877A, enviado para a rede elétrica no instante da passagem por zero do sinal senoidal da rede, a detecção de 0V realizada pelo módulo de detecção de zero (Seção 3.2), ligado a porta de interrupção. A saída do PWM é ligada ao módulo acoplador da transmissão (Seção 3.8) acoplando o sinal a rede e transmitindo o trem de pulso.

Apesar do acoplador já efetuar uma filtragem (vide Seção 3.8) optou-se por incluir também um filtro passa-alta simples para eliminar eventual ruído.

A Figura 15 ilustra o diagrama em blocos do módulo de transmissão, enquanto a Figura 16 exibe o respectivo circuito esquemático.

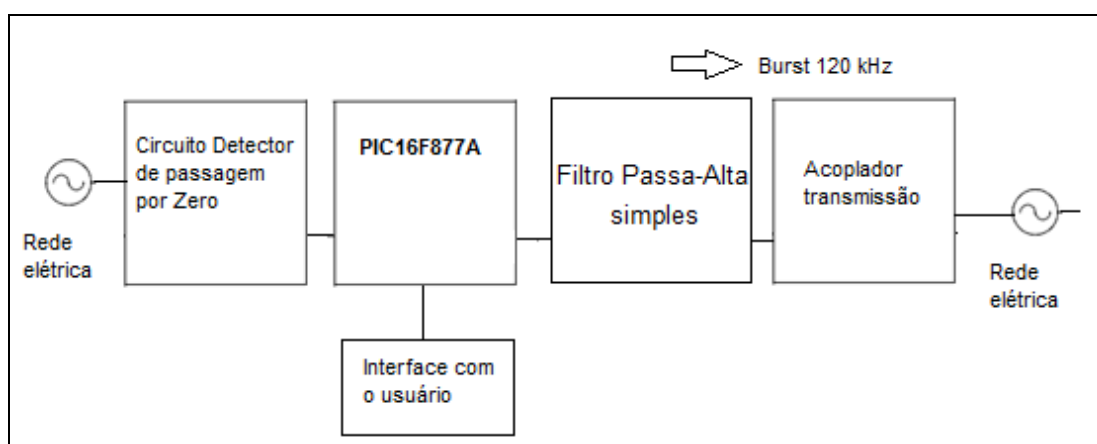


Figura 15 - Módulo transmissor.
Fonte: Adaptado de MICROCHIP (2010).

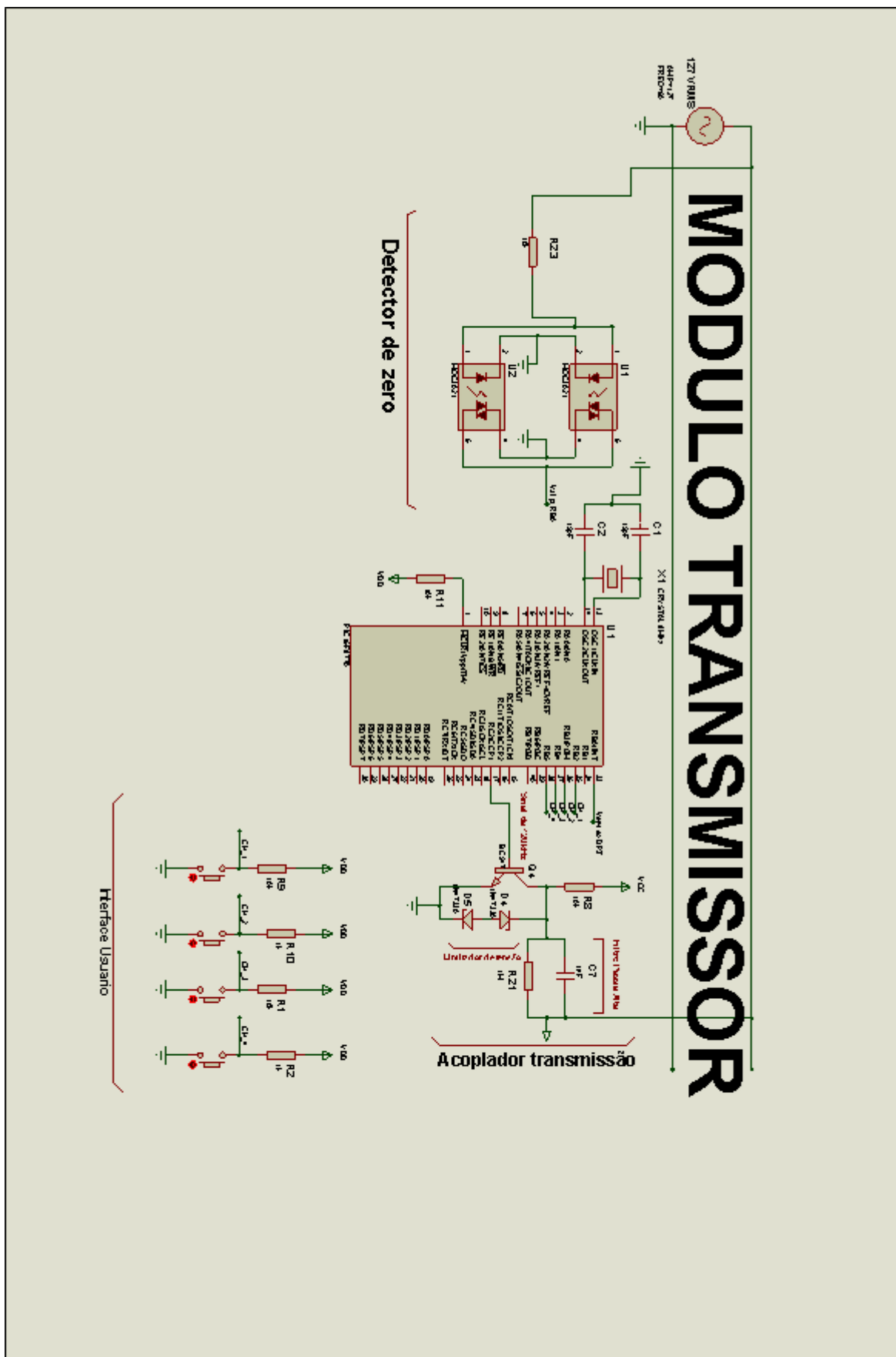


Figura 16 - Circuito Módulo Transmissão.
Fonte: Autoria própria.

3.6 MÓDULO DE RECEPÇÃO

O módulo de recepção é usado para receber os comandos enviados pelo módulo transmissor. O microcontrolador estará programado para executar as funções de recepção.

Na recepção, o sinal enviado pelo transmissor, é recebido pelo Módulo Acoplador da recepção (Seção 3.8) ligado ao Módulo Amplificador (Seção 3.7) conectado no pino de interrupção do microcontrolador, fazendo a leitura da informação recebida, e executando o comando referente na biblioteca X-10.

A leitura da recepção é sempre feita quando detectado o zero na rede, através do módulo de detecção de zero (Seção 3.2), ligado na interrupção (RB0/INT) do microcontrolador. A Figura 17 mostra o diagrama em blocos do módulo de recepção e a Figura 18 o respectivo circuito esquemático.

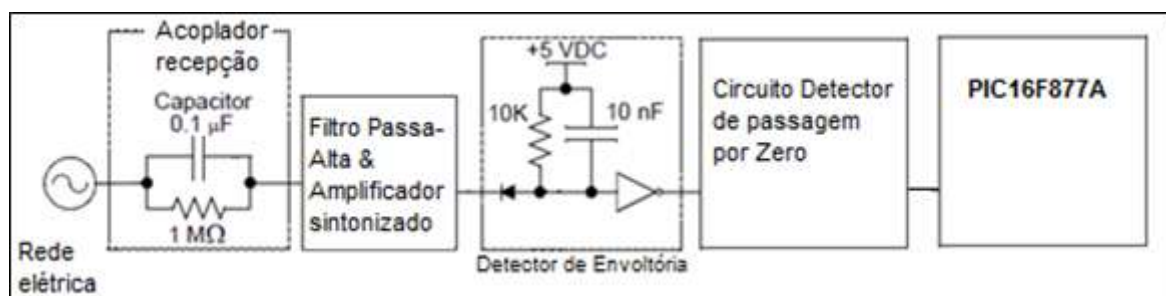


Figura 17 - Módulo Recepção.
Fonte: Adaptado de MICROCHIP (2010).

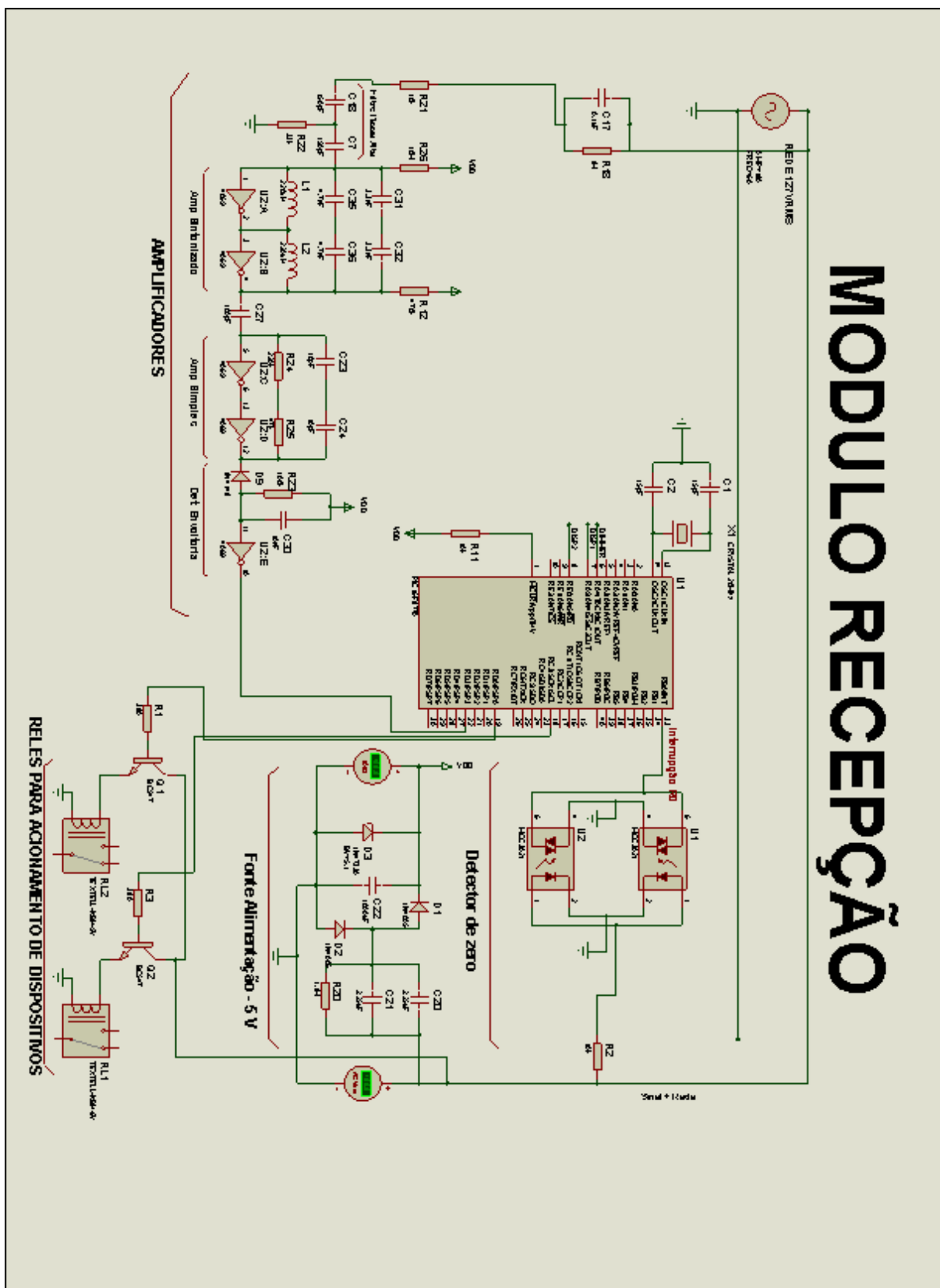


Figura 18 - Circuito Módulo Recepção.
Fonte: Autoria própria.

3.7 AMPLIFICADOR SINTONIZADO

O receptor irá receber somente os sinais de frequência de 120 kHz, porém ruídos podem ocasionar uma má decodificação do sinal ou o descarte do mesmo.

Similarmente, tudo que possa atenuar o sinal (redução da amplitude), irá causar aos receptores uma má decodificação (interpretação) do sinal, fazendo-os interpretar nada além do que o *bit* "0" (ausência de sinal de 120 kHz). O uso de capacitores através da alimentação ou outros filtros são destinados a filtrarem frequências mais altas, proporcionando impedâncias mais baixas. A configuração do filtro passa-alta assegura que o sinal de 120 kHz passe completamente para próxima etapa, em seguida o sinal é amplificado, utilizando uma série de inversores, configurados como amplificadores de alto ganho. As duas primeiras fases estão sintonizadas para amplificar a frequência de 120 kHz, e as próximas duas amplificam ainda mais o sinal, e por fim, é feita a detecção de envoltória com um diodo, capacitor e resistor. O módulo do circuito formado pelo filtro passa-alta, amplificador sintonizado, amplificador simples e detector de envoltória encontra-se ilustrado na Figura 19.

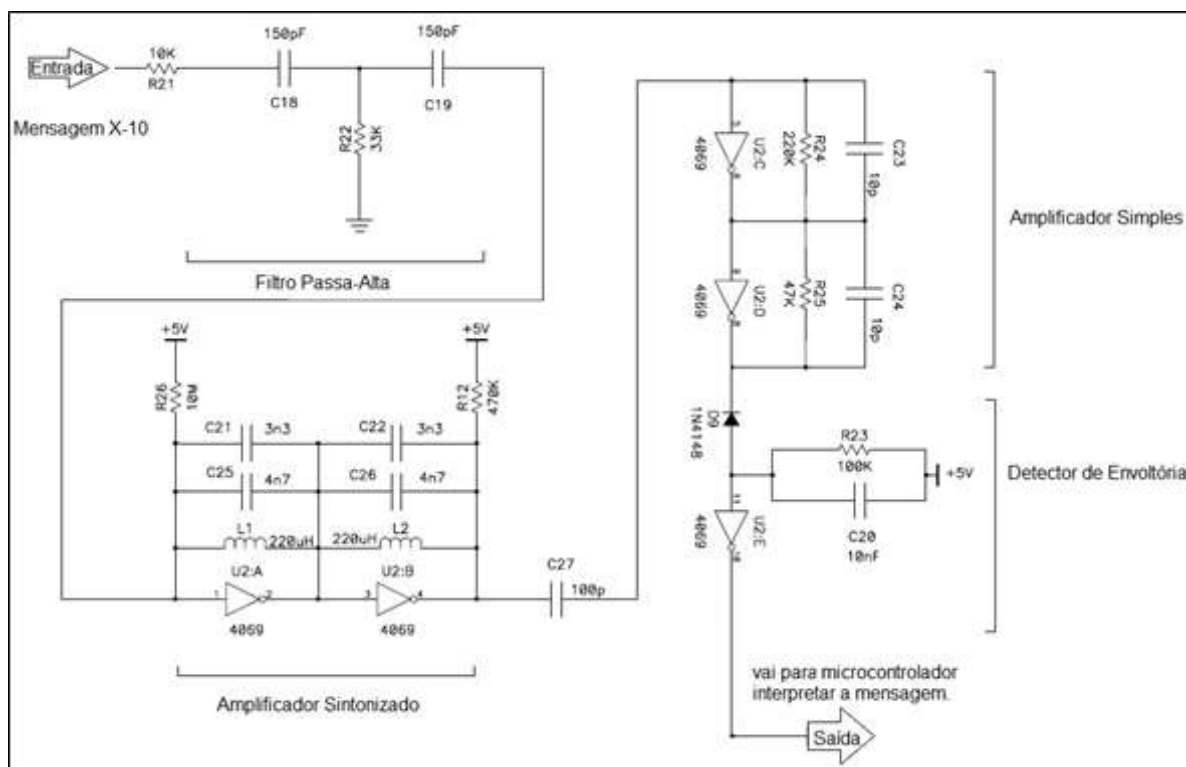


Figura 19 - Módulo Amplificador.
 Fonte: adaptado de MICROCHIP (2010, p. 21).

Esse detector de envoltória mantém o sinal em nível 1, quando recebe frequência de 120 kHz (MICROCHIP, 2010).

A frequência de corte é calculada através da Equação 1, onde é considerado $C = 150 \text{ pF}$ e $R = 33 \text{ K}\Omega$.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \cong 32 \text{ kHz} \quad (1)$$

3.8 CIRCUITO ACOPLADOR

Para que os dados possam ser transmitidos na rede elétrica com segurança é necessário que exista um circuito de acoplamento de sinais entre o módulo (Transmissor ou Receptor) e a rede elétrica.

O acoplador tem a função de injetar e/ou receber da rede elétrica o sinal do pacote X-10 e assim conectar ao microcontrolador, outra função é bloquear o sinal de 60 Hz da rede elétrica para evitar que altas tensões (se comparadas com os 5 V) possam danificar o dispositivo.

Este módulo se fez necessário devido à atenuação do sinal na rede elétrica, causadas por reatâncias capacitivas e indutivas. O filtro acoplador protege o transmissor das altas tensões da rede e permite que o sinal de comando seja modulado ao sinal senoidal da rede elétrica (Figura 20), o receptor conforme mostrado na Seção 3.6, também possui um filtro acoplador, atenuando o sinal da rede elétrica e deixando que apenas o sinal de comando chegue ao receptor, protegendo-o das altas tensões (Figura 21).

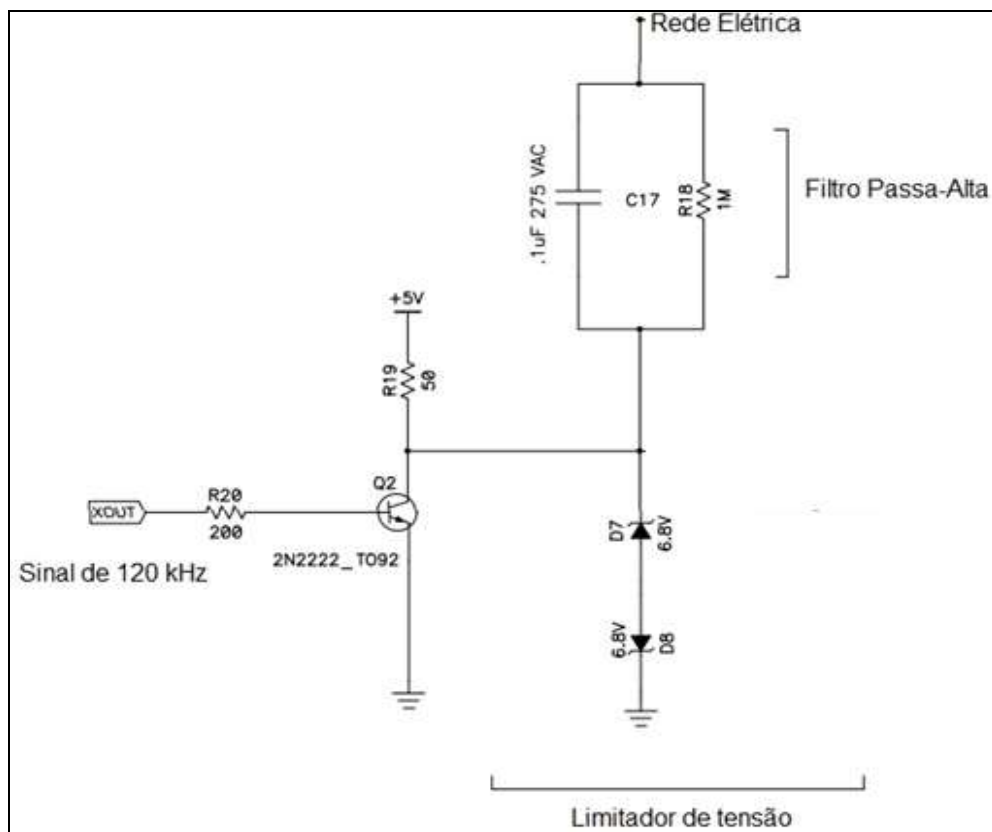


Figura 20 - Circuito Acoplador da transmissão.
 Fonte: Adaptado de MICROCHIP (2010, p. 20).

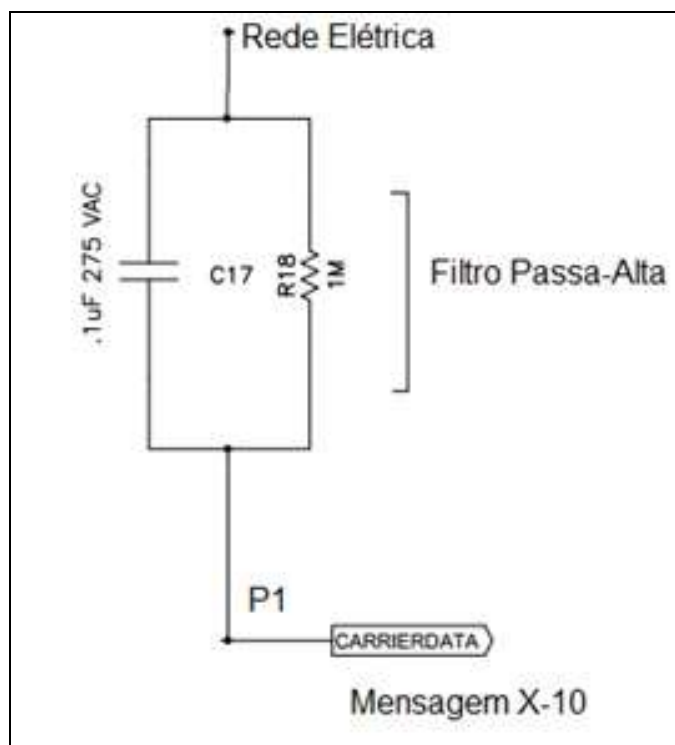


Figura 21 - Circuito Acoplador da recepção.
 Fonte: Adaptado de MICROCHIP (2010, p. 20).

Foi utilizado um capacitor de 0,1 μF para filtrar o sinal de 60 Hz da rede elétrica, pois possui uma alta impedância para a frequência de 60 Hz e uma baixa impedância para a frequência de 120 kHz.

O cálculo da impedância do capacitor é dado pela Equação 2:

$$Z_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2)$$

Assim, conforme a Equação 2, para a frequência de 120 kHz a impedância do capacitor será de 13,26 Ω , enquanto para a frequência de 60 Hz a impedância será de 26,53 k Ω .

Nos circuitos das Figuras 20 e 21, o capacitor C17 e o resistor R18 formam um filtro passa-alta. Na Figura 20 o transistor vai operar como chave, ou seja, trabalhando no corte e na saturação. Este foi utilizado para proteger a porta de saída do microcontrolador, além de permitir que o sinal gerado tenha uma tensão superior a 5 V. Para obter um nível maior de proteção no sistema sobre níveis elevados de tensão provinda da rede elétrica são utilizados diodos *zener* para garantir que a tensão entre o coletor e o emissor do transistor não seja superior a 7,5 V (6,8 V+0,7 V).

Deve-se destacar que o filtro capacitivo (ponto P1 da Figura 21) servirá tanto para a entrada do sinal de 120 kHz (na recepção) como também para a injeção deste sinal (na transmissão).

3.9 INTERFACE COM O USUÁRIO

Com a finalidade de propiciar um método de fácil confecção do módulo de interface com o usuário bem como baixo custo de implementação e, possibilitando uma maneira simples e intuitiva controlar os dispositivos conectados na rede *Power Line Communication X-10* da residência, foram utilizados chaves *push button* para interação com o PIC16F877A.

Através de uma interface com o usuário e o sistema de comunicação *Power Line Communication X-10* torna-se possível a escolha de um comando X-10 a ser transmitido para o determinado dispositivo a ser comandado/acionado na rede. Portanto, opta-se devido a praticidade, utilizar-se de uma central com chaves *push button* e associá-los ao PIC16F877A. Este reconhecerá os recursos selecionados e aplicará as devidas instruções contidas em seu código.

Quatro botões (Figura 22), definidos como entrada digital do PIC16F877A foram usados para interação do usuário com o sistema de comunicação. Cada botão estará normalmente aberto, quando então pressionado, acionará o pino do PIC para nível baixo, indicando ao controlador que este deve executar alguma tarefa.

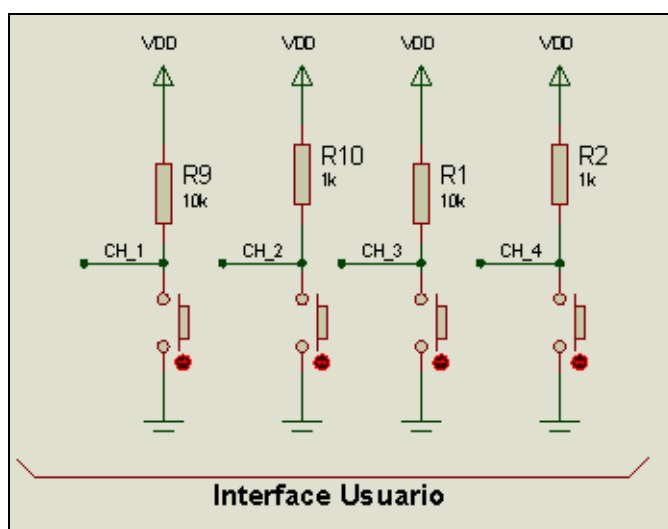


Figura 22 - Interface com o usuário.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 22 cada *push-button* está conectado as entradas digitais do PIC por meio de resistores de *pull-down*, garantindo que quando o botão não está pressionado o nível de tensão na entrada digital seja alto. Ao pressionar um botão a entrada digital passa para o nível baixo, sendo descrito a seguir a função de cada chave:

- CH_1: Chave de função "ON" ou "OFF" dispositivo 1 *House1*
- CH_2: Chave de função "ON" ou "OFF" dispositivo 2 *House1*
- CH_3: Chave de função "ON" ou "OFF" dispositivo 1 *House2*
- CH_4: Chave de função "ON" ou "OFF" dispositivo 2 *House2*

onde o termo *House* corresponde à área do ambiente relacionada ao equipamento controlador.

4 SEÇÃO DO FIRMWARE

Até então os métodos e materiais utilizados para o desenvolvimento dos dispositivos para a implementação do sistema de automação residencial através da rede elétrica residencial utilizando o protocolo X-10 foram detalhados.

A partir desta etapa será contemplada a descrição da programação dos comandos para funcionalidade do X-10 e desenvolvimento do *firmware* embarcado no microcontrolador PIC16F877A, bem como para a implantação do sistema e a confecção dos circuitos necessários para operação e avaliação de desempenho do projeto (Vide Capítulos 5 e 6). Para tal, os módulos transmissores e receptores tiveram como finalidade as funções de ligar ou desligar um dispositivo individualmente em dois endereços de *House*, no caso em questão, os dispositivos foram representados por 4 LEDs, sendo 2 LEDs para cada *House*. Desta forma, esperando como resultado, a validação da teoria abordada.

Esta etapa foi dividida em três partes:

- Desenvolvimento do algoritmo, *firmware*, para o funcionamento do *Power Line Communication X-10* por modulação através de microcontrolador;
- Testes e simulações; Para essa etapa, foram realizados diversos testes e simulações, para que, somente quando resultados satisfatórios fossem alcançados, implementava-se o circuito do projeto final (confecção da placa de circuito impresso), bem como validações de resultados.
- Documentação e conclusões.

O programa principal inicializa as variáveis e configurações do PWM. Depois verifica se está recebendo um comando. Caso afirmativo, o programa habilita a interrupção externa e aguarda receber os *bits* do envelope de comando do X-10. Recebendo os dados o microcontrolador o executará e desabilitará a interrupção externa. Caso não esteja recebendo um comando, é verificado se recebeu o sinal para transmitir um comando. Caso recebeu, o programa habilita a interrupção

externa, aguarda o envio dos *bits* e desabilita a interrupção externa, repetindo o processo.

A interrupção externa é acionada pelo circuito detector de passagem por zero. Dentro da rotina de interrupção externa foi escrito o código que verifica se é para enviar dados. Caso afirmativo, o código de transmissão possui um vetor com o código X-10, onde em cada passagem por zero da rede esse vetor é incrementado e, quando o valor de uma determinada posição do vetor for igual a 1, liga o PWM durante 1 ms, aguardando a próxima interrupção externa ser acionada. Caso contrário, aguarda 500 μ s para verificar se o sinal do circuito detector está acionado, ou seja, espera-se a próxima interrupção externa ser acionada.

4.1 FLUXOGRAMA FUNCIONAL

O fluxograma demonstra a lógica de funcionamento do algoritmo que implementa o protocolo X-10. Analisando os fluxogramas a seguir, pode-se observar que o ponto de partida do algoritmo é sempre baseado nas interrupções. Elas podem ser baseadas por mudança de estado de sinal ou externa. A interrupção por mudança de estado é gerada quando o usuário executa alguma ação através da interface, como enviar um comando. Então, no instante em que os dados chegam ao *buffer*, o microcontrolador executa as rotinas relativas a essa tarefa e aguarda a próxima interrupção. A interrupção externa é acionada pelo circuito detector da passagem por zero, ou seja, toda vez que o sinal da portadora fundamental passa por zero, o que ocorre a cada 8,333 ms.

Uma interrupção serve para interromper as rotinas do programa imediatamente e tomar atitudes em função desta interrupção. As interrupções do PIC são tratadas diretamente pelo *hardware*, o que as torna muito rápidas. Quando uma interrupção acontece, o programa é paralisado, uma função de tratamento desta interrupção é executada e após este tratamento o programa volta a ser executado do ponto em que estava (SOUZA, 2005).

Para que ocorra uma interrupção é necessária sua configuração e habilitação, conforme a necessidade. O momento que a interrupção deve ocorrer é

determinado pela sua configuração (no caso do projeto em questão, a cada passagem por zero do sinal alternado da rede elétrica).

Sempre que uma interrupção acontecer a *flag* relativa a ela é imediatamente levada ao nível lógico “1”. Denomina-se *flag todo bit*, em um registrador, que possui a função de informar o estado de um determinado periférico ou ação executada. Por meio desta *flag* será possível descobrir qual foi a interrupção que ocorreu (SOUZA, 2005).

A seguir são apresentados os algoritmos desenvolvidos para a transmissão (Figuras 23 a 26) e na recepção (Figuras 27 a 30), respectivamente.

4.1.1 Fluxograma Algoritmo Transmissão

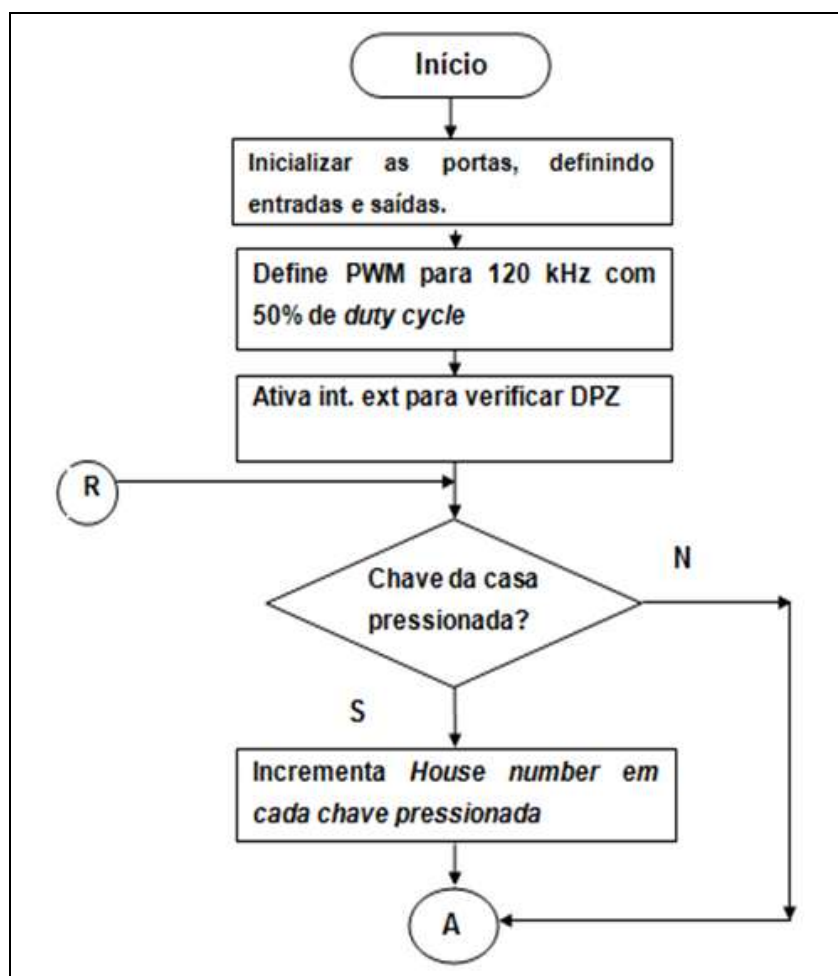


Figura 23 - Fluxograma de Inicialização do Transmissor.
Fonte: Autoria própria.

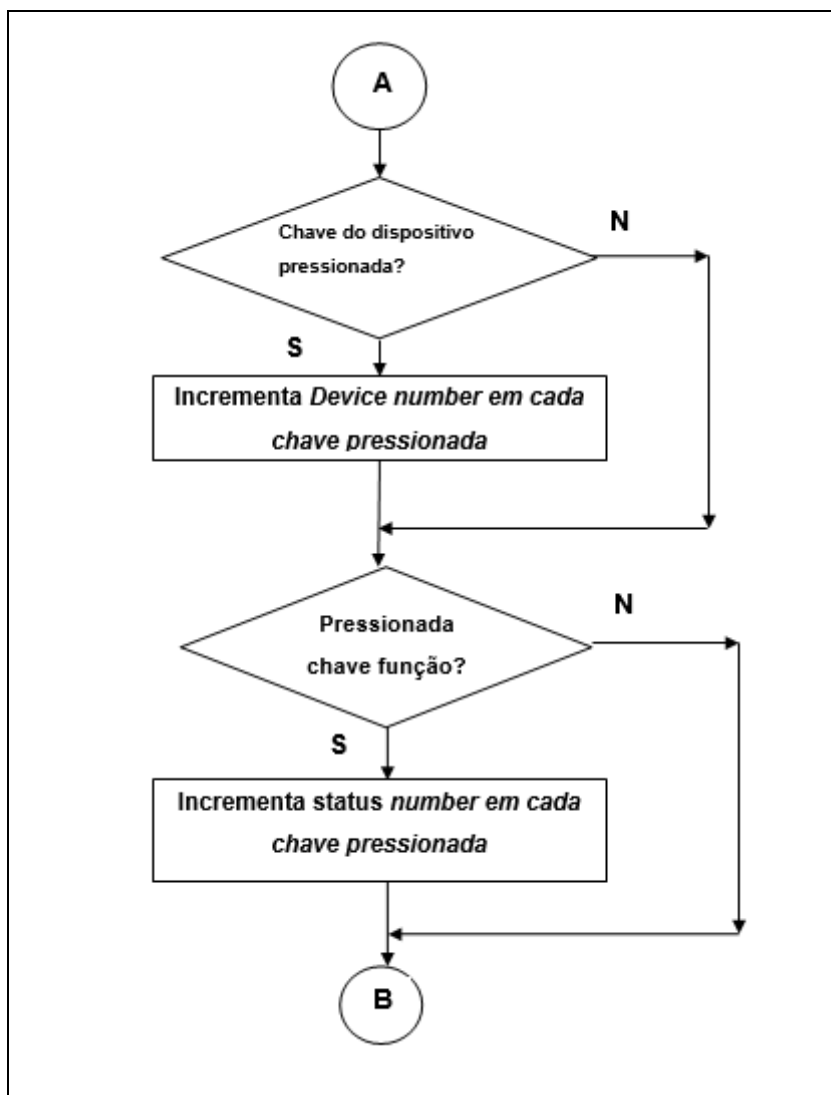


Figura 24 - Fluxograma da rotina de leitura.
Fonte: Autoria própria.

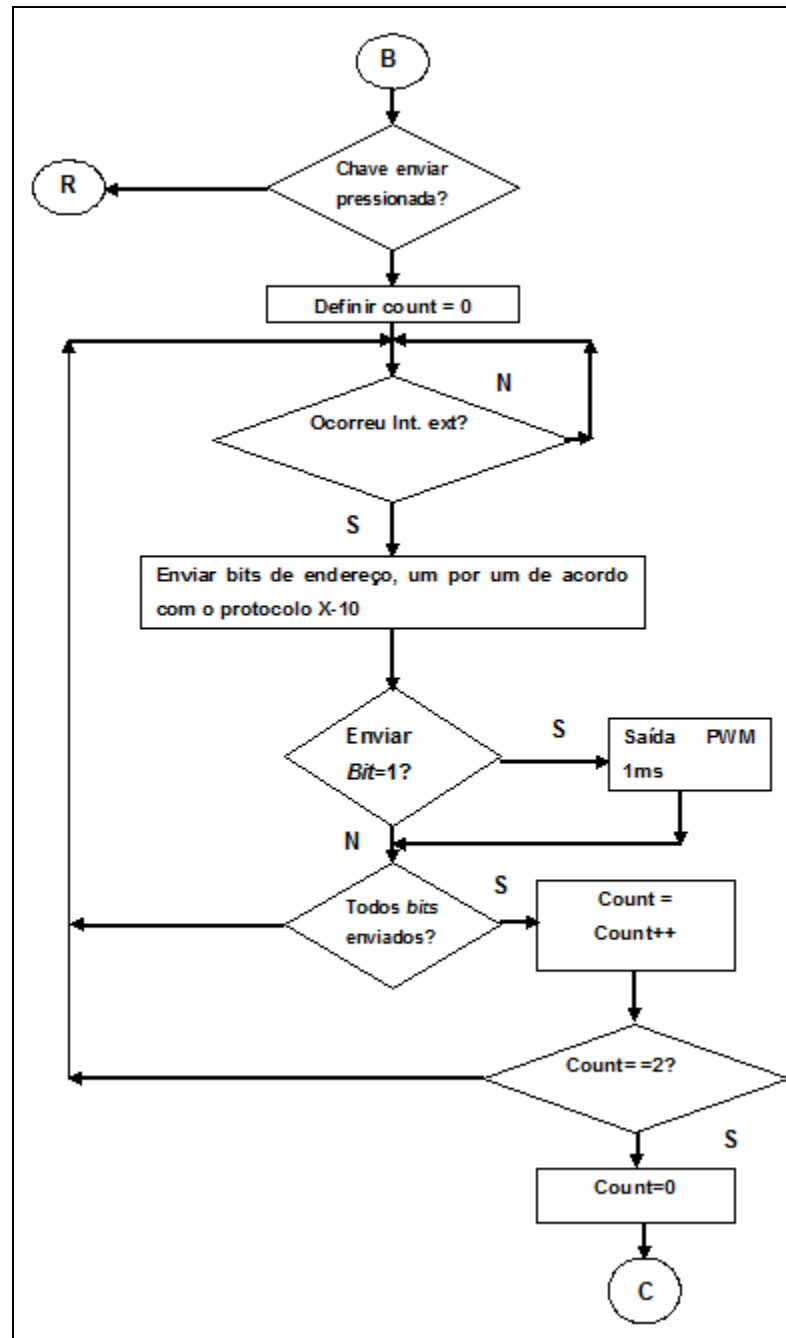


Figura 25 - Fluxograma de envio de mensagem.
Fonte: Autoria própria.

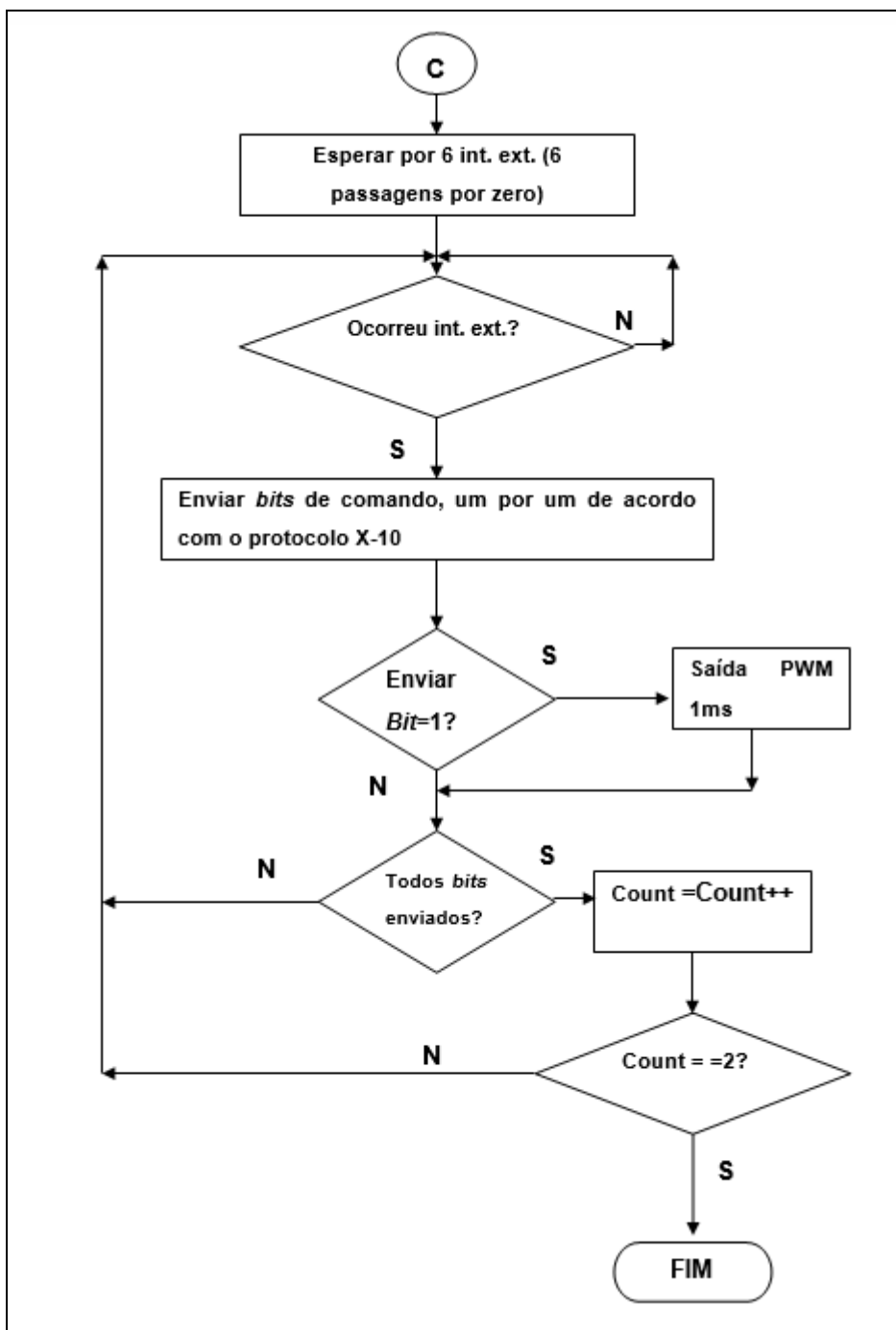


Figura 26 - Fluxograma de envio de mensagem duplicada.
 Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Fluxograma Algoritmo Recepção

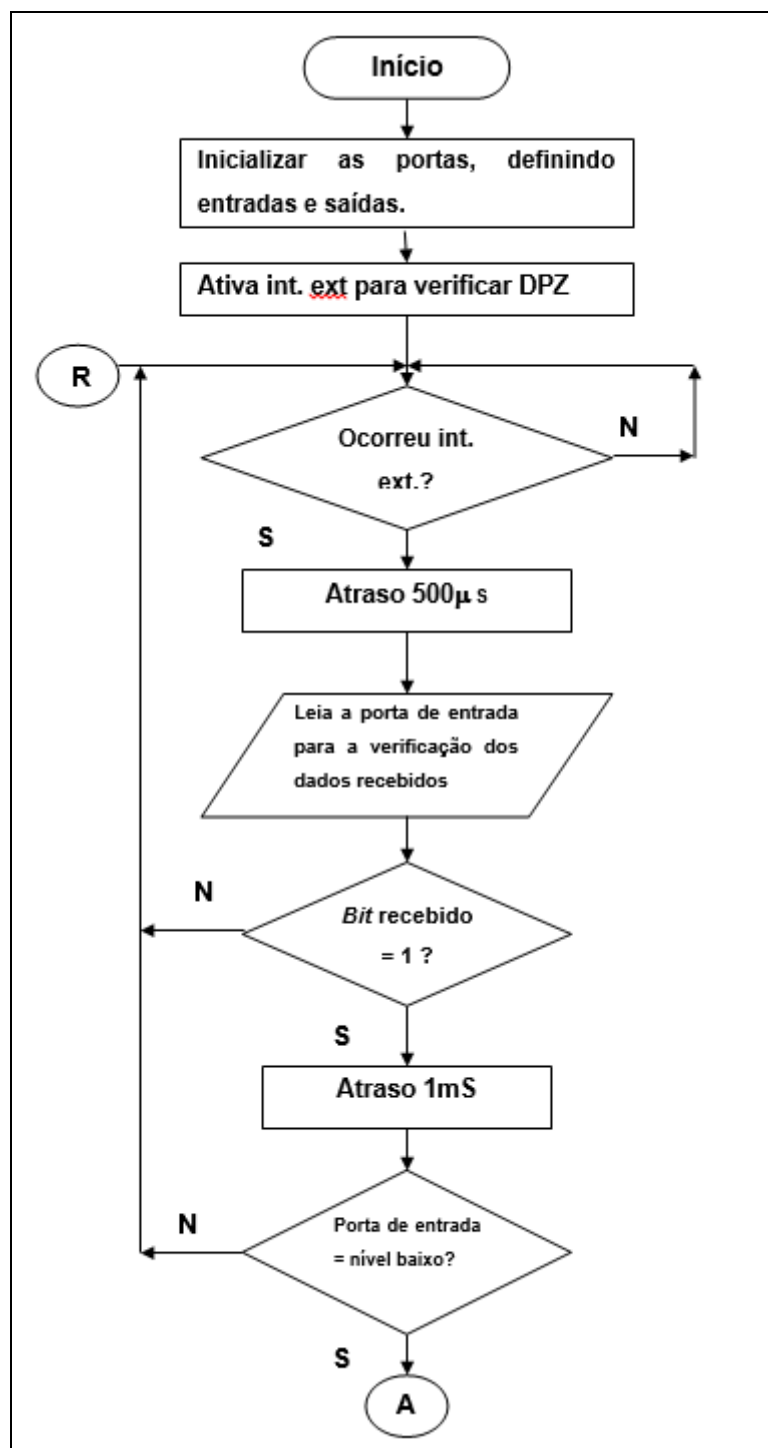


Figura 27 - Fluxograma de escuta do Start Code.
Fonte: Autoria própria.

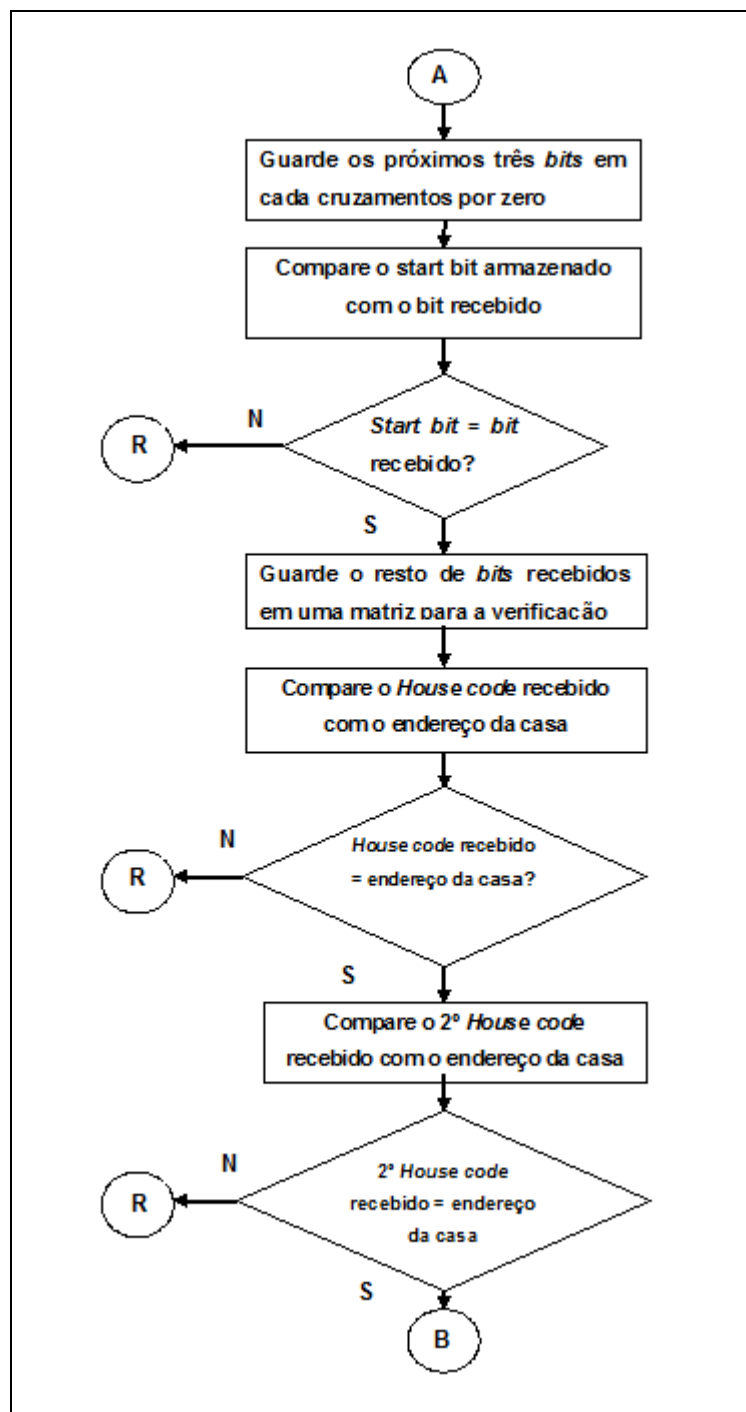


Figura 28 - Fluxograma de destinação da mensagem.
 Fonte: Autoria própria.

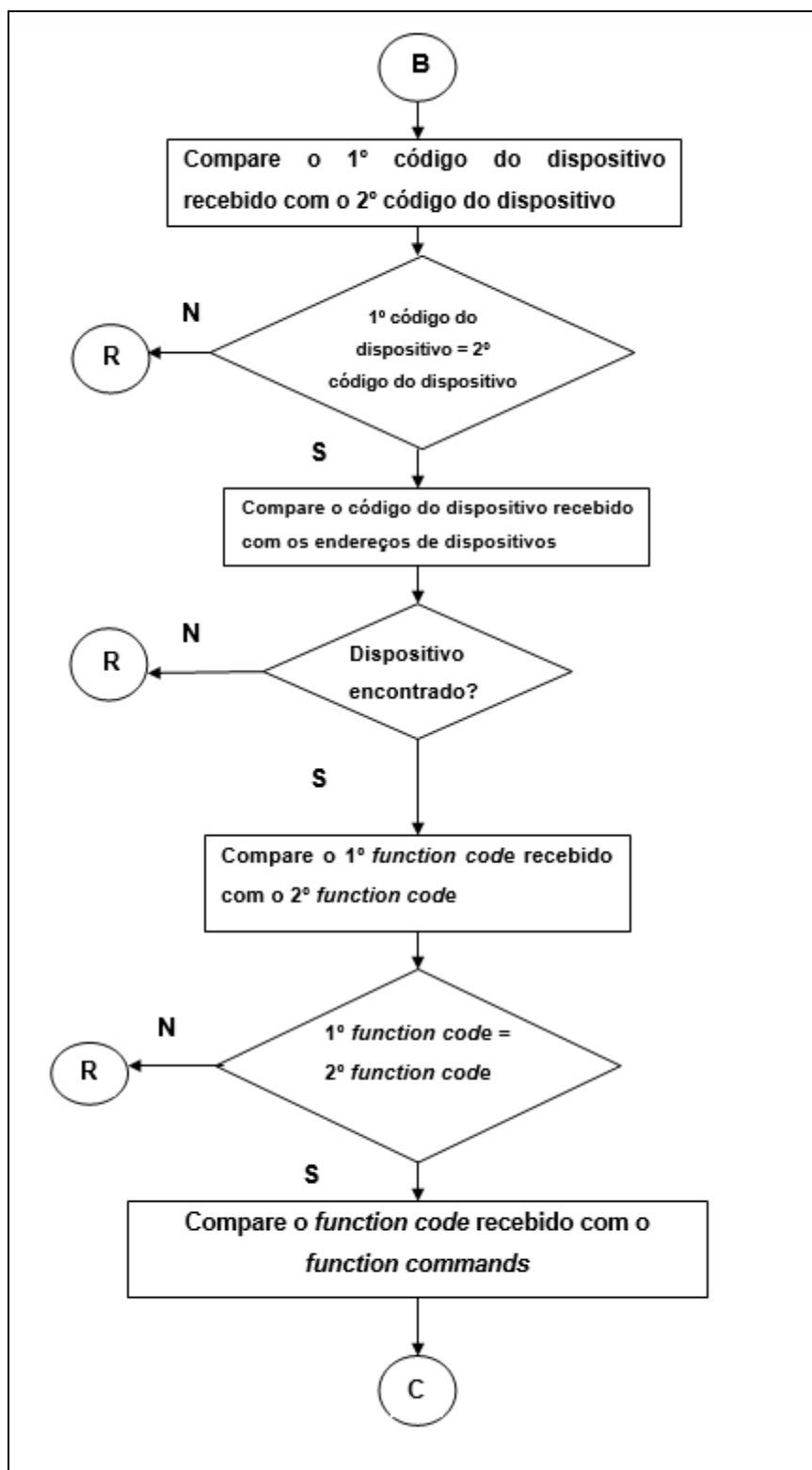


Figura 29 - Comparação da mensagem duplicada.
Fonte: Autoria própria.

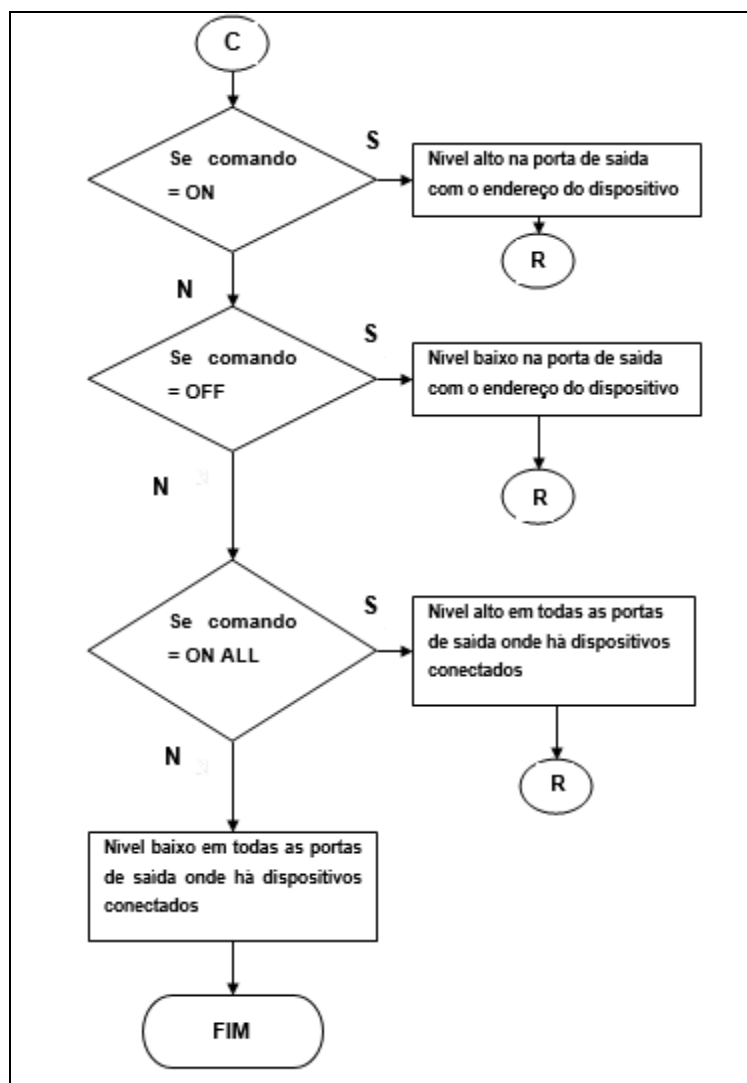


Figura 30 - Fluxograma de execução do comando.
Fonte: Autoria própria.

4.2 GERAÇÃO BURST 120 kHz

O protocolo de comunicação X-10 usa modulação de 120 kHz para transmitir informações sobre a rede de 60 Hz, como já explicado. É possível gerar o transportador de 120 kHz com um circuito oscilador externo. Um único pino E/S seria usado para ativar ou desativar a saída do circuito oscilador. No entanto, um circuito oscilador externo pode ser evitado pelo uso de um dos módulos CCP do PIC 16F877A, pinos 16 ou 17 do microcontrolador, onde os mesmos têm as funções CPP (CAPTURE/COMPARE/PWM).

O módulo CCP1 é utilizado em modo PWM para produzir uma onda quadrada de 120 kHz, com um ciclo de trabalho de 50%. Após a inicialização, CCP1 é continuamente ativado, e o *bit* TRISC para o pino é usada para a porta de saída de PWM (RC3). Quando TRISC for *bit* nível alto, o pino é uma entrada e o sinal de 120 kHz não estará presente no pino. Quando o *bit* TRISC é limpo, o pino de saída torna-se um sinal de 120 kHz que é acoplado à linha de alimentação de corrente alternada através de um transistor e capacitor.

O sinal resultante controla o transistor de alta frequência Q2, conforme ilustrado na Figura 31, fazendo com que este varie o seu estado de funcionamento entre o corte e a saturação. Esta ação gera uma oscilação no coletor do transistor, que por sua vez se encontra conectado ao circuito de acoplamento à rede elétrica, comum ao circuito elétrico que trata da filtragem do sinal.

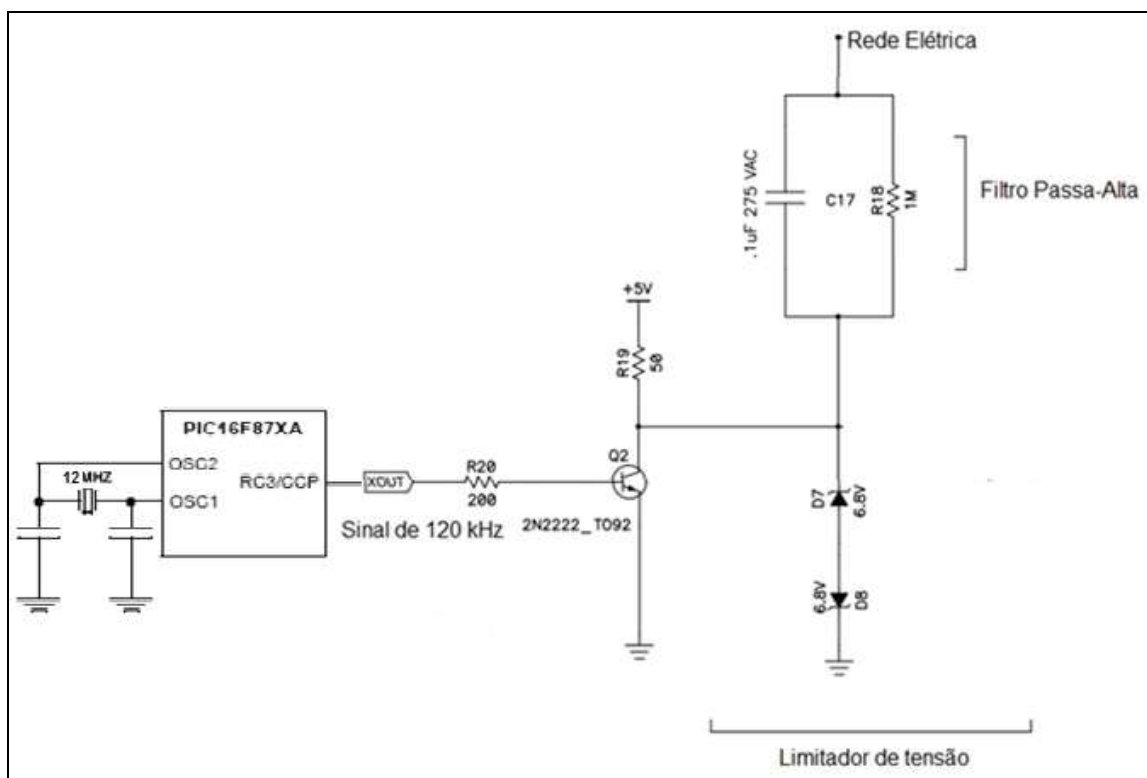


Figura 31 – Gerador 120 kHz
 Fonte: Adaptado de MICROCHIP (2010, p. 5).

4.3 GERAÇÃO DE ONDA QUADRADA UTILIZANDO O PIC16F877A.

O microcontrolador PIC16F877A operado em modo de PWM pode ser usado para geração de onda quadrada de 120 kHz. No modo de modulação de largura de pulso (PWM) o pino CCP1 produz até uma saída PWM com resolução de 10 *bits*. Como o CCP1 é multiplexado como o *latch* de dado do PORTC, o registro TRISC, *bit* 2, deve ser zerado para configurar o pino RC2/CCP1 como saída. Uma saída PWM tem uma base de tempo (período) e uma vez que a saída permanece elevada (ciclo de trabalho). A frequência do PWM é o inverso do período ($1/T$).

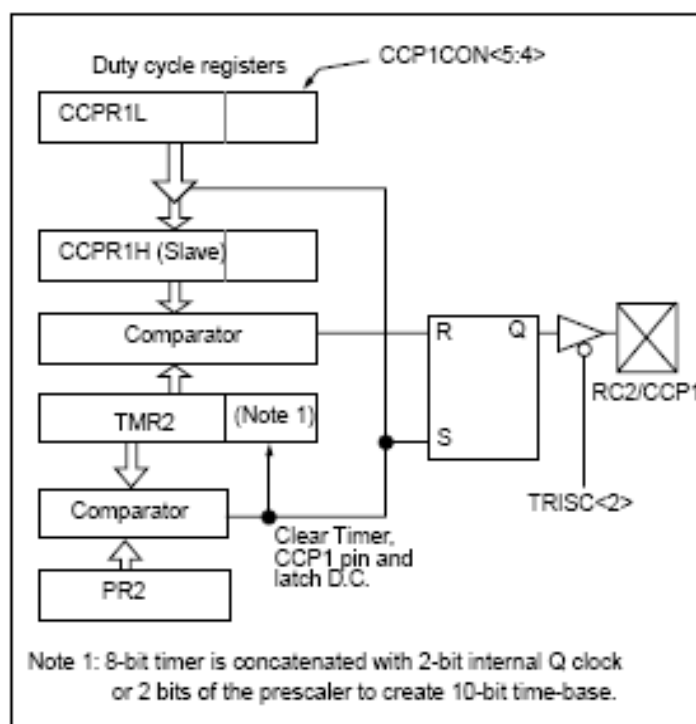


Figura 32 – Diagrama em blocos simplificado do PWM
Fonte: MICROCHIP (2013)

4.4 PERÍODO PWM

O período de PWM é especificado por escrito ao registro PR2. O período de PWM pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Período PWM} = [(PR2) + 1] * 4 * TOSC * (\text{TMR2 Preescaler}) \quad (3)$$

sendo T_{osc} o período do oscilador (*clock*).

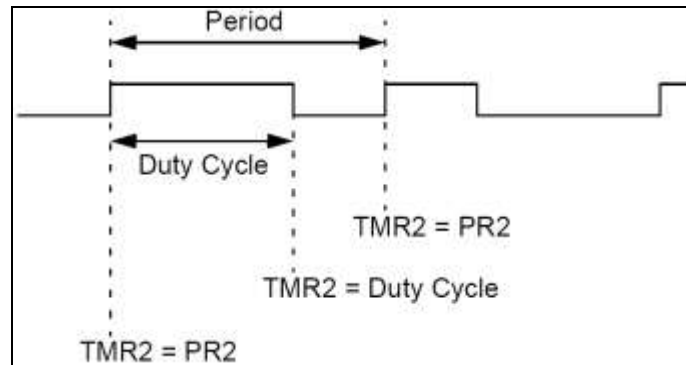


Figura 33 - Período PWM
Fonte: MICROCHIP (2013)

Para os cálculos foram utilizados os seguintes parâmetros:

- $f=120 \text{ kHz} \rightarrow \text{Período PWM} = 8,333 \mu\text{s}$
- Frequência do Cristal de $12 \text{ MHz} \rightarrow T_{osc} = 83 \text{ ns}$
- Preescaler do Timer 2 igual a 1:1

Assim, o valor de carga do registro **PR2** (banco 1) será: $PR2 = 24$.

A frequência PWM é definido como: $1 / [\text{período PWM}]$.

Quando TMR2 é igual a PR2, os seguintes três casos ocorrem no próximo ciclo de incremento:

- TMR2 é zerado;
- O pino CCP1 é setado (exceção: se ciclo de trabalho = 0%, o pino CCP1 não será setado);
- O ciclo de trabalho do PWM é *latched* de CCPR1L em CCPR1H.

4.5 RAZÃO CÍCLICA PWM

A razão cíclica do PWM, ou *duty cycle*, é especificado através da escrita nos registradores CCPR1L concatenado com o CCP1CON, *bits* 5 e 4, com resolução de 10 *bits*. O CCPR1L contém os oito MSBS (*Most significant bit*), ou seja, *bits* mais significativos e o CCP1CON <5:4> contém os dois LSBs (*Least significant bit*), *bits* menos significativos. Este valor de 10 *bits* é representado por CCPR1L: CCP1CON <5:4>.

A razão cíclica pode ser calculada através da seguinte equação:

$$\text{Duty Cycle PWM} = (\text{CCPR1L: CCP1CON } \langle 5:4 \rangle) * T_{osc} * (\text{TMR2 Prescaler}) \quad (4)$$

Os *bits* referente a CCPR1L e CCP1CON <5:4> podem ser escritos em qualquer momento, mas o valor do ciclo de trabalho não será atualizado em CCPR1H até que PR2 seja igual a TMR2 (ou seja, o período é completado). No modo PWM, CCPR1H é um registo de leitura. O registo CCPR1H é um registo interno de 2 *bits* que são usados para dobrar o *buffer* do ciclo de atividade. Este *buffer* duplo é essencial para a operação de falhas (*glitches*) do PWM.

4.6 LEITURA DE SINAIS DA REDE ELÉTRICA

O PIC16F877A foi programado para entrar no modo de leitura assim que energizado. Este modo recebe continuamente a informação presente na rede elétrica, a cada passagem por zero da tensão alternada. Quando é gerada uma interrupção no programa principal, proveniente da detecção de um 0 V na tensão da rede (mudança de estado no pino RB0/INT), é verificado de imediato se o estado da porta que comunica com o circuito de filtragem de sinal é “1” ou “0”. Esta verificação tem a duração de 1ms, sendo interrompida se for aplicada uma tensão no pino 33, alterando assim o valor lógico da porta para “1”, indicando a presença de sinal.

Concluída a verificação da porta que antecede à filtragem de sinal, conforme resultado “1” ou “0”, é enviado o caractere “1” ou “0”, respectivamente. Para finalizar o processo, verifica-se a configuração da fase (ascendente ou descendente) que provocou a interrupção e altera-se para a oposta. Seguidamente, a interrupção é terminada, dando continuidade ao programa principal. Na detecção do próximo 0 V, o processo é repetido.

Dá-se início à rotina de envio de uma mensagem assim que o estado do interruptor é alterado. O programa compila os dados a enviar (código casa, código unidade e código função) de acordo a estrutura da Tabela 2, baseados na pré-seleção de endereço efetuada pelo usuário. Em seguida os dados são enviados para o microcontrolador, ficando este encarregado de transmitir a mensagem através da rede elétrica, ou seja, assim que é aberta a porta de comunicação, pressionado as chaves da interface para selecionar o respectivo dispositivo e comando a ser executado o programa entra em modo de recepção de dados. Estes dados chegam aos receptores *bit a bit* (caractere a caractere), onde são verificados continuamente, procurando a existência dos caracteres “1 1 1 0” (*start code*). Assim que é detectado o *start code*, inicia-se o processo de tratamento de dados recebidos.

Após a detecção do *start code* nos dados adquiridos, o programa inicia uma contagem dos *bits* recebidos. Assim que a contagem atinge um valor maior que a dimensão de uma mensagem X-10, o programa retira da mensagem recebida o *House Code*, *Unit Code*, e *Function Code*. Depois é comparado o endereço do dispositivo residente no receptor com o recebido por mensagem. Caso se verifique que estes coincidem, o programa executa a ação associada ao código função, ligando ou desligando a lâmpada, o qual no projeto em questão representa um dispositivo conectado à rede *Power Line Communication*. Concluído o tratamento de dados, o programa volta à pesquisa do *start code* nos novos dados recebidos.

Caso seja recebida uma mensagem, em que o endereço que esta transporta, não coincida com o endereço do dispositivo residente na rede *Power Line Communication*, o programa retorna à pesquisa do *start code* nos novos dados recebidos.

5 CONFECÇÃO DOS MÓDULOS

Como forma de modularizar o projeto e evitar eventuais problemas na implementação dos circuitos (comuns em montagens eletrônicas), todo o *hardware* desenvolvido foi dividido em vários blocos, como explicitado no Capítulo 3, sendo estes previamente testados em *protoboard* para a realização de suas respectivas análises.

Com os esquemáticos do módulo transmissor e módulo receptor (Figuras 16 e 18, respectivamente) e testes do *firmware*, iniciou-se o processo de confecção da placa de circuito impresso (PCI) utilizando o *software* de desenvolvimento de circuito impresso chamado EAGLE. O circuito impresso desenvolvido pelo EAGLE pode ser visto na Figura 34. Com os projetos dos circuitos impressos foi possível desenvolver o roteamento (Trilhas) dos módulos físicos: placas dos módulos transmissor e receptor.

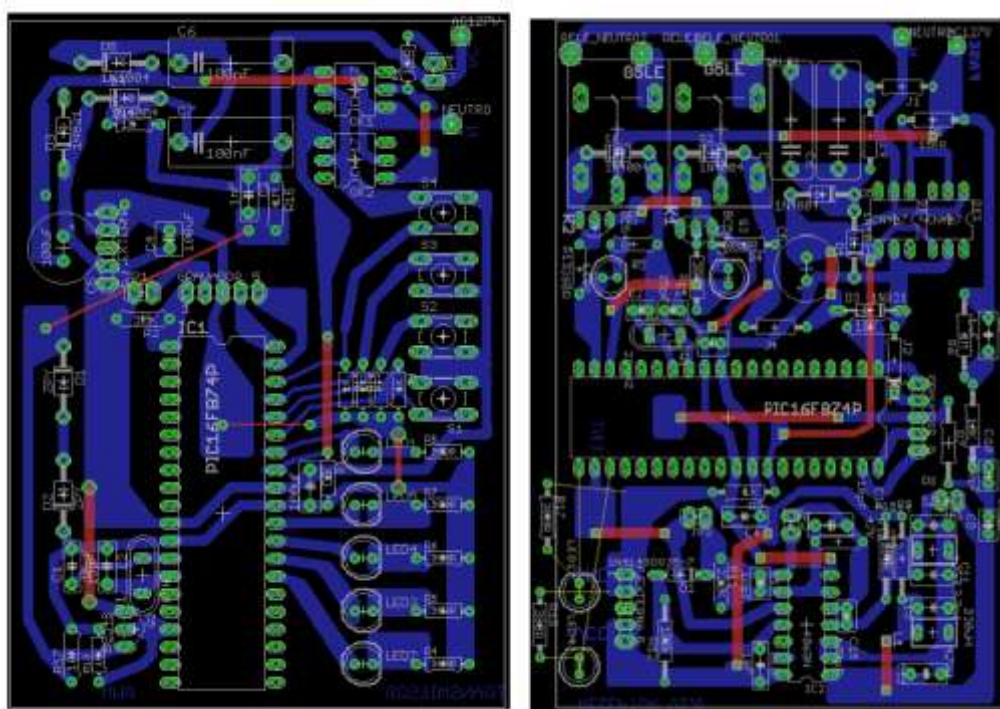


Figura 34 - *Layout* PCI Transmissor e Receptor respectivamente⁵.
Fonte: Autoria própria.

⁵ Para o *layout* desenvolvido no Eagle utilizou-se o PIC16F874P, porém considera-se como PIC 16F877A.

5.1 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

Há várias maneiras de uma Placa de Circuito Impresso ser confeccionada, e neste projeto escolheu-se um método prático e barato, com o auxílio de um fórum (HANDMADES, 2014) decidiu-se seguir um descritivo passo-a-passo. Este consiste na transferência térmica de tinta plástica para o lado cobreado da placa para circuitos.

Feita a placa, foram fixados (soldados) os componentes, que podem ser observados nas Figuras 35 e 36.

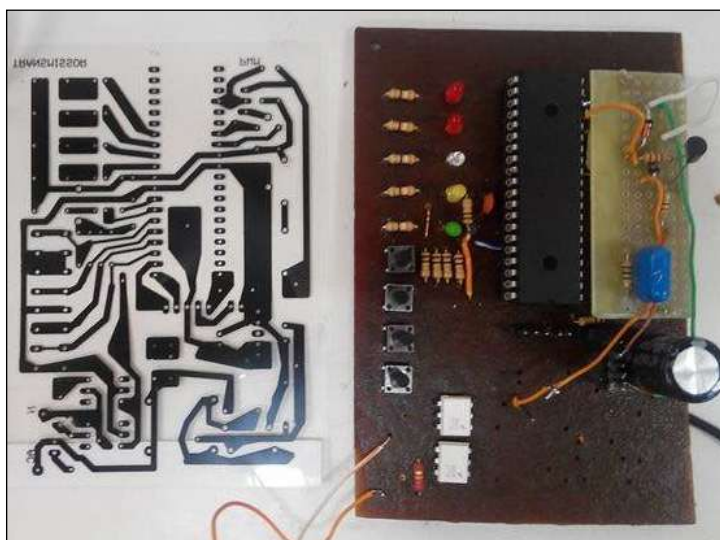


Figura 35 - Placa do Módulo Transmissor Concluída.
Fonte: Autoria Própria.

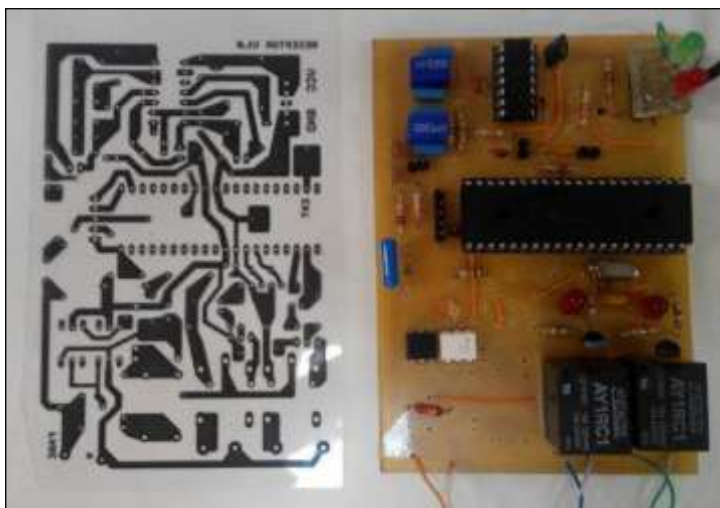


Figura 36 - Placa do Módulo Receptor Concluída.
Fonte: Autoria Própria.

5.2 RELAÇÃO DE COMPONENTES

Tabela 4 - Lista de Materiais.

Qtde.	Item	Descrição	Valor unitário	Preço
2	Microcontrolador	PIC16F877A	R\$ 15,80	R\$ 31,60
4	<i>Push Button</i>	-	R\$ 0,50	R\$ 2,00
2	Capacitores	15 pF, 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	1 nF, 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	10 pF 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	100 uF, 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	100 nF 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	150 pF 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	47 pF 50 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	10 nF 50 V, Ceramico	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Capacitores	0,1 uF 250 V, Poliéster	R\$ 0,20	R\$ 0,40
2	Indutor	220 uH	R\$ 2,00	R\$ 4,00
4	Capacitores	15 pF 50 V, Poliéster	R\$ 0,30	R\$ 1,20
2	Cristal	12 MHz	R\$ 1,30	R\$ 2,60
2	Diodo	1N4148	R\$ 0,50	R\$ 1,00
3	Diodo Zener	1N4736	R\$ 2,50	R\$ 7,50
10	LED	5 mm, 5Vcc	R\$ 0,50	R\$ 5,00
10	Resistores	10 kΩ	R\$ 0,10	R\$ 1,00
10	Resistores	380 Ω	R\$ 0,10	R\$ 1,00
10	Resistores	50 Ω	R\$ 0,10	R\$ 1,00
2	Resistores	1 MΩ	R\$ 0,10	R\$ 0,20
2	Resistores	33 kΩ	R\$ 0,10	R\$ 0,20
2	Resistores	220 kΩ	R\$ 0,10	R\$ 0,20
2	Resistores	47 kΩ	R\$ 0,10	R\$ 0,20
2	Resistores	100 kΩ	R\$ 0,10	R\$ 0,20
4	Transistor	BC548	R\$ 0,30	R\$ 1,20
2	Transistor	BC557	R\$ 0,30	R\$ 0,60
1	Placa de Cobre	20x25	R\$ 10,00	R\$ 10,00
4	Optoacoplador	UN2025	R\$ 0,60	R\$ 2,40
1	Percloroeto de Ferro	500 ml	R\$ 13,00	R\$ 13,00
Valor Total				R\$ 89,70

6 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados parciais e finais obtidos no projeto. A seguir são exibidos alguns resultados obtidos com auxílio do osciloscópio digital de dois canais da empresa fabricante Tektronix, modelo TDS 1001B. A análise do *hardware* foi realizada através de medições com o osciloscópio, da observação de alguns componentes e da verificação dos dados recebidos no receptor (LEDs).

6.1 TESTES E VALIDAÇÃO DOS MÓDULOS

Os ensaios foram realizados no laboratório do campus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em virtude da rede elétrica do campus ser considerada muito extensa (acima de 100 m) para a implantação deste projeto desenvolvido, utilizou-se de um equipamento VARIAC a fim de amenizar as interferências na rede e assegurar que o fio condutor seja comum para as tomadas entre os módulos transmissor e receptor.

6.1.1 Detecção de Passagem por Zero

O circuito de detecção de passagem por zeros do sinal de corrente alternada da rede elétrica funcionou corretamente, permitindo ao microcontrolador sincronizar-se com os 0 V (passagem por zero) da rede elétrica. Na Figura 37 encontra-se representada uma fotografia da tela do osciloscópio com a forma de onda obtida da sinalização da passagem por zero.

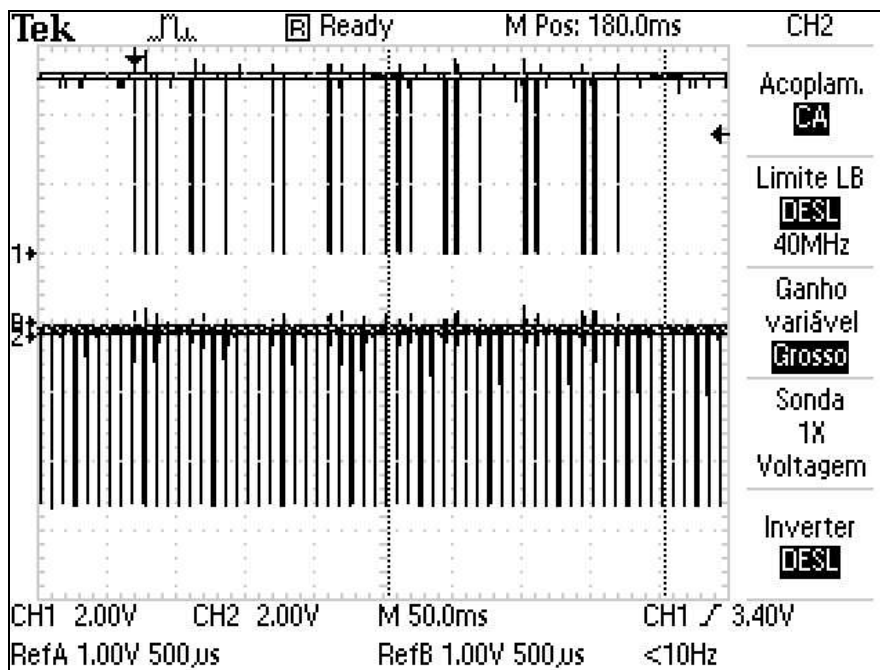


Figura 37 - Forma de onda passagem por zero.
Fonte: Autoria Própria.

O canal 2 (CH2) representa o sinal da rede condicionado para leitura no microcontrolador. Este sinal controla o funcionamento do transístor (Q2, vide Figura 20), fazendo com que este atue no corte e saturação. O canal 1 (CH1) mostra os *bursts* de sinais enviados pelo PIC.

6.1.2 Injeção do Sinal

O sinal gerado na saída do microcontrolador (Figura 38), durante a transmissão do *bit* "1", tem como características uma oscilação entre 0 e 5,1 V, com a duração de 1ms.

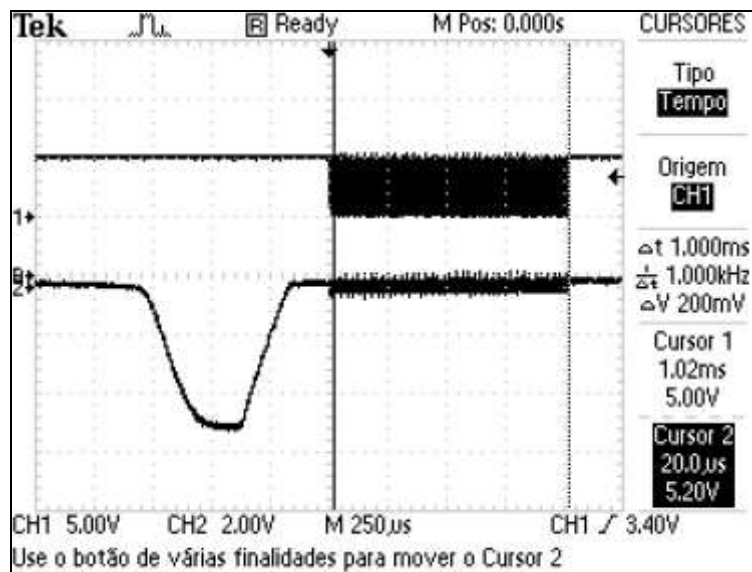


Figura 38 – Burst de 120 kHz.
 Autoria: Própria.

A Figura 38 comprova que o módulo transmissor mantém o envio de um envelope X-10 durante 1 ms, conforme especificado no Capítulo 2.

O canal 1 (CH1) mostra os *bursts* de sinais gerado pelo PIC. O canal 2 (CH2) representa o sinal da rede + dados.

Conforme medido através do osciloscópio, ao detectar a passagem por zero o microcontrolador leva 450 µs para gerar o sinal de transmissão de um *bit* X-10, conforme mostra a Figura 39. Sendo assim, este tempo medido respeita a especificação de tempo de atraso máximo relatado no Capítulo 2 de 500 µs.

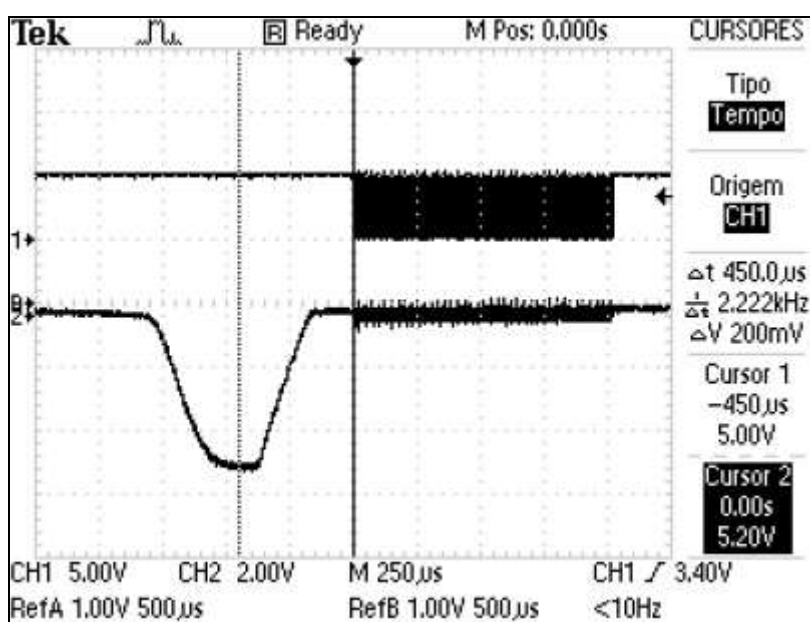


Figura 39 - Atraso do Microcontrolador para Envio de um bit X-10.
 Fonte: Autoria Própria.

6.1.3 Acoplamento

Foram feitos testes ligando o circuito acoplador na rede elétrica e na saída do circuito amplificador, foi gerado o *burst* de 120 kHz, *bit 1*. Com isso foi observado o sinal de 120 kHz injetado da rede de 60 Hz esse sinal injetado é o mesmo sinal que é recebido pelo módulo receptor. A Figura 40 mostra o sinal ampliado sendo injetado na rede elétrica na passagem por zero, com *burst* de 120 kHz de 1 ms de duração.

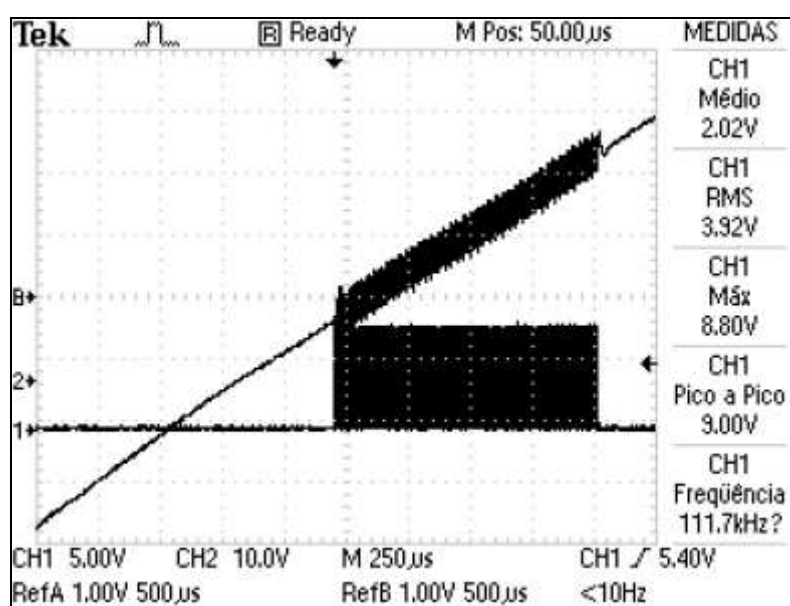


Figura 40 – *Burst* injetado na rede elétrica.
Autoria: Própria.

onde canal 1 (CH1) é o sinal PWM gerado pelo PIC e canal 2 (CH2) sinal sendo injetado na rede. Para ilustrar este momento, aproximou-se através dos cursores do osciloscópio as formas de ondas dos canais bem como ajustado a escala.

6.2 VERIFICAÇÃO MÓDULO RECEPTOR

Na Figura 41 a seguir, tem-se representado os pontos de medição e verificação do sinal.

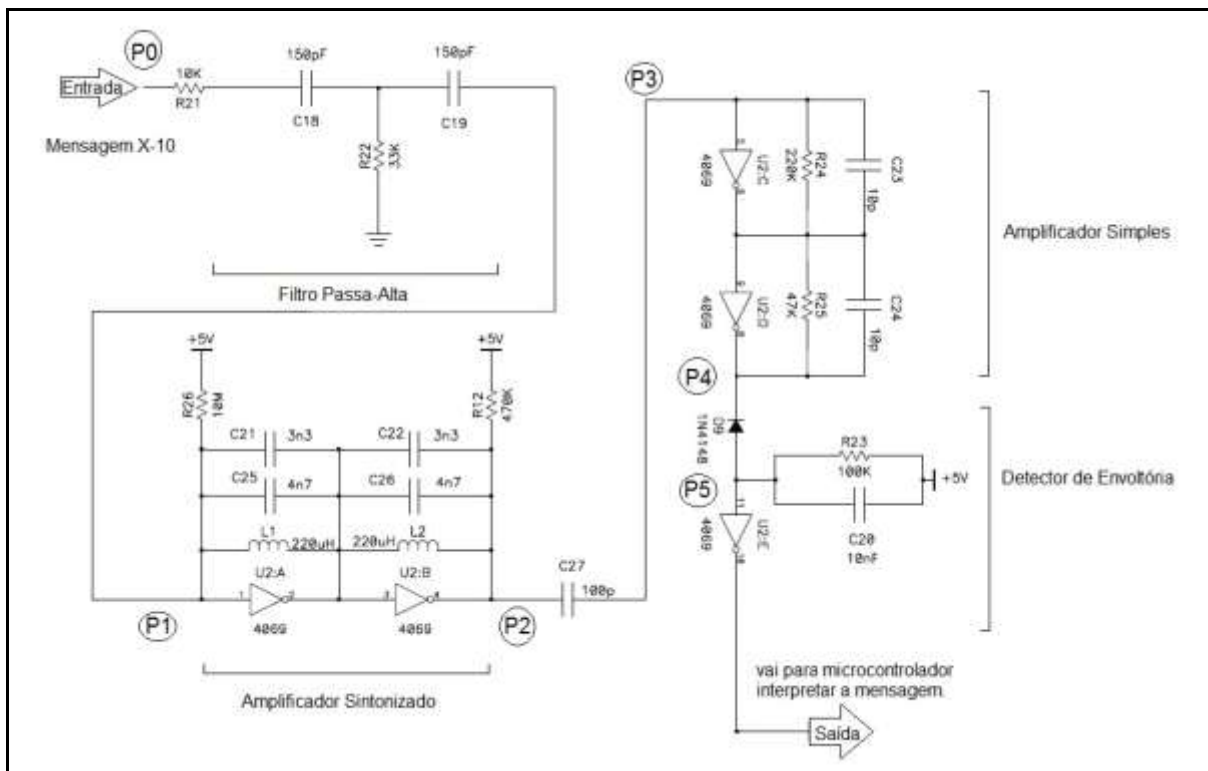


Figura 41 - Filtros e Acoplamento Receptor.
Autoria: Própria.

Nas imagens a seguir, o canal 1 (CH1) representa o sinal PWM gerado pelo PIC no módulo Transmissor, enquanto o canal 2 (CH2) representa os pontos de medições, vide Figura 41, do módulo receptor.

6.2.1 Sinal Filtro Passa-Alta (Desacoplamento) – P1

A Figura 42 mostra a composição do sinal à saída do filtro passa-alta, sinal no Ponto P1 conforme indicado na Figura 41, destaca-se a atenuação do sinal recebido no módulo receptor.

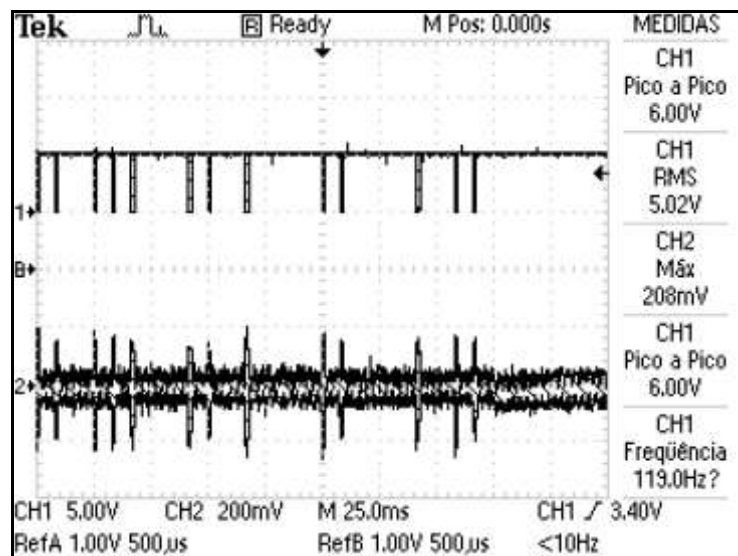


Figura 42 - Sinal na saída do filtro passa-alta.
 Autoria: Própria.

onde canal 1 (CH1) representa o sinal transmitido pelo transmissor, enquanto o canal 2 (CH2) indica o sinal recebido através da rede elétrica para o Receptor.

Era esperado que a comunicação entre os módulos apresentasse distorções, no entanto, os dois módulos comunicaram e todos os dados transmitidos foram recebidos.

A Figura 43, com zoom, mostra a atenuação no sinal devido ao Filtro Passa-Alta.

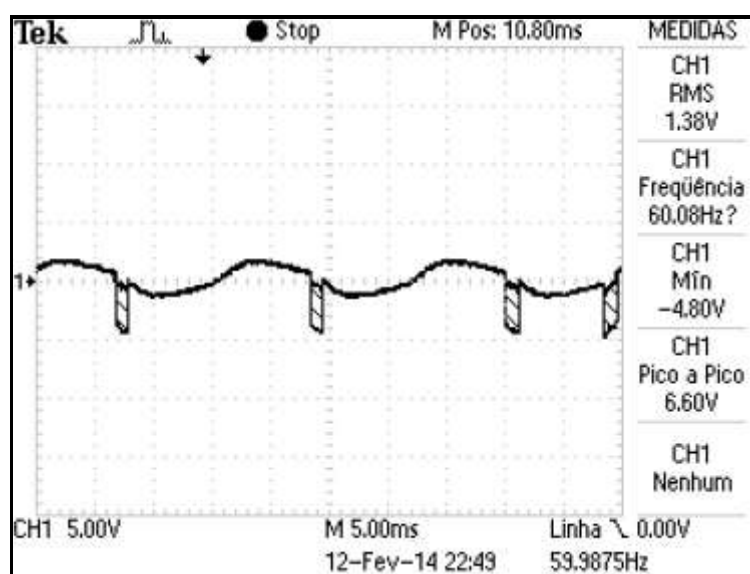


Figura 43 - Sinal Filtro Passa-Alta.
 Autoria: Própria.

Na Figura 43, o canal 1 do osciloscópio representa o sinal na saída do filtro, isto é, o sinal atenuado, presente no fio condutor, no ponto P1 vide Figura 41. O sinal pulsante, de cerca de 5 V de amplitude, provém de uma porta de saída do PIC do módulo transmissor. Na fase experimental, esta foi programada para disponibilizar 5 V durante 1ms, assim que surgisse uma interrupção gerada pela mudança de estado do pino 33, RB0/INT. Desta forma foi possível verificar a existência de sincronismo com os 0 V da rede elétrica, bem como a rejeição da faixa.

A Figura 44 representa a forma de onda no amplificador sintonizado, sinal correspondente no ponto P2 vide Figura 41, onde canal 1 (CH1) representa o sinal transmitido pelo transmissor, enquanto o canal 2 (CH2) indica o sinal amplificado pelo amplificador sintonizado no receptor.

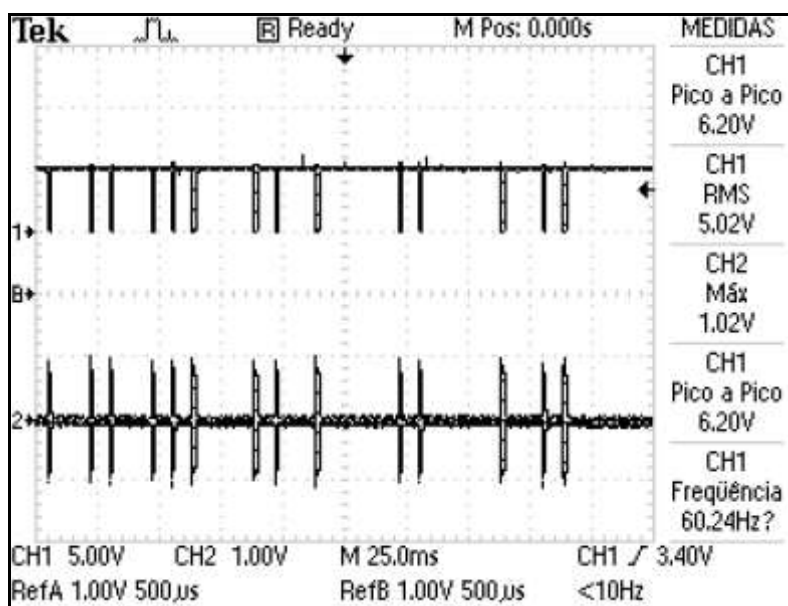


Figura 44 - Sinal do amplificador sintonizado.
 Autoria: Própria.

A Figura 45 representa a forma de onda na saída do amplificador simples, sinal correspondente no ponto P4 vide Figura 41, onde canal 1 (CH1) representa o sinal transmitido pelo transmissor, enquanto o canal 2 (CH2) indica o sinal amplificado pelo amplificador simples no receptor.

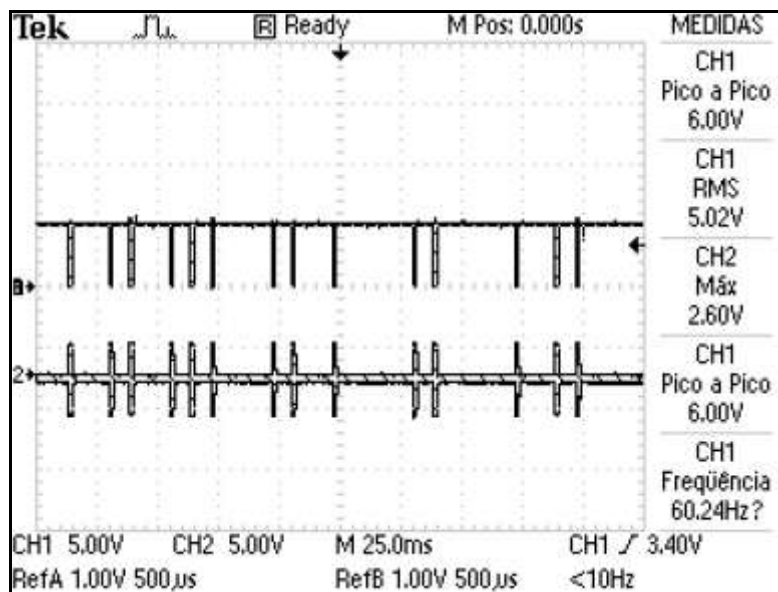


Figura 45 - Saída Amplificador Simples.
 Autoria: Própria.

A Figura 46 representa a forma de onda correspondente ao detector de Envoltória, sinal correspondente no ponto P5 vide Figura 41, onde canal 1 (CH1) representa o sinal transmitido pelo transmissor, enquanto o canal 2 (CH2) indica o sinal aferido pelo detector de envoltória no receptor.

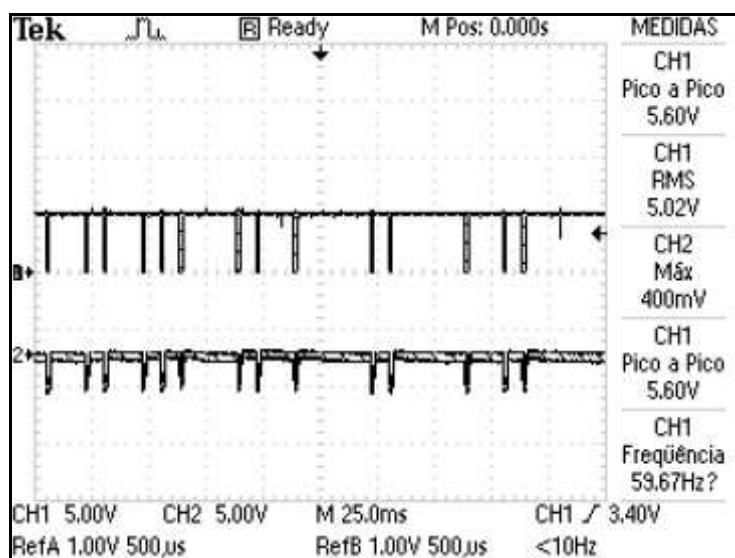


Figura 46 - Sinal Detecção de Envoltória.
 Autoria: Própria.

6.3 ASPECTOS GERAIS DO HARDWARE

De um modo geral o *hardware* mostrou-se funcional, pois cada seção desempenhou a função que lhe foi atribuída.

Foram realizados testes de envio de comandos ON e OFF para o dispositivo de destino do comando, validando-se o objetivo do projeto

A seguir a Figura 47 ilustra o acionamento da função de enviar o comando “ON” pelo enlace *Power Line Communication* PLC. O código fonte (*firmware*) criado para execução da implementação da funcionalidade do sistema pode ser consultado nos Apêndices A e B deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Os módulos Transmissores e Receptores estão ligados todos na mesma fase da corrente elétrica.

Após o envio do comando “ON” selecionado pelo usuário através da interface, composta por *push buttons*, o dispositivo elétrico, no caso em questão representado por uma lâmpada, foi ligado com sucesso (Figura 47).

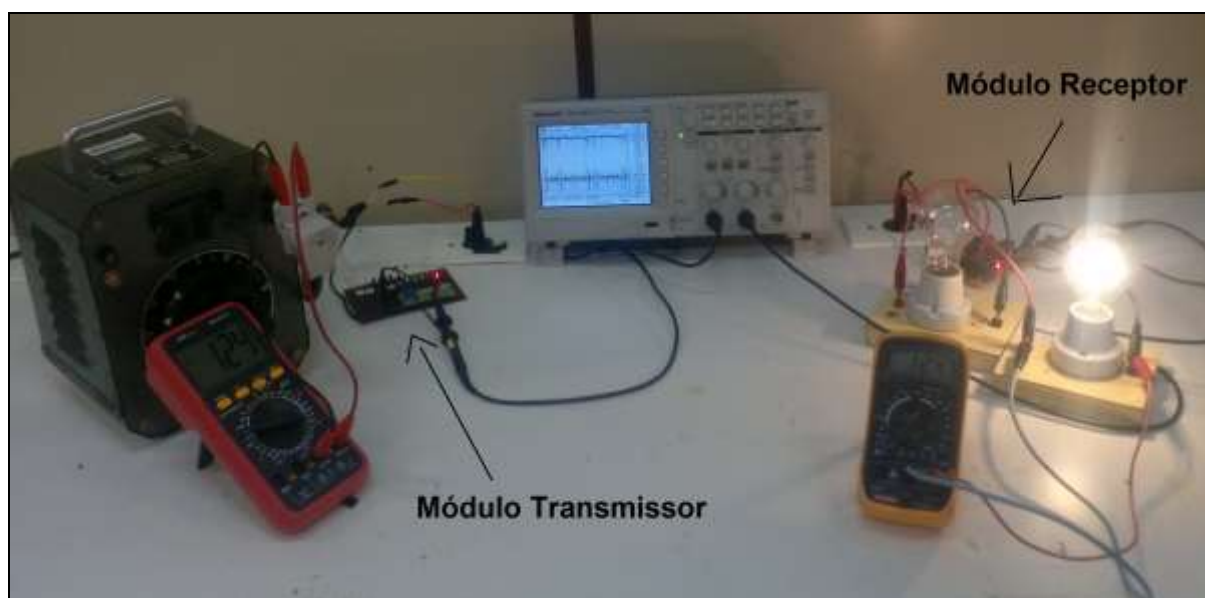


Figura 47 - Sistema Implementado.
Fonte: Autoria Própria.

O quadro X-10 gerado pelo módulo transmissor microcontrolado e enviado para o módulo receptor pode ser visto na Figura 48. Assim, o módulo transmissor começa o quadro X-10 com o envio do *Start Code*, em seguida é transmitido o

House Code, depois o endereço do dispositivo e por último a função a ser transmitida.

Ressaltando que cada *bit* é transmitido em uma passagem por zero da senóide.

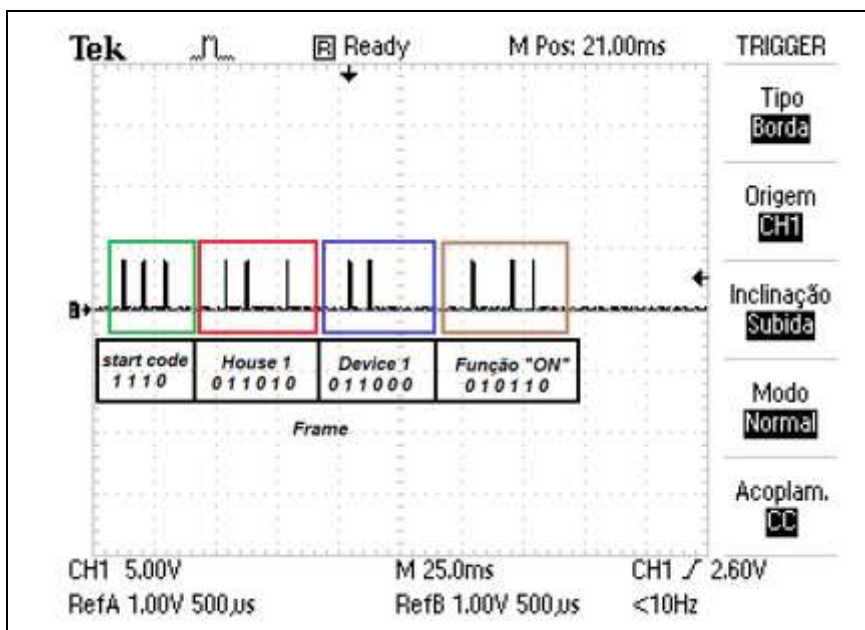


Figura 48 - Quadro X-10 Gerado pelo Módulo Transmissor.
Fonte: Autoria Própria.

Nos testes realizados, o módulo receptor X-10 foi programado para possuir o endereço X-10 de House 1: *bits* 0 1 1 0 1 0, dispositivo 1: *bits* 0 1 1 0 0 0. Deste modo, foi enviado o comando de função “ON” como sendo os *bits*: 0 1 0 1 1 0. A programação das rotinas e definições encontra-se nos Apêndices A e B deste trabalho.

Por ser o protocolo de comunicação X-10 de código aberto, o que possibilita a alteração de seus parâmetros, não seguiu-se fielmente os endereços ilustrados na Tabela 2 da Seção 2.3. Desta forma, por caráter de simplificação, definiu-se na programação a estrutura diferente de endereçamento, porém atendendo aos critérios de comunicação via rede elétrica.

Ao receber o comando “ON” o módulo receptor aciona a lâmpada associada ao módulo receptor. A saída ficará acionada até que receba um comando “OFF”.

O módulo receptor deste projeto aceita os comandos “ON” e “OFF”.

7 CONCLUSÃO

A finalidade deste projeto foi apresentar uma proposta de automação de ambientes *indoor* utilizando a tecnologia *Power Line communication*, como enlace de rede, via protocolo de comunicação X-10. Para isso, foi construído um protótipo com o objetivo de demonstrar as potencialidades da tecnologia para o seu emprego em projetos no mercado.

Através da implementação de um sistema microcontrolado para automação residencial baseado em *Power Line Communication* via protocolo X-10, utilizou-se de LEDs para representar os dispositivos eletrônicos de uma residência que podem ser controlados remotamente, validou-se ser um produto totalmente funcional, com protocolo simples e baixo custo de implementação. Assim obteve-se como resultados finais um módulo transmissor que, quando conectado a uma tomada AC padrão controla os dispositivos e transmite os dados pela rede elétrica, e um módulo receptor que lê os dados a partir da linha da rede elétrica e executa a função requisitada. As soluções comerciais de automação residencial são tipicamente proprietárias, baseadas em um dispositivo de controle específico com um *software* embarcado e que possuem custo bastante elevado.

Em comparação com outros métodos, este é um método de automação muito simples. Ao implementar esta tecnologia estamos superando as desvantagens do atual sistema de cabeamento de dados. 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, 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.

A utilização da rede elétrica já existente na residência e o baixo custo dos aparelhos compatíveis com o protocolo X-10 torna possível um sistema de automação residencial que atenda aos requisitos citados anteriormente.

No primeiro Capítulo deste trabalho, foram estabelecidas a proposta do tema bem como os objetivos almejados. No segundo Capítulo mencionou-se as inúmeras possibilidades oferecidas pela Domótica, como as questões de segurança, entretenimento, economia, conforto e sofisticação, além de seus protocolos mostrou-se as redes *Power Line communication*, que podem fazer parte do sistema domótico, utilizando o protocolo de comunicação X-10, assim se fez o aprofundamento acerca da funcionalidade e operação do protocolo de comunicação X-10 sobre a rede *Power Line Communication*. No terceiro Capítulo elaborou-se a especificação técnica bem como detalhamento para confecção dos protótipos do módulo transmissor e módulo receptor, enquanto no quarto Capítulo estruturou-se o algoritmo, ou seja, a lógica para compor o desenvolvimento do *firmware* a ser embarcado no microcontrolador PIC16F877A. No quinto Capítulo demonstraram-se as etapas para confecção das placas do protótipo. No sexto Capítulo compararam-se os resultados reais obtidos com os protótipos confeccionados com relação aos resultados encontrados por simulação referenciados no Capítulo 3, validando-se o objetivo proposto do projeto.

Desta forma, o desenvolvimento desse projeto abrangeu uma série de fatores importantes, que vão do acadêmico ao comercial. Do ponto de vista acadêmico sua importância está na interdisciplinaridade do conceito, que para sua realização necessitou conhecimentos sobre modulação de sinais, algoritmos, programação em C, protocolos de comunicação, interrupções, microprocessadores, eletrônica digital, circuitos elétricos e eletrônica básica, sistemas microcontrolados entre outros. Do ponto de vista comercial, destaca-se o alto potencial de comercialização devido à aplicabilidade, uma vez que o uso da rede elétrica como meio de transmissão de dados nos permite automatizar qualquer tipo de residência, sendo ela nova ou antiga, ou ainda espaços comerciais como teatros, cinemas e salas comerciais.

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 implementar um Sistema Microcontrolado para Automação Residencial Baseado em *Power Line Communication* Via Protocolo X-10, para transmitir e receber mensagens foi parcialmente atendido. Inicialmente tinha-se o intuito de incluir todas as funcionalidades da tabela de funções disponíveis pelo protocolo X-10, juntamente com uma interface gráfica intuitiva para o usuário, deixando um produto final muito próximo a um produto com fins comerciais, mas devido à falta de tempo para o término do trabalho resolveu-se simplificar as operações, restringindo-se a apenas mostrar a validação de comunicação de dados através da rede elétrica.

Os testes realizados com o módulo transmissor X-10 puderam validar o desenvolvimento do *firmware* de transmissão X-10 para o microcontrolador. Da mesma maneira, os testes com o módulo receptor X-10 microcontrolado validaram o desenvolvimento do *firmware* de recepção X-10. Deste modo, os objetivos de desenvolver um sistema de transmissão e recepção do protocolo X-10 para o PIC16F877A, de criar um firmware para ser embarcado no microcontrolador e de testar e validar o sistema de automação implementado puderam ser plenamente atendidos.

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 sobre a distância máxima permitida entre o módulo transmissor e receptor X-10, perdas na transmissão entre diferentes circuitos elétricos, influências na comunicação X-10 causadas por diferentes cargas conectadas à rede elétrica, etc.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de refinamento do Sistema Microcontrolado para Automação Residencial Baseado em *Power Line Communication* Via Protocolo X-10, a partir do

desenvolvimento do projeto, foram identificadas as seguintes oportunidades de melhorias e / ou trabalhos futuros:

- Implementação dos demais comandos do protocolo X-10 que não foram implementados nesse trabalho;
- Melhorias da interface de usuário, tornando a interface mais intuitiva e amigável, por meio de *display* gráfico;
- Agregar outros meios de comunicação aos módulos desenvolvidos neste trabalho, como por exemplo, comunicações sem fios;
- 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*;
- Introdução de técnicas de detecção de colisões no protocolo;
- Garantir o funcionamento dos módulos criados 100% compatível com os dispositivos X-10 existentes no mercado, de forma a possibilitar a construção de um sistema misto, ou seja, permitir o funcionamento conjunto;
- Formatação desta prova de conceito como um produto comercial.

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

8 REFERÊNCIAS

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 375, DE 25 DE AGOSTO DE 2009**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009375.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL. **Tudo sob Controle**. Revista Lumière, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.aureside.org.br>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

DIAS, César Luiz de Azevedo. **Domótica: Aplicabilidade às Edificações Residenciais**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense. Niterói. VÉRTICES, v. 6, n. 3, set./dez. 2004. p.24.

CENTRAL CASA. **Teoria da Transmissão**. Disponível em: <<http://www.eurox10.com/Content/X10SignalTheory.htm>>. Acesso em: 07 fev. 2013.

COCA, Eugen; POTORAC, Alin. **Power Line Carrier Equipments Line Interface Protection**. University of Suceava. vol.3,N.1,2003.

CORTELETTI, Daniel. **Conhecendo o PIC16F877A Microcontrolador de 8 bits da Microchip Co.** Aula 2, Programação, Página 4/6. Disponível em: <<http://www.mecatronica.org.br/disciplinas/programacao/002/pic.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2013.

CRSOLUTION. **Domótica**. Disponível em <<http://www.rcrsolution.com/servizi/domotica>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

FERNANDES, Pedro M. de. **Aplicações Domóticas para Cidadãos com Paralisia Cerebral**, 2001. Tecnologia Domótica, Universidade de Aveiro. Disponível em: <<http://portal.ua.pt/thesaurus/default1.asp?OP2=0&Serie=0&Obra=28&H1=1&H2=0>>. Acesso em: 27 jan. 2013.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Pesquisa sobre Orçamentos Familiares 2002-2003**, Rio de Janeiro, jan. 2004.

HAYKIN, S. **Sistemas de Comunicação: Analógicos e Digitais**. 4ª. Edição. Editora Bookman, 2004.

HANDMADES. **Confecção de Placa de CI com Impressora Laser**. Disponível em: <http://www.handmades.com.br/forum/index.php?page=pci_imp_laser>. Acesso em 11 jan. 2014.

HERNANDES, Bruno Rafael A. **Utilização da Tecnologia Power Line Communication e o Protocolo de Comunicação X-10 como Solução Para Automação Residencial**. Curso de Ciências de Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Trabalho de Conclusão de Curso, Foz do Iguaçu, 2006.

IBGE. **Censo Demográfico Brasileiro**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

IMASTERS. **O Modelo OSI e suas 7 Camadas**. Disponível em: <<http://imasters.com.br/artigo/882/redes-e-servidores/o-modelo-osi-e-suas-7-camadas/>>. Acesso em 05 nov. 2013.

LIU, Weilin et al. **"Broadband PLC Access Systems and Field Deployment in European Power Line Networks"**, IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 5, pp.114.118, maio de 2003.

MALVINO, A. P. **Microcomputadores e Microprocessadores**. Editora McGraw-Hill, SP, 1985. 578p.

MICROCHIP, Microchip Technology Inc. **PIC16F87XA**. Datasheet, DS39582B, 232 p. ano 2003. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2013.

MICROCHIP; BURROUGHS, Jon. **Home Automation Using the PIC16F877A, AN236**. Microchip Technology Inc, 26 p. 2010. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/App/Notes/00236B.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

MIKRO, Eletrônica. **MICROPROCESSADORES PIC**. Disponível em: <<http://gec.di.uminho.pt/lecom/li2/material/PicBook-PT.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2013.

MikroC PRO for PIC V.4.15.0.0. Disponível em: <<http://www.mikroe.com/mikroc/pic/>>. Acesso em: 22 julho 2013.

NUNES, João Pereira. **Configuração de Sistemas Domóticos**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática e de Computadores. Instituto superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/568335/1/TeseSEM2_final.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

RIBEIRO, M. V.. **P&D para apoio a regulamentação e a padronização da tecnologia PLC**. Workshop Sobre Power Line Communication: [trabalhos apresentados]. Brasília, DF: ANEEL, 2007. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/4%20-Moises%20-%20UFJF%20-%20.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

RYE, Dave, **X-10 Ltd. Group History and Overview** in Home Toys Article June 1997
[SCHO95] Scholl, Richard, "Home Automation Using the JDS Time CommanderPlus" in Home Automation Magazine, May/June 1995.

SCIENCEPROG. **Passagem Por Zero**. Disponível em: <<http://www.scienceprog.com/x-10-interface-for-home-automation-projects/>>. Acesso em 25 julho. 2013.

SENA, Diane C. S. **Automação Residencial**. 2005, 109 p. Curso de Engenharia elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Trabalho de conclusão de curso, ES, 2009.

SOUZA, D. J. de; LAVINIA, N. C. **Conectando o PIC16F877A: Recursos Avançados**. 2ª. Ed. São Paulo: Érica, 2005. 268p.

TERUEL, E. C. **Uma Proposta de Framework para Sistemas de Automação Residencial com Interface para Web**. 2008. 158 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia: Gestão, Desenvolvimento e Formação) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008.

TRINDADE, Alessandro Bezerra. **Microcontroladores 32 bits e a Internet: Uma proposta de Aplicação para Automação Industrial, Predial e Residencial**. Disponível na Internet: <<http://albt.tripod.com/x10.htm>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

VISHAY. **Optocoupler 4N25.** Disponível em:
<<http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

WORTMEYER, C.; FREITAS, F.; CARDOSO, L. **Automação Residencial: Busca de Tecnologias Visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário.** In: II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia SEGeT2005. [S.l.: s.n.], 2005.

X10. **X10 Powerline Carrier (PLC) Technology.** Disponível em:
<<http://www.x10.com/support/technology1.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

APÊNDICE A - FIRMWARE DE TRANSMISSÃO

```

#define _XTAL_FREQ 12000000

#define HEADSIZE 4

#define HOUSESIZE 6

#define DEVICESIZE 6

#define FUNCSIZE 6

#define DATASIZE HEADSIZE+HOUSESIZE+DEVICESIZE+FUNCSIZE

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <GenericTypeDefs.h>
#include <xc.h>
#include "pwm16f8xx.h"
#include "interrupcao.h"
#include "transmissao.h"

// CONFIG

#pragma config FOSC = HS      // Oscillator Selection bits (HS oscillator)
#pragma config WDTE = OFF     // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled)
#pragma config PWRTE = OFF    // Power-up Timer Enable bit (PWRT disabled)
#pragma config BOREN = OFF    // Brown-out Reset Enable bit (BOR disabled)
#pragma config LVP = OFF      // Low-Voltage (Single-Supply) In-Circuit Serial Programming Enable
                             // bit (RB3 is digital I/O, HV on MCLR must be used for programming)
#pragma config CPD = OFF      // Data EEPROM Memory Code Protection bit (Data EEPROM code
                             // protection off)
#pragma config WRT = OFF      // Flash Program Memory Write Enable bits (Write protection off; all
                             // program memory may be written to by EECON control)
#pragma config CP = OFF       // Flash Program Memory Code Protection bit (Code protection off)

unsigned int envioAutorizado = 2;

unsigned int indice = 0;

unsigned int headdata [HEADSIZE] = {1, 1, 1, 0};

```

```

unsigned int housedata [2] [HOUSESIZE] = {{0,1,1,0,1,0}, {0,1,0,1,0,0}}; //HOUSE A -
HOUSE B
unsigned int devicedata [2] [DEVICESIZE] = {{0,1,1,0,0,0}, {0,0,1,1,0,0}}; // DEV 1 / DEVI 2
unsigned int funcdata [2] [FUNCSIZE] = {{0,1,0,1,1,0}, {0,1,1,0,1,0}}; // ON , OFF

unsigned int nhouse = 0;// A OU B ESCOLHIDO NO MENU
unsigned int ndev = 0; // 1 ou 2 ESCOLHE O DEVICE
unsigned int nfunc = 0; // ON && OFF DESLIGAR OU LIGAR DISPOSITIVO
unsigned int flag_comand = 0; // FLAG BOTAO COMANDO APARTADO.

//unsigned short data [DATAsize];

void testadado () // ENVIA O DADO PARA O FRAME DATA[i] QUE SERA ENVIADO
{
    int i = 0;
    for (i=0; i < HEADSIZE; i++)
    {
        data [i] = headdata [i];
    }
    for (i=HEADSIZE; i < (HEADSIZE + HOUSESIZE); i++)
    {
        data [i] = housedata[nhouse] [i- HEADSIZE];
    }
    for ((i=HEADSIZE + HOUSESIZE); i < (HEADSIZE + HOUSESIZE + DEVICESIZE); i++)
    {
        data [i] = devicedata [ndev] [i- (HEADSIZE + HOUSESIZE)];
    }
    for (i= (HEADSIZE + HOUSESIZE + DEVICESIZE); i < DATASIZE; i++)
    {
        data [i] = funcdata [nfunc] [i- (HEADSIZE + HOUSESIZE + DEVICESIZE)];
    }

    envioAutorizado= 0;

```



```

}

int main(int argc, char** argv)
{
    TRISBbits.TRISB0 = 1;// ENTRADA INT
    TRISBbits.TRISB2 = 1;// CHAVE COMANDO HOUSE A DEV 1
    TRISBbits.TRISB3 = 1;// CHAVE COMANDO HOUSE A DEV 2
    TRISBbits.TRISB4 = 1;// CHAVE COMANDO HOUSE A DEV 2
    TRISBbits.TRISB5 = 1;// CHAVE COMANDO HOUSE B DEV 2
    TRISBbits.TRISB1 = 0;// LED INDICAÇÃO PROGRAMA RODANDO, PARA QUANDO ENTRA NA
    INTERRUPCAO

    TRISCbits.TRISC2 = 0;// SAIDA PWM-----
    TRISCbits.TRISC3 = 0;// SAIDA PWM DIGITAL-----
    TRISDbits.TRISD4 = 0;// VAZIO
    TRISDbits.TRISD5 = 0;// LED HOUSE A DEVICE 2
    TRISDbits.TRISD6 = 0;// LED HOUSE A DEVICE 1
    TRISDbits.TRISD7 = 0;// INTERRUPCAO

    PORTBbits.RB1 = 0;
    PORTDbits.RD4 = 0;
    PORTDbits.RD5 = 0;
    PORTDbits.RD6 = 0;
    PORTDbits.RD7 = 0;

    indice = 0;
    nhouse = 0;
    ndev = 0;
    nfunc=1;

    InitInt ();
    PWM1_Init (120000);

    while (1)
    {
        //PWM1_Set_Duty(ON);
        PORTBbits.RB1 = 1; // INFORMA QUE O PROGRAMA ESTA RODANDO
    }
}

```

```
if (PORTBbits.RB2 == 1)
{
    __delay_ms(1);
    while (PORTBbits.RB2 == 1)
    {
        __delay_us(30);
    }
    envioAutorizado = 2;
    nhouse=0;//CASA A
    ndev=1; // DISPOSITIVO 2
    if( nfunc==1)
    {
        PORTDbits.RD4 = 1;
        //PORTDbits.RD4 = 1;
        nfunc=0;
    }

    else
    {
        nfunc=1;
        envioAutorizado = 2;
        PORTDbits.RD4 = 0;
        //PORTDbits.RD4 = 1;
        __delay_us(5);
    }
    testadado ();
}
if (PORTBbits.RB3 == 1)
{
    __delay_ms(1);
    while (PORTBbits.RB3 == 1)
    {
```

```

    __delay_us(30);
}
envioAutorizado = 2;
nhouse=0;//CASA A
ndev=0; // DISPOSITIVO 1
if( nfunc==1)
{
    PORTDbits.RD5 = 1;
    //PORTDbits.RD4 = 1;
    nfunc=0;
}

else
{
    nfunc=1;
    envioAutorizado = 2;
    PORTDbits.RD5 = 0;
    //PORTDbits.RD4 = 1;
    __delay_us(5);
}

testadado ();
}
}
return (EXIT_SUCCESS);
}
void interrupt interrupcoes (void)
{
    PORTBbits.RB1 = 0;
    if (FLAGINT == 1)
    {
        if (envioAutorizado <2 )
        {

```

```
        SendData ();  
    }  
}  
__delay_us(500);  
PORTDbits.RD7 = 0;  
PORTCbits.RC3 = 0;  
PWM1_Set_Duty(OFF);  
  
FLAGINT = 0;  
}
```

APÊNDICE B - FIRMWARE DE RECEPÇÃO

```
#define _XTAL_FREQ 12000000

#define HEADSIZE 4

#define HOUSESIZE 6

#define DEVICESIZE 6

#define FUNCSIZE 6

#define DATASIZE HEADSIZE+HOUSESIZE+DEVICESIZE+FUNCSIZE

#define HOUSEA 26

#define HOUSEB 20

#define DEVICE1 24

#define DEVICE2 12

#define FUNCON 22

#define FUNCOFF 26

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <GenericTypeDefs.h>

#include <xc.h>

#include "interrupcao.h"

#include "recebe.h"

// CONFIG

#pragma config FOSC = HS      // Oscillator Selection bits (HS oscillator)

#pragma config WDTE = OFF     // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled)

#pragma config PWRTE = OFF    // Power-up Timer Enable bit (PWRT disabled)

#pragma config BOREN = OFF    // Brown-out Reset Enable bit (BOR disabled)

#pragma config LVP = OFF      // Low-Voltage (Single-Supply) In-Circuit Serial Programming Enable
bit (RB3 is digital I/O, HV on MCLR must be used for programming)

#pragma config CPD = OFF      // Data EEPROM Memory Code Protection bit (Data EEPROM code
protection off)
```

```
#pragma config WRT = OFF      // Flash Program Memory Write Enable bits (Write protection off; all
program memory may be written to by EECON control)
```

```
#pragma config CP = OFF      // Flash Program Memory Code Protection bit (Code protection off)
```

```
unsigned int envioAutorizado, indice;
```

```
unsigned int X,Y ;
```

```
unsigned int headdata [HEADSIZE] = {1, 1, 1, 0};
```

```
unsigned int housedata [2] [HOUSESIZE] = {{0,1,1,0,1,0}, {0,1,0,1,0,0}};      //HOUSE   A   -
HOUSE B
```

```
unsigned int devicedata [2] [DEVICESTR] = {{0,1,1,0,0,0}, {0,0,1,1,0,0}};      // DEV 1 / DEVI 2
```

```
unsigned int funcdata [2]          [FUNCSIZE] = {{0,1,0,1,1,0}, {0,1,1,0,1,0}}; // ON , OFF
```

```
unsigned int V [DATASIZE];
```

```
unsigned int headr;
```

```
unsigned int houser ;
```

```
unsigned int devr;
```

```
unsigned int funcr;
```

```
unsigned int  headt1;//
```

```
unsigned int  houset[2] = 0;// guarda inteiros house recebidos
```

```
unsigned int  devt[2] = 0; // guarda inteiros house recebidos
```

```
unsigned int  funct[2];// guarda inteiros house recebidos
```

```
unsigned int  indice;
```

```
unsigned int  clock2 = 1;//seta para receber segunda vez
```

```
unsigned int  clock = 0; // controle casa 0 22
```

```
unsigned int  nx = 0; // NUMERO DE VEZES DE RECEBIMENTO DO DADO
```

```
unsigned int  head_ok = 0; // seta - 2 mensagens recebidas são iguais
```

```
unsigned int  RB = 0;
```

```
unsigned int  dec = 0;
```

```
unsigned int  dados_ok = 0;
```

```
void bi_dec () // CONVERTER BINARIO EM DDECIMAL, ECONOMIZAR ESPACO
```

```
{
```

```
switch (clock2)
{
    case 1:
        dec = 0;
        break;
    case 2:
        dec = 16;
        break;
    case 3:
        dec = 8;
        break;
    case 4:
        dec = 4;
        break;
    case 5:
        dec = 2;
        break;
    case 6:
        dec = 0;
        clock2=0;
        break;
}
clock2++;
}
void reset()
{
    houset[0] = 0;// guarda inteiros house recebidos
    devt[0] = 0; // guarda inteiros house recebidos
    funct[0] = 0 ;// guarda inteiros house recebidos
    houset[1] = 0;// guarda inteiros house recebidos
    devt[1] = 0; // guarda inteiros house recebidos
    funct[1] = 0 ;// guarda inteiros house recebidos
    indice =0 ;
```

```

clock = 0; // controle casa 0 22
nx = 0; // NUMERO DE VEZES DE RECEBIMENTO DO DADO
head_ok = 0; // seta - 2 mensagens recebidas são iguais
RB = 0;
bi_dec ();
clock2 = 1;
dados_ok = 0;
}
int main(int argc, char** argv)
{
    TRISBbits.TRISB0 = 1; //interrupcao
    TRISBbits.TRISB1 = 0; //PROGRAMA EXECUTANDO
    TRISBbits.TRISB2 = 0; // INTERRUPCAO ACIONANDO
    TRISCbits.TRISC3 = 0; // CASA A DEVICE 1
    TRISDbits.TRISD0 = 0; // CASA A DEVICE 2
    TRISCbits.TRISC4 = 0; // PROGRAMA EXECUTANDO
    TRISDbits.TRISD2 = 0; // INTERRUPCAO ACIONANDO
    TRISDbits.TRISD3 = 1; // ENTRADA DO FRAME DIGITAL
    PORTDbits.RD0 = 0;
    PORTDbits.RD2 = 0;
    PORTCbits.RC4 = 0;
    PORTCbits.RC3 = 0;
    InitInt ();
while (1)
{
    PORTDbits.RD2 = 0;
    PORTCbits.RC4 = 1;
    if(nx == 2 )
    {
        if (houset[0] == houset[1]) // testa house
        {
            dados_ok++;
        }
    }
}
}

```



```
else
{
    dados_ok = 0;
    reset();
}
if (devt[0] == devt[1] && dados_ok == 1) //TESTA DEV
{
    dados_ok++;
}
else
{
    dados_ok = 0;
    reset();
}
if (funct[0] == funct[1] && dados_ok == 2 ) // TESTA FUNCAO
{
    dados_ok++;
}
else
{
    dados_ok = 0;
    reset();
}
//EXECUTA AS FUNÇÕES NOS DEVICES
if (dados_ok == 3)
{

    if (houset[1] == HOUSEA)
    {
        switch (devt[0])
        {
            case DEVICE1:
                if (funct[0] == FUNCON )
```

```

        {
            PORTCbits.RC3 = 1;
        }
        if (funct[0] == FUNCOFF )
        {

            PORTCbits.RC3 = 0 ;
        }
        break;
//
//

    case DEVICE2:
        if (funct[0] == FUNCON )
        {
            PORTDbits.RD0 = 1;
        }
        else if (funct[0] == FUNCOFF )
        {
            PORTDbits.RD0 = 0;
        }
        break;
    }

}

//FIM DA EXECUÇÃO DAS FUNÇÕES
reset();
}
}

return (EXIT_SUCCESS);
}

```

```

void interrupt interrupcoes (void)

```

```

{
  if (FLAGINT == 1)
  {
    PORTDbits.RD2 = 1;
    PORTCbits.RC4 = 0;

    int i;
    PORTBbits.RB2 = 1;
    PORTBbits.RB1 = 0;
    __delay_us (700);
    if (PORTDbits.RD3 == 1)
    {
      RB =1;
    }

    if(PORTDbits.RD3 == 0 )
    {
      RB = 0;
    }
    if(head_ok ==4) // cabecalho okay comecar a recebe house device e func
    {
      if (RB == 1)
      {
        if (clock>3 && clock<10) // recebe house
        {

          bi_dec ();
          houset[nx]= houset[nx] + dec;
        }
        if (clock>9 && clock<16) // recebe device
        {
          //PORTBbits.RB5 = 1;
          bi_dec ();
        }
      }
    }
  }
}

```

```
        devt[nx] = devt[nx] + dec;
    }
    if (clock>15) //recebe func
    {
        //PORTBbits.RB5 = 1;
        bi_dec ();
        funct[nx] = funct[nx] + dec;
    }

}

else if(clock>3 && clock<23 ) // INCREMENTAR O CLOCK 2 DA FUNCA BI_DEC QUANDO 0
{
    bi_dec();

}

clock++;
}
if (clock==3)
{
    clock++;
    if (RB == 0)
    {

        head_ok++;
    }
    else
    {
        reset();
    }
}

if (clock<3)
```

```
{
    clock++;
    if (RB == 1)
    {

        head_ok++;
    }
    else
    {
        reset();
    }
}

if (clock == DATASIZE) // ZERA CLOCK PRINCIPAL 0 - 22
{

    clock = 0;
    nx++;
    head_ok=0;
}

RB=0;
FLAGINT = 0;
}
```