



FRANCK MORAIS DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA EMBARCADO
PARA CONTROLE DE DISPOSITIVOS ELÉTRICOS
DIRECIONADOS A DOMÓTICA VIA PROTOCOLO X10**

LAVRAS – MG

2019

FRANCK MORAIS DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA CONTROLE DE
DISPOSITIVOS ELÉTRICOS DIRECIONADOS A DOMÓTICA VIA PROTOCOLO
X10**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva
Orientador

LAVRAS – MG

2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por estar sempre cuidando da minha vida e me guiando dia após dia.

A toda a minha Família por sempre estar apoiando em minhas decisões e me dando forças para nunca desistir. Em especial a minha mãe Cleusa, que é o pilar da minha família, sendo mãe e pai desde sempre e para sempre. A ela e meu irmão Patrick, minha avó Francisca e minha tia Maria que estão sempre ao meu lado, juntos somos um, agradecerei por toda a minha vida.

Ao Professor e Orientador Leonardo Silveira Paiva pela dedicação, paciência e orientação para com o desenvolvimento do trabalho, não somente por este trabalho, mas também pela sua disciplina ministrada no curso no qual conheci o conceito de Robótica, e o vi como um dos melhores professores na minha graduação.

A todos os colegas e principalmente aos amigos que tive a satisfação em conhecer e trabalhar junto durante a graduação, que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

Aos orientadores e colegas dos projetos e Núcleo de Estudos em que tive a oportunidade de participar, obter conhecimentos e valores como pessoa e futuro profissional.

A professora Sílvia Costa Ferreira por também acrescentar em meu conhecimento e colaborar para desenvolvimento deste trabalho no esclarecimento de algumas dúvidas.

Ao técnico do Departamento de Engenharia e amigo Bruno Vicentini, por toda colaboração e suporte dado durante toda minha graduação.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade.

MUITO OBRIGADO!

“Foco, Fé, Determinação.” (Mãe)

RESUMO

Devido ao desenvolvimento tecnológico, o conforto, a economia, qualidade de vida e principalmente a segurança em um ambiente residencial vem sendo mais eficazes a cada dia, ainda não se comparado com as tecnologias de ponta presentes em outras áreas tecnológicas, porém estudos e aplicações a este tema estão se ampliando. Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma alternativa de Automação Residencial, utilizando um sistema embarcado de baixo custo, desenvolvendo assim um meio de comunicação com dispositivos elétricos de uma residência via rede elétrica, com base no Protocolo X10. O Controlador é um aplicativo desenvolvido em plataforma Android, que envia seu comando via *Wi-Fi* para o microcontrolador NodeMCU ESP8266 conectado à placa do Transmissor, e um Receptor é ligado ao dispositivo elétrico para executar a função requisitada. Para o contexto, o trabalho detalha as simulações e dimensionamentos dos componentes utilizados no sistema, além de testar cada parte separadamente do projeto. Os resultados foram satisfatórios e a partir daí conclui-se que é válida a utilização deste sistema na prática de Automação Residencial via protocolo X10.

Palavras-Chave: Automação Residencial. Protocolo X10. NodeMCU ESP8266.

ABSTRACT

Due to technological developments, the comfort, economy, quality of life and, mainly, safety in a residential setting has become more efficient each and every day. It still does not compare to cutting edge technology present in other areas, however, studies and applications on this theme have been growing. In this context, this work's goal is to present a Residential Automation alternative, utilizing a low cost embedded system, which communicates with electrical appliances in a home through the power line, based on the X10 Protocol. The controller is an application developed on the Android platform, which sends its commands through Wi-Fi to a NodeMCU ESP8266 microcontroller connected to the transmitter's board. The work goes in detail through the simulations and sizing of the components used in the system, as well as testing each part of the project separately. The results found in this work were satisfactory, which leads to the conclusion that the use of this Residential Automation system via X10 protocol is valid.

Keywords: Residential Automation. X10 Protocol. NodeMCU ESP8266.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CASA INTELIGENTE.	16
FIGURA 2 - ARQUITETURA CENTRALIZADA.	17
FIGURA 3 - ARQUITETURA DESCENTRALIZADA.	18
FIGURA 4 - EXEMPLO DE INSTALAÇÃO DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS.	20
FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO DE UMA REDE ELÉTRICA INTELIGENTE.	21
FIGURA 6 - VALORES GERADOS A IMPLEMENTAÇÃO DA REDE INTELIGENTE.	21
FIGURA 7 - SENSOR MAGNÉTICO.	22
FIGURA 8 - FORMAS DE COMUNICAÇÃO VIA PROTOCOLO MQTT.	25
FIGURA 9 - UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO X10.	27
FIGURA 10 - ENVIO DO BIT 1 E BIT 0 DO SINAL X10.	28
FIGURA 11 - ENVIO DO SINAL DE 120 KHZ EM UMA REDE TRIFÁSICA.	28
FIGURA 12 - ESTRUTURA DE UM PACOTE DA MENSAGEM X10.	29
FIGURA 13 - ROTINA PADRÃO DE TRANSMISSÃO DE PACOTE DO PROTOCOLO X10.	29
FIGURA 14 - CÓDIGOS DO PROTOCOLO X10.	30
FIGURA 15 - EXEMPLO DE TRANSMISSÃO DO COMANDO “A2 ON” NO PROTOCOLO X10.	31
FIGURA 16 - APLICAÇÕES DO PROTOCOLO ZIGBEE.	32
FIGURA 17 - TOPOLOGIAS E COMPONENTES DO PROTOCOLO ZIGBEE.	33
FIGURA 18 - TECNOLOGIA Z-WAVE.	34
FIGURA 19 - MICROCONTROLADOR NODEMCU ESP8266.	38
FIGURA 20 - DISPOSITIVO OPTOACOPLADOR 4N25.	39
FIGURA 21 - CI LM555.	39
FIGURA 22 - CONFIGURAÇÃO ASTÁVEL DO CI LM555.	40
FIGURA 23 – MOMENTOS TIME HIGH E TIME LOW DA ONDA.	41
FIGURA 24 - CIRCUITO DE DETECÇÃO DE PASSAGEM POR ZERO.	42
FIGURA 25 - CIRCUITO ELETRÔNICO DO LM555.	45
FIGURA 26 - MÓDULO RELÉ.	48
FIGURA 27 - FILTRO PASSA-ALTAS.	49
FIGURA 28 - SISTEMA DE FILTRAGEM DO SINAL.	50
FIGURA 29 - CIRCUITO AMPLIFICADOR.	53
FIGURA 30 - NI MULTISIM 12.0.	57
FIGURA 31 - ARDUINO SOFTWARE IDE.	58
FIGURA 32 - ANDROID STUDIO.	58
FIGURA 33 – TELAS DO APLICATIVO CONTROLADOR.	59
FIGURA 34 – TELAS DE CONTROLE.	60
FIGURA 35 - CIRCUITO ELETRÔNICO COMPLETO DO TRANSMISSOR X10.	62
FIGURA 36 - ONDAS GERADAS PELO OSCIOSCÓPIO DO SOFTWARE MULTISIM.	63
FIGURA 37 - CIRCUITO ELETRÔNICO DE DETECÇÃO DE PASSAGEM POR ZERO.	64

FIGURA 38 - RESULTADOS DO CIRCUITO ZERO-CROSSING.....	64
FIGURA 39 - SINAL DE SAÍDA DO LM555.....	65
FIGURA 40 - CIRCUITO ELETRÔNICO DE GERAÇÃO DO SINAL X10	66
FIGURA 41 - RESULTADOS DO CIRCUITO OSCILADOR	67
FIGURA 42 - DURAÇÃO DO SINAL X10	67
FIGURA 43 - ENVIO DO SINAL X10 NA REDE ELÉTRICA.....	68
FIGURA 44 - ENVIO DE COMANDO PARA LÂMPADA 1 DESLIGAR.....	69
FIGURA 45 - ENVIO DE COMANDO PARA LÂMPADA 1 LIGAR.....	69
FIGURA 46 - ENVIO DE COMANDO PARA LÂMPADA 2 DESLIGAR.....	70
FIGURA 47 - ENVIO DE COMANDO PARA LÂMPADA 2 LIGAR.....	70
FIGURA 48 - TRANSMISSÃO DOS DADOS NA REDE ELÉTRICA	71
FIGURA 49 – APLICAÇÃO DA FUNÇÃO “ZOOM” NO SINAL X10 PRESENTE NA REDE ELÉTRICA DE 60 Hz	71
FIGURA 50 - DURAÇÃO DO SINAL DE 120 KHZ NA REDE ELÉTRICA	72
FIGURA 51 - CIRCUITO COMPLETO DO MÓDULO RECEPTOR	72
FIGURA 52 - FILTRAGEM DO SINAL DE 60 HZ.....	73
FIGURA 53 - CIRCUITO DE TRATAMENTO DE FILTRAGEM DO SINAL	74
FIGURA 54 – FILTRAGEM 60 HZ.....	74
FIGURA 55 – FILTRAGEM 120 KHZ	75
FIGURA 56 - SINAL RESULTANTE DO AMPLIFICADOR.....	75
FIGURA 57 - CIRCUITO AMPLIFICADOR	76
FIGURA 58 - RESULTADO DO AMPLIFICADOR EM UM SINAL DE 120 KHZ	76
FIGURA 59 - SAÍDA DOS FILTROS COM EXCITAÇÃO DE SINAL DE 120 KHZ	77
FIGURA 60 – CARACTERÍSTICAS DO SINAL DE 120 KHZ FILTRADO	77
FIGURA 61 – RESULTADOS DA AMPLIFICAÇÃO COM EXCITAÇÃO DO SINAL DE 120 KHZ.....	78
FIGURA 62 - CIRCUITO DE ACIONAMENTO.....	79
FIGURA 63 - MAQUETE DE VALIDAÇÃO DO PROTOCOLO X10	80
QUADRO 1 – QUADRO COMPARATIVO	35

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	Objetivo Geral	13
2.2.	Objetivos Específicos	13
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1.	Automação Residencial	15
3.1.1.	Arquiteturas	16
3.1.2.	Setores da Economia voltados a Automação Residencial	19
3.1.2.1.	Eficiência Energética	19
3.1.2.2.	Redes Inteligentes (<i>Smart Grids</i>)	20
3.1.2.3.	Segurança	22
3.1.2.4.	Praticidade e Conforto	22
3.2.	Protocolos de Comunicação	23
3.2.1.	MQTT	24
3.2.2.	X10	25
3.2.3.	ZigBee	31
3.2.4.	Z-Wave	33
3.3.	Comparativo	35
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1.	Metodologia	37
4.2.	Transmissor X10	38
4.2.1.	Desenvolvimento do Circuito de Detecção de Passagem pelo zero (<i>Zero-Crossing</i>)	41
4.2.1.1.	Dimensionamento dos Componentes do Circuito de Detecção de passagem pelo zero (<i>Zero-Crossing</i>)	42
4.2.2.	Desenvolvimento do Circuito de Geração do Sinal de 120 kHz	45
4.2.2.1.	Dimensionamento dos Componentes do Circuito de Transmissão	46
4.3.	Receptor X10	48
4.3.1.	Desenvolvimento do Circuito de Recebimento do Sinal X10	50
4.3.1.1.	Desenvolvimento dos Filtros	50
4.3.1.1.1.	Dimensionamento dos Componentes dos Filtros Passa-Altas	51
4.3.1.2.	Desenvolvimento do Amplificador	52

4.3.1.2.1.	Dimensionamento do Amplificador	53
4.4.	Desenvolvimento do Aplicativo Controlador	56
4.5.	<i>Softwares</i> Utilizados.....	56
4.5.1.	NI Multisim.....	56
4.5.2.	Arduino <i>Software</i> IDE.....	57
4.5.3.	Android Studio IDE	58
5.	RESULTADOS	59
5.1.	Aplicativo.....	59
5.2.	Módulos Transmissor e Receptor.....	62
5.2.1.	Resultados do Módulo Transmissor.....	62
5.2.1.1.	Resultados de Simulação do Circuito Detector de Passagem por Zero (<i>Zero-Crossing</i>).....	62
5.2.1.2.	Resultados Práticos do Circuito de Detecção de Passagem por Zero (<i>Zero-Crossing</i>).....	63
5.2.1.3.	Resultados de Simulação do Circuito de Geração do Sinal de 120 kHz.....	65
5.2.1.4.	Resultados Práticos do Circuito de Geração do Sinal de 120 kHz	66
5.2.2.	Resultados do Módulo Receptor	72
5.2.2.1.	Resultados de Simulação do Circuito de Filtragem do Sinal.....	73
5.2.2.2.	Resultados Práticos do Circuito de Filtragem do Sinal.....	73
5.2.2.3.	Resultados de Simulação do Circuito de Amplificação do Sinal.....	75
5.2.2.4.	Resultados Práticos do Circuito de Amplificação do Sinal	76
5.2.2.5.	Resultados do Acionamento do Dispositivo Elétrico.....	78
5.3.	Maquete Para Validação	79
6.	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

O termo “Automação” provém do latim *Automatus*, e possui o significado de mover-se por si. Este é um sistema que envolve *hardware* mecânico e *software* computacional e juntos, efetuando medições e operando um dado processo, tem a possibilidade de diminuir o uso da mão-de-obra, diminuir custos, aumentar a velocidade da produção e obter o resultado de um determinado trabalho de forma mais eficiente e sem a necessidade da interferência do homem.

A evolução tecnológica vivenciada nos últimos séculos, assim como o surgimento da máquina a vapor e a descoberta da eletricidade, pode ser considerada como ponto inicial a ideia de automação. No século XVIII, o sistema de produção agrário e artesanal da Inglaterra transformou-se em industrial, e o homem já se envolvia nesta ideia de automação, desenvolvendo uma movimentação automática de materiais a partir da necessidade de aumento na produção e produtividade, e foi a partir de então que este termo começou a se popularizar.

Nas indústrias, na segunda metade ainda do século XVIII, foram onde ocorreram os maiores destaques da automação, com desenvolvimento dos primeiros dispositivos simples e semiautomáticos. E somente no século XX, com a criação do primeiro computador em meados do ano de 1946, e o desenvolvimento da microeletrônica, com o desenvolvimento do primeiro CLP (Controlador Lógico Programável), na década de 60, que os sistemas se tornaram inteiramente automáticos.

As linhas de produção nas indústrias passaram a ter excelentes resultados por meio da automação, porém os custos ficaram mais altos por causa das novas tecnologias. No entanto, desta forma a produtividade e a qualidade do produto aumentaram consideravelmente, o custo dos produtos caíram e as condições de trabalho melhoraram.

Em consequência ao grande crescimento das tecnologias de computadores, avanços na microeletrônica e na revolução por parte dos dispositivos CLPs, tecnologias essas desenvolvidas para os trabalhos de automação industrial, deu-se origem a Automação Residencial.

Buscando segurança, economia e conforto, a automação residencial, conhecida como domótica, passou a ser uma nova área da automação como interesse para estudos, com intuito de integrar eletrônica, computação e robótica ao sistema residencial.

Na década de 70 foi quando ocorreram os primeiros acontecimentos marcantes na área da Automação Residencial, com o lançamento do módulo inteligente chamado X-10, pela *Pico Eletronics*, em Glenrothes na Escócia. Este faria a comunicação entre diversos dispositivos de automação em uma residência via rede elétrica.

E na década de 80, com a popularização dos computadores pessoais (*PCs*), estes passaram a ser considerados como a central da automação em uma residência. Uma desvantagem encontrada era a necessidade de este computador ter de ser mantido ligado o tempo todo, e conseqüentemente o consumo de energia seria enorme. Outra desvantagem era que qualquer falha ou desligamento nesta central comprometeria o funcionamento de todos os dispositivos programados juntamente a este sistema.

Vários dispositivos e tecnologias a partir de então foram desenvolvidos para serem incluídos ao sistema de Automação Residencial, desde os controles remotos programáveis infravermelhos da década de 80, até os sensores mais sofisticados que existem hoje em dia. Como exemplo se tem os sensores de presença, leitores digitais, sensores de temperatura e vários outros dispositivos e componentes que se adéquam ao sistema residencial.

Para nomear residências que empregam serviços automatizados, foi adotado o termo domótica. Tecnicamente falando, uma rede domótica pode ser caracterizada como um conjunto de serviços diretamente conectados que são responsáveis por realizar tarefas de gerenciamento e atuação na área residencial (MARIOTONI, 2002).

Com o surgimento da domótica, logo se gerou uma tecnologia para agregar este sistema, a Internet das coisas (*IoT - Internet of Things*), que nada mais é que uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia (quaisquer que sejam), mas com a capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet (SANTOS, 2017).

Este conceito de IoT, nasceu em 1999 e foi proposto por Kevin Ashton em um projeto no campo de identificação de frequências de rádio em rede (RFID). Porém, em 2003 a empresa *Cisco Internet Business Solutions Group* (IBSG) dá um novo significado ao termo e afirma que a IoT é o momento exato em que foram conectados à Internet mais “coisas ou objetos” do que pessoas (EVANS, 2011).

Portanto, alinhando estes conceitos e em vista que a área de Tecnologia e Informação no Brasil está em pleno crescimento, empresas e seus setores dependem integralmente de sistemas de computadores para seu desenvolvimento e aumento de produtividade com precisão e segurança. E com este crescimento de estudos nesta

área, a aplicação de melhores tecnologias voltadas à área de Automação Residencial é indispensável, por exemplo, com a internet é possível que um usuário controle e monitore sua residência de qualquer lugar que disponha do serviço de internet, gerando praticidade e segurança.

2. OBJETIVOS

As inovações tecnológicas, principalmente na área da robótica e automação, estão transformando todos os setores da economia. Setores como praticidade, segurança, energia, conforto e preço.

A partir de todas as desvantagens observadas na história da automação residencial, sobre manter uma única central responsável para um sistema de automação e as falhas que podem ocorrer quanto a isso, parte-se para o desenvolvimento de dispositivos dedicados, ou seja, dispositivos embarcados, por meio da utilização de microprocessadores e microcontroladores, retirando a responsabilidade total de um único PC.

2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é colocar em prova, analisar e avaliar o protocolo X10 quanto a sua funcionalidade frente a praticidade, segurança e confiabilidade no controle de dispositivos elétricos em uma residência, visando conceitos de domótica.

Para isso, foi desenvolvido um protótipo embarcado de um sistema de Automação Residencial com intuito de controlar dispositivos elétricos da residência, cuja comunicação entre os dispositivos é feito via rede elétrica da mesma, a partir de comandos enviados utilizando a rede *Wi-Fi*.

Como dito, o sistema é baseado no Protocolo IEEE 802.11 (*Wi-Fi*) para envio de comandos para o transmissor no sistema, e a comunicação entre o transmissor X10, que está em um ponto da rede elétrica, e o receptor X10 que está em cada dispositivo a ser controlado, é utilizando o protocolo X10.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o projeto especificado, os seguintes objetivos foram estipulados.

- a) Realizar pesquisas sobre Protocolos de Comunicação Residencial;
- b) Prototipagem e desenvolvimento em termos de *hardware*.
 - Definir materiais a serem utilizados para construção do protótipo para validação.

- Definir componentes eletrônicos a serem utilizados para o *hardware* do sistema.
- c) Desenvolvimento de esquemáticos eletrônicos do *hardware* para o transmissor X10 e o receptor X10.
- d) Dimensionar os componentes.
- e) Desenvolver protótipos dos circuitos eletrônicos responsáveis pelas atividades de envio e recebimento de sinal na comunicação X10.
- f) Montar a maquete de testes e demonstração do sistema.
- g) Implementar aplicativo de gerenciamento do sistema.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste trabalho, é necessário entender o que são protocolos de comunicação, e quais suas utilidades quando aplicados à Automação Residencial. E nesta seção serão apresentados alguns conceitos sobre a Domótica e alguns tipos de protocolos existentes, para compará-los ao escolhido para este trabalho.

3.1. Automação Residencial

Quando se faz uso da tecnologia para tornar determinadas tarefas em uma residência automáticas (o que inclui residências, condomínios, hotéis, dentre outros estabelecimentos de porte menor que o considerado como uma indústria), a fim de otimizar ou facilitar essas tarefas e assim resultar em conforto, praticidade, segurança ou economia para quem ali vive, se trata de Automação Residencial.

O termo Automação Residencial designa e referencia a utilização de processos automatizados em casas, apartamentos e escritórios. Podem-se utilizar outras denominações sinônimas, tais como, automação doméstica ou domótica (TEZA, 2002). De forma geral a automação residencial baseia-se na integração entre dispositivos eletrônicos relacionados à comunicação, transmissão de dados, iluminação, climatização, segurança, áudio e vídeo, interligados entre si por meio de uma rede de comunicação (SALES, 2018.).

Segundo BOLZANI (2007), a domótica tem demonstrado que a integração de dispositivos eletroeletrônicos e eletromecânicos aumentam consideravelmente os benefícios, se comparados com os sistemas isolados, de eficiência limitada. É também uma aliada na redução do consumo de recursos como água e energia elétrica, além de trazer maior conforto e segurança aos usuários.

De acordo com a necessidade dos usuários de cada residência, existe a possibilidade de diversos meios para automatizar seu lar. Alguns exemplos são: controlar o a intensidade das luzes da casa ou simplesmente ligá-las e desligá-las, controle de gás com sensores e exaustores, controle de temperatura com ventiladores ou ar condicionado, controle de ruídos, segurança da casa com câmeras e alarmes, sempre com a utilização dos sensores e atuadores descritos anteriormente.

A Figura 1 ilustra algumas possibilidades para Automação Residencial.

Figura 1 - Casa Inteligente.



Fonte: Guia do Home Theater (2001).

3.1.1. Arquiteturas

Sistemas de automação de habitações, sendo elas de pequeno porte ou grande porte tais como residências para o primeiro e centros comerciais ou hotéis para o seguinte, necessitam de melhorias na forma de interação da comunicação entre os dispositivos.

Segundo FERREIRA (2008), os requisitos, a complexidade e o tipo de arquiteturas inerentes a estas duas situações são diferentes, mas em ambos os casos é óbvia a necessidade de comunicação entre sensores e os respectivos atuadores. Para isso utilizam-se barramentos de comunicação de dados, com várias semelhanças das já bastante disseminadas, redes de campo (utilizadas no domínio da automação industrial).

A Arquitetura de Automação Residencial é relacionada a forma com que estes dispositivos vão se comunicar, sendo mais voltada ao modelo das conexões dos elementos da Automação a ser montada.

FERREIRA (2008) também disserta que a classificação da arquitetura dos sistemas de automação é feita com base no local onde se encontra a “inteligência” do sistema domótico, dispondo de uma **Arquitetura Centralizada** ou uma **Arquitetura Descentralizada**.

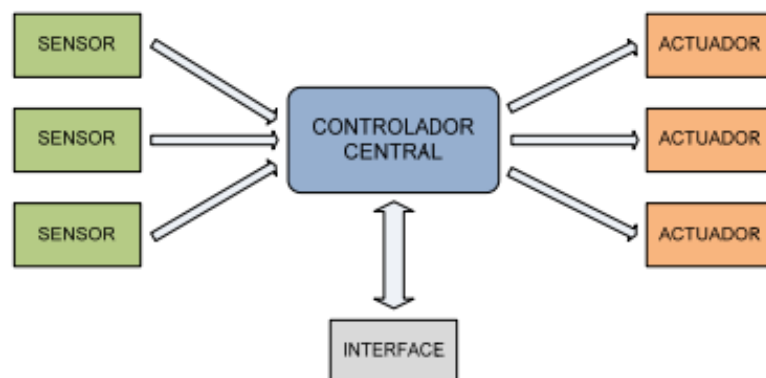
A Automação com Arquitetura Centralizada consiste nos sistemas em que tudo é comandado por um controlador central instalado num ponto da residência. Dessa forma, toda a fiação parte desse ponto central e chega a cada dispositivo distribuído

pela casa, formando os “caminhos de transmissão de sinal”. Qualquer bloqueio nesses caminhos pode gerar complicações caras em termos de materiais e configuração, pois o sistema é dependente deste comando que parte de um único controlador (ALFATEL, 2019).

Ou seja, neste sistema domótico anteriormente descrito, quando inserido um determinado programa no controlador, todos os sensores da residência vão enviar seus sinais para este controlador, e este tratará os sinais da forma na qual foi designado pelo programa inserido. Por fim, as funções a serem executadas por cada dispositivo da residência serão enviadas do controlador para seus atuadores e assim executadas. E para que um usuário consiga observar e se comunicar com o controlador, pode ser colocado ao controlador algum tipo de interface, seja ela por dispositivos mecânicos ou interface digital.

A Figura 2 ilustra como é a montagem do sistema de Automação com Arquitetura Centralizada.

Figura 2 - Arquitetura Centralizada.



Fonte: Ferreira (2008).

A Arquitetura Centralizada, normalmente é implementada na casa inteira de uma vez, por isso, comumente o cliente precisa adquirir o pacote completo que, quase sempre, é padrão (ALFATEL, 2019).

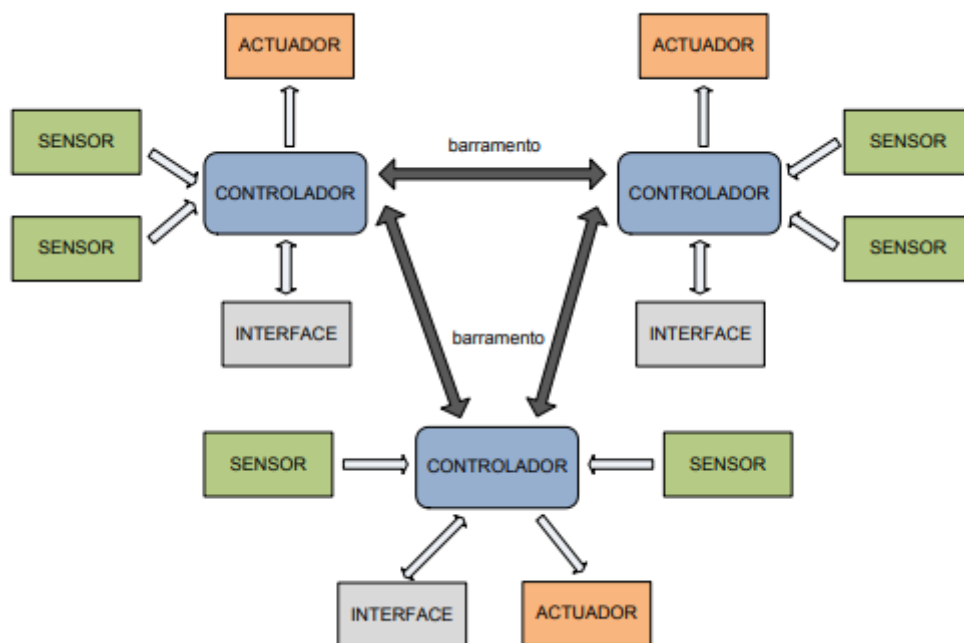
Já na Automação com Arquitetura Descentralizada, cada dispositivo possui inteligência para controlar ou ser controlado por outro dispositivo sem nenhum sistema complicado. Nesse tipo de Automação, o sistema distribui pela casa os atuadores, sensores e controladores de forma autônoma. Eles são interligados por uma rede de comunicação, mas não dependentes entre si. Não há um “computador central”

que comanda todo o sistema, pelo qual se origina cada sinal de transmissão para cada dispositivo (ALFATEL, 2019).

Numa arquitetura Descentralizada, ao contrário da arquitetura Centralizada, existem vários controladores distribuídos (cada um com os seus sensores e atuadores locais), interligados entre si por um barramento de dados para trocarem informação.

A Figura 3 ilustra o formato do sistema de Automação com Arquitetura Descentralizada.

Figura 3 - Arquitetura Descentralizada.



Fonte: Ferreira (2008).

Por não haver um “computador central”, isso faz com que haja possibilidade de controle por outros ambientes, sem a necessidade de passagem de cabos adicionais, permite instalações modulares (não é preciso aplicar o sistema na casa inteira de uma vez), torna a instalação mais econômica, deixa o sistema mais confiável, pois se houver falha em um componente, não causará pane em todos os demais e aumenta e melhora as possibilidades de customização do serviço prestado (ALFATEL, 2019).

3.1.2. Setores da Economia voltados a Automação Residencial

3.1.2.1. Eficiência Energética

Atualmente, a energia elétrica é muito importante por proporcionar bem estar, segurança e conforto. A elétrica permite o funcionamento de toda tecnologia existente como, por exemplo, em produções industriais, aeroportos, sistemas de telecomunicações, residências e sistemas eletrônicos, portanto, impossível seria imaginar a vida humana sem energia elétrica.

Em tempos de crise e de alta nas tarifas de energia elétrica, a palavra economia é utilizada para todos. E quando se pensa em economizar energia não necessariamente precisa desligar a televisão ou o aparelho de ar-condicionado, mas sim usar a tecnologia para isso (MATHIAS, 2019).

E nesse contexto que a automação residencial tem sido inserida, não apenas pela comodidade e sofisticação, mas também pela grande eficiência na economia de energia elétrica. Suas funções, independentes entre si, vão desde os sistemas de iluminação ao ar-condicionado, áudio, vídeo, irrigação de jardim, aspiração central, bombas de água e alarme de incêndio, entre outros, visando a redução do trabalho doméstico, a interação dos usuários à distância e a redução de custos por meio do uso racional dos recursos (MATHIAS, 2019).

A eficiência de energia é quando se proporciona uma melhor utilização dos recursos da energia elétrica na residência, resultando em uma queda de custos pagos às companhias de geração de energia, como por exemplo, a utilização de *dimmers* para controle de intensidade luz ou potência de um ventilador. Uma alternativa existente para auxílio na utilização de energia na residência é utilizando o efeito fotovoltaico, por meio dos painéis fotovoltaicos, no qual é possível gerar energia e utilizá-las para fins domésticos a partir da absorção da energia solar em placas. Estes painéis são modificados quimicamente, fazendo com que ao receber luz solar, estes captam a energia elétrica e posteriormente sirva como um gerador de energia.

Segundo MORAES (2014) a fonte de energia renovável é uma forma simples, prática, acessível, limpa e inesgotável de produzir energia. Além disso, talvez o maior ganho seja não prejudicar a natureza e o meio ambiente, que já sofre atualmente a terrível devastação causada pelo homem.

A Figura 4 ilustra como é uma montagem de painéis elétricos para captura de energia e processo fotovoltaico.

Figura 4 - Exemplo de instalação das placas fotovoltaicas.



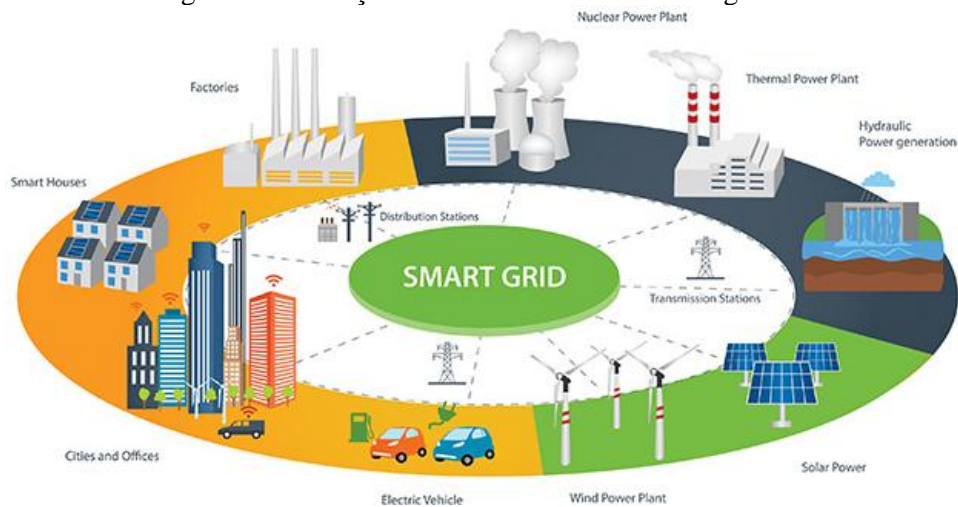
Fonte: Kisoltec – Aquecedor Solar.

3.1.2.2. Redes Elétricas Inteligentes – *Smart Grids*

A CEMIG (2019) descreve sobre Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*) como uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica, mais segura e inteligente, que integra e possibilita ações a todos os usuários a ela conectados. E neste conceito, o fluxo de energia elétrica e de informações se dá de forma bidirecional. Assim, a energia tradicionalmente gerada, transmitida e distribuída de forma radial a partir de instalações das concessionárias poderá, também, ser gerada e integrada às redes elétricas a partir de unidades consumidoras.

A Figura 5 ilustra uma ideia dessa rede para nova eficiência de energia.

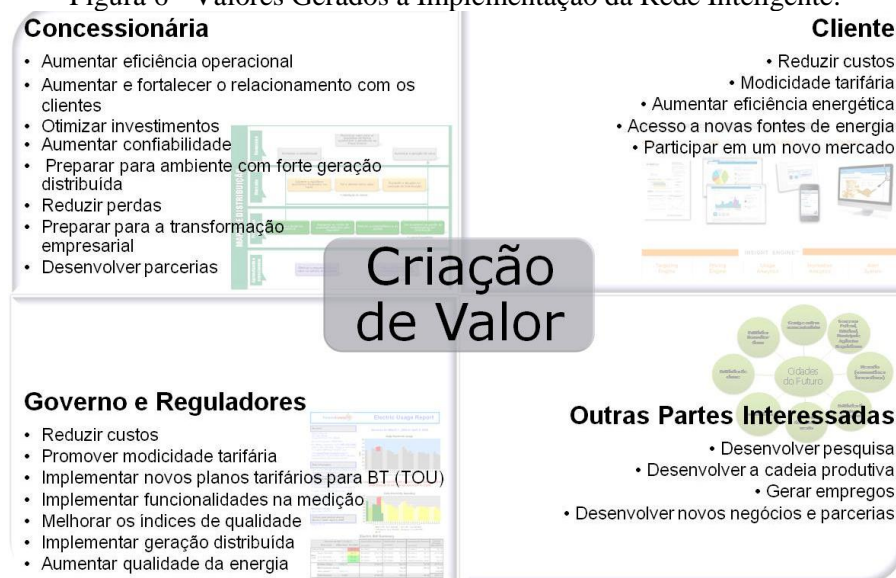
Figura 5 - Ilustração de uma Rede Elétrica Inteligente



Fonte: eolas (MAGAZINE, 2019).

Ou seja, a implementação dessa rede unificada traz valores para todos os envolvidos, porque ela traz valores para os setores, principalmente aos consumidores, onde este consegue gerar sua própria energia e devolver o que não for utilizado a rede. O consumo de energia será menor, as perdas nas linhas de transmissão serão menores por haver um melhor controle do que será transmitido, e a gestão será melhor, mais eficiente, com os sensores nas redes haverá total controle do que está sendo gerado e consumido. Portanto, esta arquitetura é um caminho adequado visando eficiência de energia e valorização do meio ambiente. A Figura 6 a seguir, traz pela CEMIG (2019) os valores criados, para cada parte integrada a rede.

Figura 6 - Valores Gerados a Implementação da Rede Inteligente.



Fonte: CEMIG (2019).

3.1.2.3. Segurança

O objetivo de se ter segurança é manter-se seguro contra riscos que possam causar danos a sua integridade moral e física.

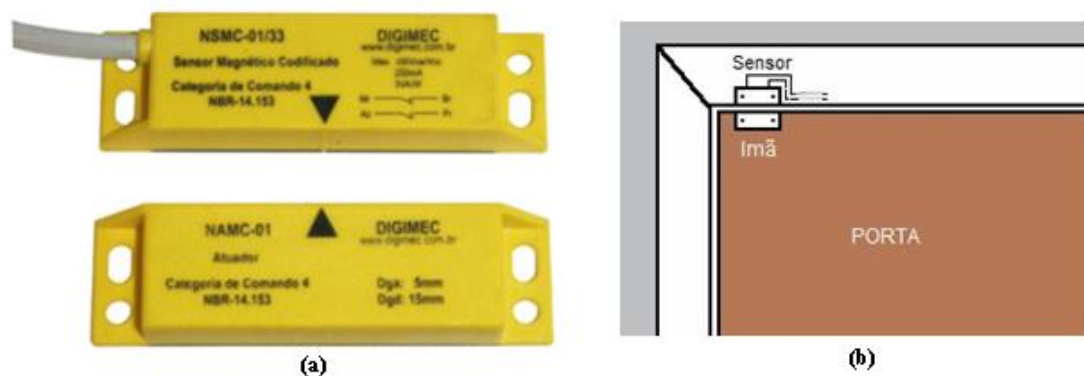
A NEOCONTROL (2019) acredita que o segmento de soluções inteligentes mais bem sucedido no Brasil – com crescimento anual de 8% - é o de sistema de segurança residencial. Devido ao custo baixo de entrada e instalação fácil. Os consumidores se tornaram rapidamente maduros às novas tecnologias. Hoje, muitos daqueles que começaram de forma autônoma com câmeras e alarmes simples, buscam sistemas preventivos avançados.

Atualmente, o que mais se tem visto na maioria das residências em questão de segurança são os alarmes. Estes são usados juntamente com alguns sensores de segurança, para que quando um destes sensores for ativado, o alarme seja acionado, sendo este último uma sirene por exemplo. Existem vários tipos de sensores utilizados como segurança na residência, como por exemplo, sensores de presença e chaves magnéticas utilizadas em portas e janelas.

A Figura 7 ilustra o sensor do tipo chave magnética e um exemplo de como ele pode ser usado.

Figura 7 - Sensor Magnético

Sensor (a), Exemplo de Utilização (b)



Fonte: ELETROESTE – Tecnologia e Automação (2014)

3.1.2.4. Praticidade e Conforto

Quando se pensa em praticidade na Automação Residencial, logo se imagina em apagar e acender luzes por um aplicativo no celular, ou até mesmo bater palmas para que elas se acendam ou apaguem, e isso não deixa de estar correto, isso é prático. Mas não só as luzes, como controlar todos os dispositivos da residência de uma

maneira mais simples, e de certa forma, ter o controle de tudo que é feito na residência, observando os gastos de energia em um computador em tempo real e sendo econômico, se torna também prático. E com toda essa praticidade de se ter o controle de toda a residência de forma simples, traz consigo conforto, eficiência e segurança.

Segundo LACERDA (2018), as soluções mais viáveis a praticidade da automação na luz, são os interruptores inteligentes. Pois além de possibilitar o comando local, possui suporte para ser acionado remotamente e programado de diversas formas, oferecendo inúmeros benefícios em termos energéticos e qualidade de iluminação (apud FERREIRA, 2018, p.13).

Alguns outros exemplos de algo prático em uma residência automatizada voltada para o conforto da família é no ligar do ar condicionado para controle de temperatura do ambiente, na irrigação do jardim, no controle de áudio e multimídia para os quem gosta de músicas e filmes. Tudo isso ajuda as pessoas a ganharem tempo com bem-estar. Por fim, com o uso da IoT (Internet das coisas) atualmente, também é possível até mesmo programar o GPS do celular ou do carro para que, ao se aproximar de sua residência, a garagem se abra caso esteja de carro, o ar condicionado da residência seja ligado e prepare o ambiente na temperatura pré programada a desejo do morador e a cafeteira prepare um bom café.

3.2. Protocolos de Comunicação

Segundo MARIOTONI (2002), as atuais pesquisas na área da Domótica se concentram, em sua maioria, na rede de comunicação entre os sensores e atuadores, e principalmente nos protocolos utilizados nessa comunicação, e também nos sistemas de gerenciamento e otimização do uso e aproveitamento de recursos. A arquitetura de tais sistemas geralmente é dedicada e centralizada.

Os protocolos são a parte essencial para o funcionamento da automação residencial. Defini-se como o conjunto de regras ou padrões estabelecidos para a troca de dados entre camadas de dispositivos e centrais de automação, seu desenvolvimento permitiu um avanço inestimável para a consolidação da Domótica mundialmente (NEOCONTROL, 2019).

Ou seja, os protocolos tratam de como os sinais serão enviados de um dispositivo para outro, a fim de realizar uma ação final, como acender ou desligar as luzes de uma residência, por exemplo.

Neste contexto, o papel do engenheiro é determinar, a partir da necessidade do cliente, qual protocolo é mais adequado para se utilizar em cada tipo de Automação aplicada. Compreender as diferenças entre os tipos de protocolos é essencial para a escolha dos dispositivos a serem instalados, pois cada protocolo tem seus pontos positivos e seus pontos negativos dependendo da aplicação. E dentre vários protocolos utilizados mundialmente, foi feita uma pesquisa dos principais protocolos de comunicação para Automação Residencial.

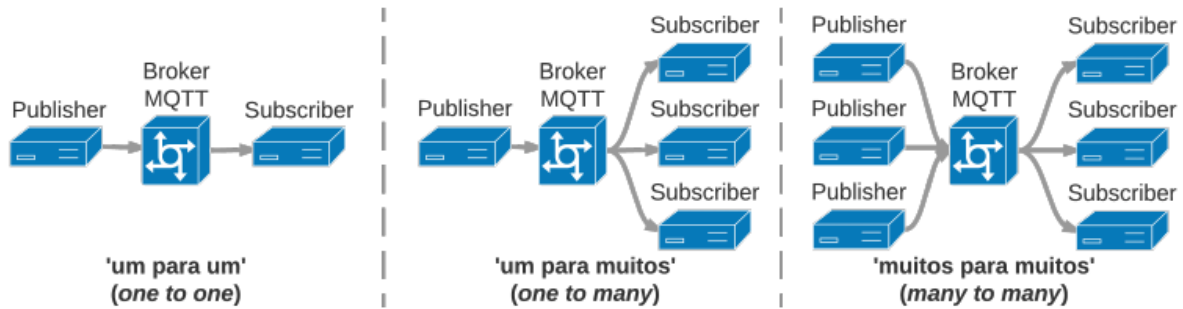
3.2.1. MQTT

O protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), tornou-se um protocolo padrão para comunicações de IoT. Ele foi criado e desenvolvido inicialmente pela IBM no final dos anos 90, e em 2013 o protocolo foi padronizado pelo OASIS. Este é um protocolo de mensagem com suporte para a comunicação assíncrona entre as partes. Ou seja, um protocolo de sistema de mensagens que desacopla o emissor e o receptor da mensagem tanto no espaço quanto no tempo e, portanto, bastante usado em ambientes de rede que não são confiáveis (YUAN, 2017).

O protocolo MQTT adota o Protocolo de Controle de Transmissão (*Transmission Control Protocol - TCP*), e o padrão *Publisher/Subscriber* (publicador/assinante), onde todos os dados são enviados para um intermediário, chamado *broker*, que se encarrega de enviar as mensagens aos destinatários corretos. Esta estrutura permite desacoplar o produtor do cliente, como dito anteriormente, assim, apenas o endereço do *broker*, precisa ser conhecido, possibilitando a comunicação de **um para um** (*one-to-one*), **um para muitos** (*one-to-many*) ou **muitos para muitos** (*many-to-many*) (TORRES, 2016).

A Figura 8 ilustra os tipos de comunicação e as formas de distribuição das mensagens pelo protocolo MQTT.

Figura 8 - Formas de comunicação via protocolo MQTT.



Fonte: TORRES (2016).

De modo simples, há dois tipos de entidades na rede deste protocolo, um *broker* e os clientes. O *broker* é um servidor, e este recebe todas as mensagens dos clientes e, em seguida, roteia essas mensagens para os clientes de destino. Os clientes são qualquer um que possa interagir com o *broker* e receber mensagens, ele pode ser um aplicativo, sensores de IoT ou controladores.

Ou seja, a utilização do protocolo MQTT para uso na IoT tem suas vantagens se comparado a alguns protocolos de rede. Um protocolo com mensagens assíncronas é mais adequado para aplicativos de IoT se comparado a um protocolo síncrono, onde o cliente espera que o servidor responda, pois os sensores podem enviar leituras e permitir que a rede encontre o caminho e a sincronização mais adequada para entregar aos dispositivos destinatários. Uma desvantagem de um protocolo ser síncrono, é que hoje em dia, há um grande número de dispositivos conectados à rede, onde ela muitas vezes não é confiável e tem alta latência, e todas essas conexões acessando de uma só vez a rede e ter que aguardar uma resposta, haverá alta latência, e este atraso será imensurável na progressão de atividades na rede (YUAN, 2017).

3.2.2. X10

O protocolo X10 é um protocolo de comunicação para efetuar o controle remoto de dispositivos elétricos, utilizado principalmente para Automação Residencial. Este foi projetado para comunicação entre Transmissores X10 e Receptores X10 usando a linha da rede elétrica interna na residência para o controle dos dispositivos.

Em 1970, um grupo de engenheiros criou uma empresa chamada Pico Electronics, em Glenrothes, na Escócia. A empresa revolucionou a indústria de

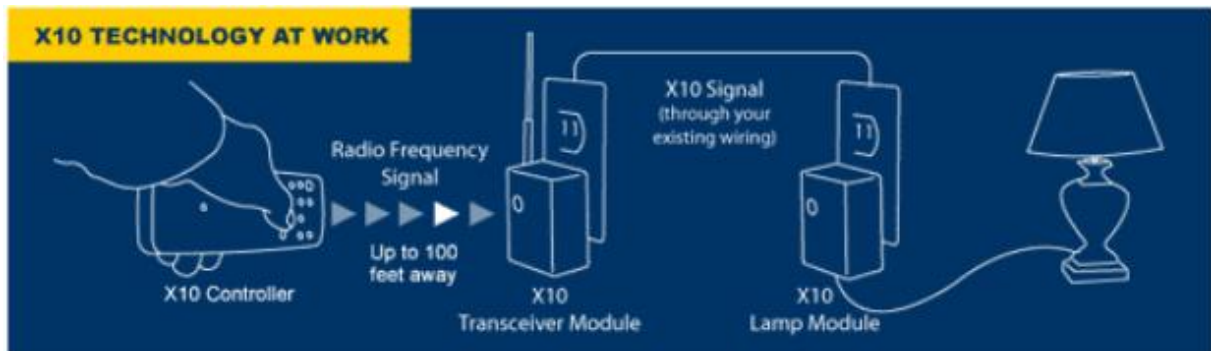
calculadoras desenvolvendo a primeira calculadora de chip único, onde naquela época as calculadoras usavam pelo menos 5 chips, conhecidos como Circuitos Integrados (CIs). Em 1974, os Engenheiros da Pico Eletronics desenvolveram um gravador de discos que selecionaria faixas em um LP de vinil comum, em conjunto com a empresa BSR, que na época era a maior fabricante mundial de gravadores de disco. A ideia de controlar remotamente as luzes e aparelhos surgiu em 1975, a partir de um sistema que podia ser operado por controle remoto baseado em um dispositivo Pico desenvolvido usando sinais ultrassônicos, e daí surgiu o projeto X10, conceito no qual usava fiação CA existente para transmitir sinais para controlar luzes e aparelhos. Esse nome deu-se por ser o décimo projeto em que a empresa Pico havia trabalhado, sendo que os 8 primeiros eram projetos diferentes de CI de calculadora, e o projeto 9 foi o sistema controlado por sinais ultrassônicos, no qual chamava-se Accutrac (JUNIOR, 2018).

Nos anos 90, a BSR fechou e o grupo de desenvolvimento original comprou a tecnologia, retirou o nome BSR e colocou o nome que é conhecido até hoje, **X-10**. Atualmente **X-10** é tanto o padrão quanto a fábrica. Eles produzem dispositivos com seu próprio nome e produtos compatíveis com o padrão X-10 para muitas outras companhias (TRINDADE, 1997).

O funcionamento deste protocolo acontece primeiramente com a instalação dos módulos Transmissores e Receptores, que são usualmente colocados no lugar de tomadas e interruptores. Os Transmissores enviam comandos simples, tais como “*turn on*” ou “*turn off*” precedidos pela identificação do receptor a ser controlado. E os Receptores possuem uma identificação e reage apenas aos comandos endereçados a ele (TRINDADE, 1997).

Na imagem a seguir, Figura 9, é ilustrada a utilização do protocolo X10, no qual o controle da luz do abajur é feito por um sinal enviado via Rádio Frequência de um controle remoto, sinal este enviado para o Transmissor X10. O Transmissor X10, conectado a rede elétrica recebe o comando do controle remoto, e envia um sinal, via rede elétrica, para o endereço do Receptor X10.

Figura 9 - Utilização do Protocolo X10.



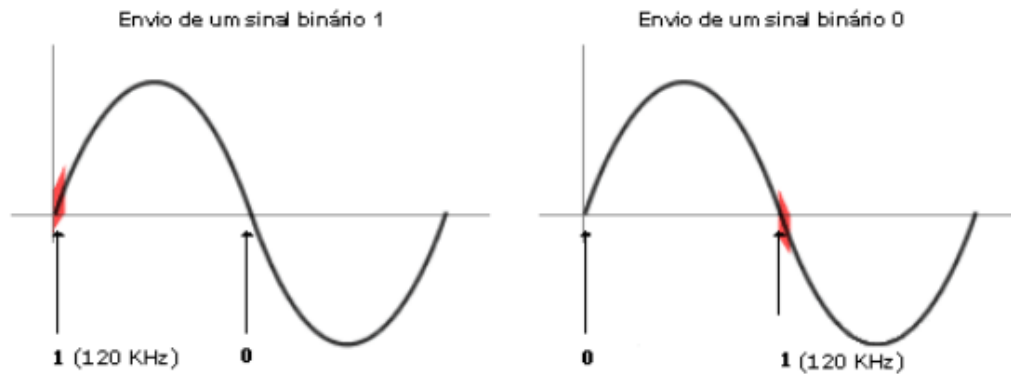
Fonte: Victorhugo Raso (2014).

Segundo CHUNDURU & SUBRAMANIAN (2006), a fiação elétrica doméstica é usada para enviar os dados digitais entre os dispositivos X10, e estes dados digitais são codificados em um sinal com frequência de 120 kHz que é transmitida como rajadas (*bursts*), com duração de 1 ms, durante os cruzamentos pelo zero (*zero-crossing*) da rede de 50 Hz ou 60 Hz. Um bit é transmitido em cada cruzamento da onda de tensão alternada pelo zero. E os dados digitais consistem em um endereço e um comando enviado de um controlador para um dispositivo controlado.

O valor do bit **1** corresponde a presença do sinal de 120 kHz e o valor do bit **0** corresponde à ausência desse sinal. Dado que o meio de distribuição de energia é muito ruidoso eletricamente, foi adotada uma política em que um bit nunca é enviado isoladamente, sendo sempre enviado o bit e o seu complemento. Isto significa na prática que, sempre que se pretende enviar o bit **1** isso corresponde a enviar um **1** (120 kHz) seguido de um **0** (ausência de sinal). O envio do bit **0** corresponde a enviar um **0** (ausência de sinal) seguido de um bit **1** (120 kHz). Visando desta forma, minimizar a probabilidade do ruído elétrico poder ser confundido com um sinal válido. Contudo, esse procedimento reduz o ritmo de transmissão, que fica desta forma, restrito a 50 bps (é enviado um bit por cada ciclo) (TRINDADE, 1997).

Na Figura 10 é ilustrado o momento de envio do sinal X10.

Figura 10 - Envio do bit 1 e bit 0 do sinal X10.

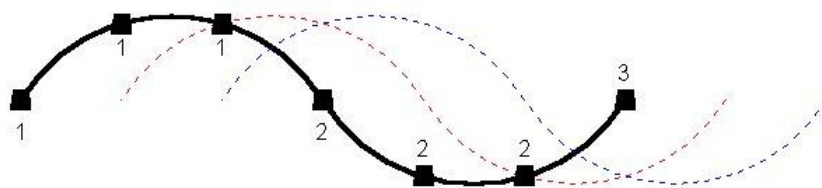


Fonte: Victorhugo Raso (2014)

Caso seja necessário aplicar essa tecnologia em instalações elétricas trifásicas, também é possível, NUNES (2018) descreve que as *bursts* de 120 kHz são emitidas três vezes em cada ciclo, em instantes que coincidem com a passagem por zero da tensão de cada um das fases. Deste modo, e recorrendo a acopladores próprios, torna-se possível comunicar com qualquer dispositivo, independentemente da fase em que esteja instalado.

A Figura 11 ilustra a situação dos envios de sinais de 120 kHz em um sinal de rede elétrica trifásico.

Figura 11 - Envio do sinal de 120 kHz em uma rede trifásica.



Fonte: TRINDADE (1997).

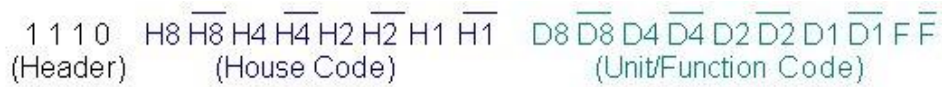
A transmissão de dados deste protocolo segue uma série de informações padrão para qual função se deseja executar na residência. Segundo CHUNDURU & SUBRAMANIAN (2006), uma mensagem completa do protocolo X10 é composta por um código de início (*Start Signal* – 1 1 1 0), logo em seguida se tem um código da residência (*House code*), e por último segue um código do dispositivo/função (*Unit/funct. – code*).

A transmissão de um grupo de comando X10 engloba a transmissão de quatro campos que “ocupam” 11 ciclos da onda senoidal da tensão elétrica da rede. O

primeiro campo (2 ciclos) representando o *Start Signal* ou *Start Code* – sequência de bits (1 1 1 0). A sequência de bits do campo *Start Code* é exatamente a indicada, não se verificando a regra de cada bit ser seguido pelo seu complemento. O campo seguinte, representado em 4 ciclos, representa o código da casa, *House code*, e seus respectivos complementos. De igual forma seguem-se mais 4 bits, que ocupam mais 4 ciclos, que representa o código do aparelho ou o código da função. Para distinguir este último campo é enviado um último bit (e respectivo complemento) que identifica se o campo anterior se refere ao número de um dispositivo (bit = 0) ou ao código de uma função (bit = 1). Cada pacote completo deve ser enviado em dois grupos (o primeiro a indicar o aparelho e o segundo a função a ser executada) com, no máximo, três ciclos da onda alternada senoidal entre cada grupo (CENTRAL CASA, 2013).

A Figura 12 mostra como os bits são divididos para transmissão, sendo mostrado apenas um pacote completo da estrutura da mensagem.

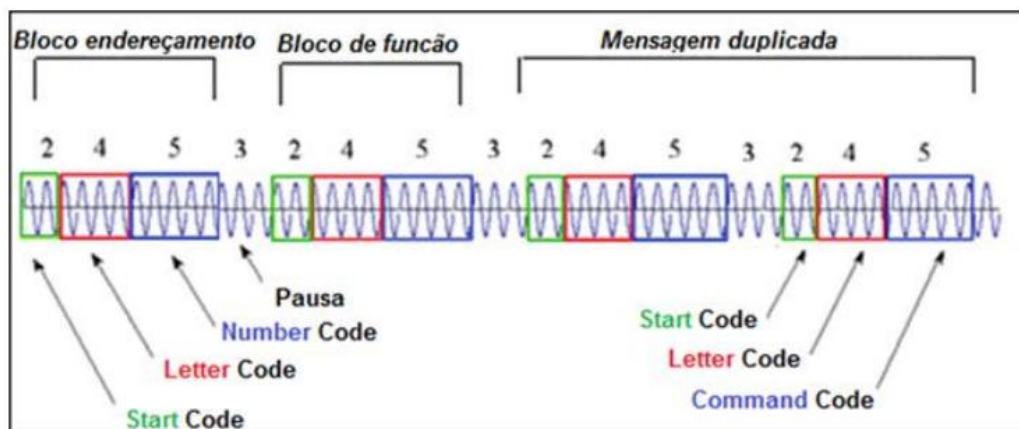
Figura 12 - Estrutura de um pacote da mensagem X10.



Fonte: TRINDADE (1997)

A rotina padrão de transmissão no protocolo X10 pode ser vista na imagem a seguir, Figura 13, no qual é mostrado o envio completo de um pacote para comando de um dispositivo. Alguns autores reconhecem o código da casa como *Letter Code*, e o código do aparelho/função de *Number Code* como na imagem a seguir.

Figura 13 - Rotina padrão de transmissão de pacote do protocolo X10.



Fonte: Adaptado por TAVARES (2014) de SCIENCEPROG (2007)

Segundo TRINDADE (1997), e a partir da Figura 13, observa-se que a transmissão total leva 88 bits e 53 ciclos (44 ciclos mais 9 pausas), ou seja, para uma frequência de 60 Hz da alimentação AC, essa transmissão leva 0,883 segundos. Considerando a rede elétrica com frequência de 60 Hz da alimentação AC, a divisão de 53 ciclos por 60 Hz equivale ao resultado dado de 0,883 segundos.

Este protocolo implementa um sistema simples de endereçamento constituído por duas partes: código de endereçamento/casa (*house/letter code*) que é composto por letras de A a P (16 posições) e código de unidade (*unit code*), que contém também 16 posições possíveis de 1 a 16. Assim é possível ter no sistema até 256 dispositivos (16 códigos de endereçamento/casa x 16 códigos de dispositivo) (NUNES, 2009).

A Figura 14 apresenta os códigos padrão para o protocolo.

Figura 14 - Códigos do protocolo X10.

<i>House Codes</i>					D8	D4	D2	D1	F
	H8	H4	H2	H1					
A	0	1	1	0	1	0	1	0	0
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1
I	0	1	1	1	9	0	1	1	0
J	1	1	1	1	10	1	1	1	0
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0
All Units Off						0	0	0	0
All Units On						0	0	0	1
On						0	0	1	0
Off						0	0	1	1
Dim						0	1	0	0
Bright						0	1	0	1
All Lights Off						0	1	1	0
Extended Code						0	1	1	1
Hail Request						1	0	0	0
Hail Acknowledge						1	0	0	1
Pre-Set Dim						1	0	1	X
Extended Data						1	1	0	0
Status is On						1	1	0	1
Status is Off						1	1	1	0
Status Request						1	1	1	1

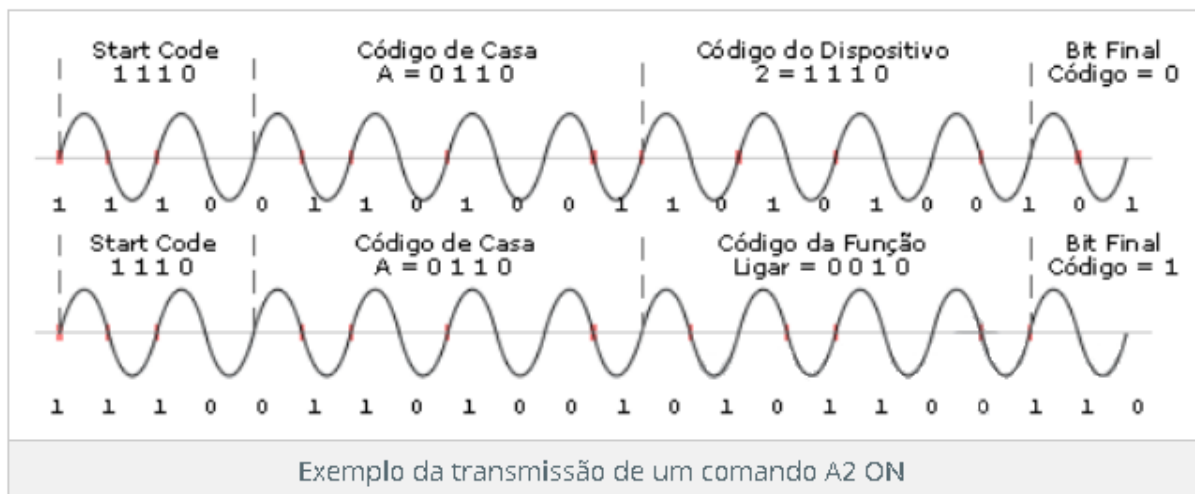
Fonte: TRINDADE (1997).

O módulo receptor X10 filtra na linha de transmissão (rede elétrica) o sinal de 120 kHz em uma janela destinada ao protocolo, para obter o comando a ser executado. Depois que o comando é entregue e executado, envolvendo as duas ações, a primeira de ativar o dispositivo e a segunda de executar a função, deve ser notado que o

dispositivo permanece ativo até que outro comando seja dado. Por fim, enquanto um está ativo, é possível também enviar-lhe múltiplos comandos (CENTRAL CASA, 2013).

Na Figura 15 a seguir é ilustrado um exemplo da transmissão completa de um comando dado por este protocolo. O exemplo será a partir do comando “A2 ON”, no qual os códigos podem ser observados na Figura 14, mostrado anteriormente.

Figura 15 - Exemplo de transmissão do comando “A2 ON” no protocolo X10.



Fonte: CENTRAL CASA (2013)

3.2.3. ZigBee

O protocolo ZigBee é uma tecnologia que usa comunicação sem fios para aplicações como controle de sistemas de ar condicionado, eletrodomésticos, iluminação residencial, sistemas de segurança e vigilância, brinquedos, aquisição de dados de sensores de temperatura, umidade, precipitação, luminosidade, pressão, etc (SALEIRO, 2017). Essas e outras aplicações podem ser observadas na Figura 16.

Figura 16 - Aplicações do protocolo ZigBee.



Fonte: ARAUJO - GTA (2017).

Um sistema Zigbee consiste em vários componentes. O mais básico o dispositivo, no qual este pode ser de função completa (*full-function-device – FFD*) ou um dispositivo de função reduzida (*reduced-function-device - RFD*). Uma rede deve incluir pelo menos um FFD, atuando como coordenador. O FFD pode operar em três modos: um coordenador de rede de área pessoal (*Personal Area Network - PAN*), um coordenador (*Coordinator*) ou um dispositivo (*Device*). Um RFD é destinado a aplicativos extremamente simples e não precisam enviar grandes quantidades de dados. Por fim, um FFD pode se comunicar com RFDs ou FFDs enquanto que um RFD só pode falar com um FFD (ERGEN, 2004).

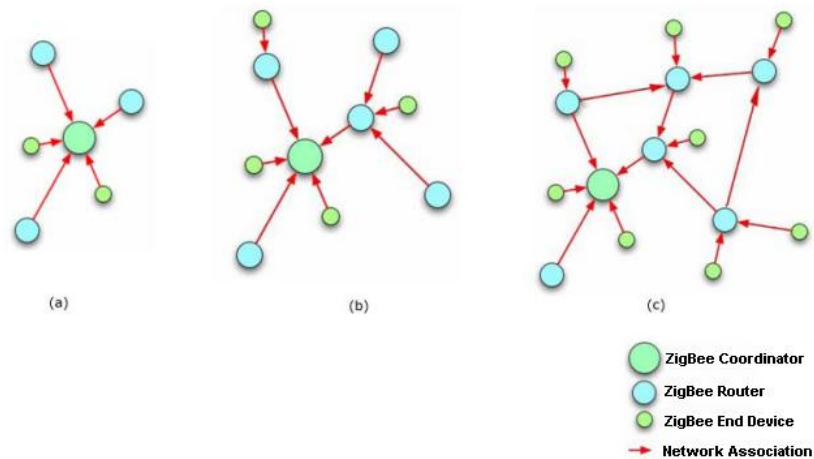
O protocolo suporta três tipos de topologias, na qual cada uma tem um tipo de comunicação com os dispositivos, a topologia em estrela (*star*), topologia em malha (*mesh*), e topologia árvore (*cluster-tree*). E a especificação Zigbee define três tipos de dispositivos, com funções variadas, o **Coordenador ZigBee** (*ZigBee Coordinator – ZC*), o **Roteador ZigBee** (*ZigBee Router - ZR*) e o **Dispositivo Final ZigBee** (*ZigBee End Device - ZED*). No qual o **ZC** deve existir um em cada rede, sendo ele um dispositivo que agrega o maior número de funções, como por exemplo, ser capaz de criar uma rede tornando-se a raiz da árvore dessa rede, sendo portanto, o único dispositivo capaz de comutar dados entre redes. O **ZR** age como um roteador intermediário, roteando dados para outros dispositivos. E o **ZED** contém funções

apenas para trocar informações com seu nó pai (ou um roteador ou um coordenador), não podendo encaminhar dados para outros dispositivos (AZEVEDO, 2006).

A seguir são ilustrados os tipos de topologias juntamente com os três tipos de dispositivos de rede, Figura 17.

Figura 17 - Topologias e componentes do protocolo ZigBee

(a) Topologia em estrela, (b) Topologia árvore, (c) Topologia em malha.



Fonte: AZEVEDO (2006).

3.2.4. Z-Wave

O protocolo Z-Wave é uma tecnologia de comunicação sem fio e baseada em Rádio Frequência (RF), projetada especificamente para controle, monitoramento e leitura de status em ambientes residenciais e comerciais (Z-WAVE ALLIANCE, 2005). O Autor ainda descreve alguns fundamentos desta tecnologia, começando por ser uma tecnologia RF de baixa potência que suporta redes em malha (*mesh*) completas sem a necessidade de um nó coordenador e não sofre interferências de uma rede Wi-Fi ou outras tecnologias sem fio na faixa de 2,4 GHz (Bluetooth, ZigBee, etc.), pois o Z-Wave opera na banda de 1 GHz. E por fim, ela é uma tecnologia projetada especificamente para aplicativos de controle e status, suportando taxas de dados de até 100 kbps.

O sistema de malha apresenta vantagens em relação a outros sistemas *wireless*, pois sua rede também serve como base para as funcionalidades auto recuperáveis das comunicações RF, segundo DIAS (2004). Em geral, os vínculos de transmissão dos sinais variam em decorrência das alterações sofridas no ambiente físico, ao longo do tempo, como por exemplo, um abrir e fechar de portas numa edificação, uma mudança

de layout, ou ainda, quando muitas pessoas se movem. Nesses casos, os vínculos da comunicação da RF podem falhar. Mas por meio dos mecanismos auto recuperáveis da rede em malha, as mensagens serão, automaticamente enviadas por outros nós até que possam alcançar o módulo de destino, ainda relata o autor sobre a comunicação no protocolo Z-Wave.

Ou seja, o protocolo Z-Wave não necessita que o controlador dos dispositivos esteja à vista de cada dispositivo, pois, por estar utilizando uma arquitetura de rede em malha, isso permite que seja possível controlar dispositivos fora do alcance do controlador, repassando os sinais por cada dispositivo instalado neste protocolo.

A Figura 18 ilustra a tecnologia Z-Wave e como essas conexões para comunicação são feitas.

Figura 18 - Tecnologia Z-Wave.



Fonte: Z-Wave Alliance (2005).

3.3. Comparativo

No Quadro 1, observa-se algumas comparações entre os protocolos.

Quadro 1 – Quadro Comparativo

Características	MQTT	X10	ZigBee	Z-Wave
Arquitetura de rede	Baseado em <i>broker</i>	Descentralizada	Malha, estrela, árvore	Malha
Padrão de Comunicação	<i>Publisher/subscriber</i>	Transmissor e Receptor	Coordinator, Router, End Device	Modulação tipo GFSK
Largura de Banda	Baixo / Limitado	Baixo	250 kbps (baixo)	Entre 9,6 kbit/s e 40 kbit/s
Rapidez de instalação	Boa	Excelente	Ótima	Ótima
Expansibilidade (Número de Dispositivos)	De acordo com a capacidade do <i>broker</i> criado	256	65000	232
Meios de comunicação Utilizados	Wi Fi	Rede Elétrica	Wi Fi	Rádio Frequência
Custo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Alcance	Alcance da Rede Wi Fi	Atrelado à rede da casa (de acordo com devidas especificações de cabos)	100 m	30 m – Interior 100 m – Ar Livre

FONTE: Do Autor (2019)

Logo, o protocolo que melhor se encaixa para o desenvolvimento do projeto e por escolha é o Protocolo X10. As principais diferenças deste em relação aos demais é a não necessidade de estabelecer novas comunicações, visando casas em processo de acabamento ou já acabadas. Sua expansibilidade apesar de limitada é adequada para um sistema residencial, pois 256 dispositivos é um bom número disponível para conexões de dispositivos elétricos, não sendo necessário um número maior para uma residência. E também, como principal vantagem, é um protocolo ideal para a não necessidade de passagem de mais cabos pela casa, pois utiliza o próprio cabeamento da rede elétrica. Além de ser simples e de fácil instalação, e também por ser a

tecnológica dentro de um ambiente doméstico mais econômico. E por ter uma arquitetura descentralizada, torna-se um protocolo mais resistente a falhas, pois se um dispositivo falhar, somente este falha, comprometendo apenas seu funcionamento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito de forma detalhada sobre o caminho percorrido para alcançar os objetivos deste trabalho, descrevendo sobre os componentes utilizados e os cálculos para dimensionamentos dos mesmos, os esquemáticos eletrônicos montados juntamente com suas simulações, e principalmente a metodologia seguida para montagem do Receptor X10, do Transmissor X10, e apresentado toda montagem eletrônica desta Automação Residencial.

4.1. Metodologia

Este projeto é desenvolvido e validado em uma rede elétrica de 127 V, exceto no dimensionamento relacionado ao resistor limitador de corrente e queda de tensão na saída da ponte de diodos, onde a base é a tensão transformada para 12,7 V pelo transformador.

Para implementar o Protocolo X10 e desenvolver de uma forma mais adequada o projeto, as seguintes etapas devem ser executadas:

a) Para o Transmissor X10.

- Realizar a detecção de passagem por zero da onda alternada da linha de rede elétrica da residência.
- Implementar um circuito eletrônico oscilador de ondas de 120 kHz para envio de um sinal na rede elétrica.

b) Para o Receptor X10.

- Implementar um circuito eletrônico para filtrar um sinal de 120 kHz da rede elétrica e executar o comando dado ao dispositivo.

c) Para o Controlador.

- O controlador é quem dará o comando ao dispositivo, no qual será realizado por uma pessoa a partir de um *Smartphone*. O comando é enviado ao transmissor X10 via WI-FI por um aplicativo Android, no qual será recebido pelo transmissor por um NodeMCU ESP-8266.

4.2. Transmissor X10

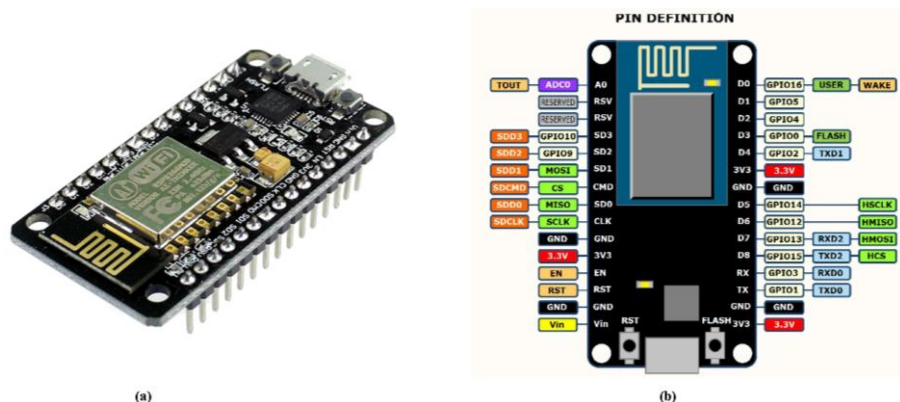
O módulo Transmissor do projeto está conectado à rede elétrica para obter informações da rede, ou seja, detectar os momentos de passagem do sinal da rede pelo ponto zero (*zero-crossing*). Também recebe o comando de controle, por um controlador, para realizar a ação no dispositivo final, que no caso deste projeto o comando virá de um aplicativo Android de um *Smartphone* via WI-FI. O comando será recebido no transmissor por um microcontrolador NodeMCU ESP8266. A ação a ser realizada no dispositivo, será enviada por este transmissor por meio da aplicação de um sinal de 120 kHz, criada por um CI, aplicado à rede elétrica com endereço do dispositivo a ser controlado.

Primeiramente, para desenvolvimento do *Hardware* do Transmissor, é necessário que se tenha alguns conceitos em eletrônica e conhecimento de alguns componentes que foram utilizados no projeto, tais como:

- a) **Diodo Semicondutor** – Utilizado no circuito eletrônico do Transmissor X10 como ponte de diodos para detecção da passagem do sinal da rede elétrica por zero.
- b) **Módulo NodeMCU ESP8266** – Utilizado na placa do Transmissor X10 como receptor do comando a ser executado vindo do controlador, que é o *smartphone*, ao recebê-lo, identifica o momento exato de passagem por zero da rede elétrica, para assim acionar o CI gerador do sinal X10. A Figura 19 ilustra o microcontrolador e sua específica pinagem.

Figura 19 - Microcontrolador NodeMCU ESP8266

(a) Microcontrolador, (b) Pinagem.

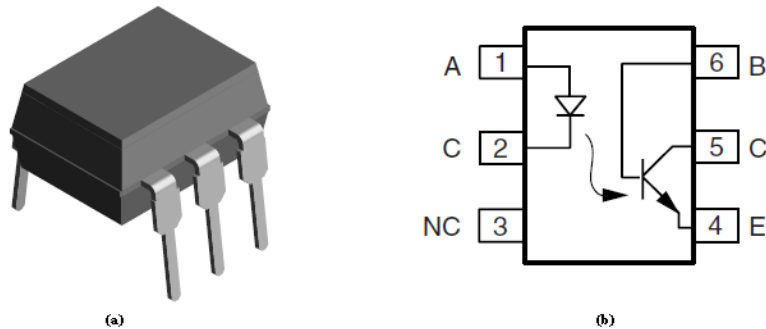


Fonte: Arduining (2019)

- c) **Optoacoplador** – Utilizado o CI 4N25 também no circuito eletrônico do Transmissor X10 na detecção do ponto zero da rede elétrica. A Figura 20 ilustra o dispositivo Optoacoplador 4N25 utilizado neste projeto, e o seu circuito interno.

Figura 20 - Dispositivo Optoacoplador 4N25

(a) Dispositivo 4N25, (b) Circuito interno do dispositivo.

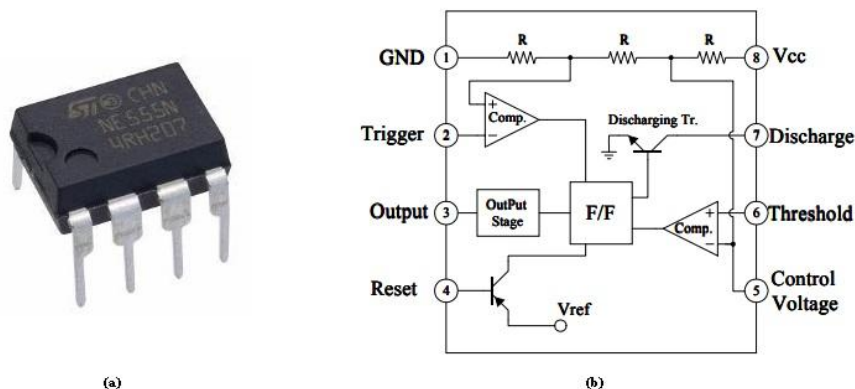


Fonte: Datasheet Optoacoplador 4N25

- d) **CI LM555** – Utilizado como um oscilador na geração do sinal de 120 kHz na placa do Transmissor X10. Na Figura 21 é possível observar uma ilustração do CI LM555 juntamente com seu diagrama do circuito interno.

Figura 21 - CI LM555

(a) LM 555, (b) Circuito interno do dispositivo.



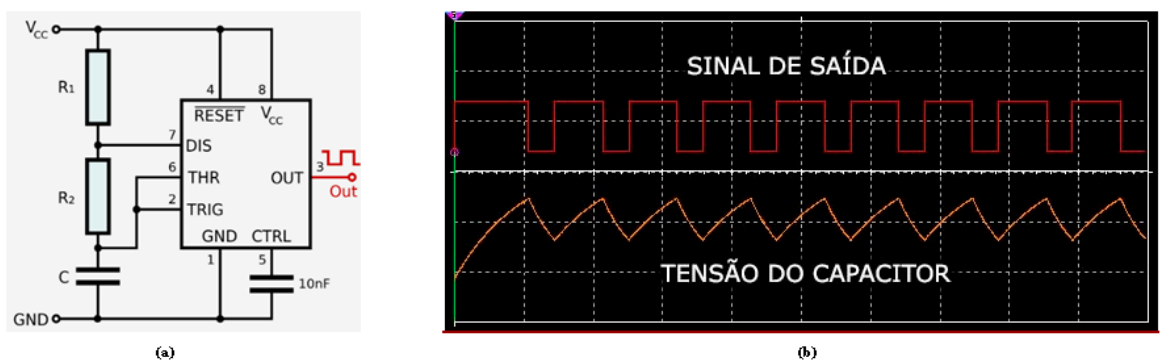
Fonte: Datasheet CI LM555

Este dispositivo pode operar em três configurações: astável, monoestável e biestável. Neste projeto foi utilizado o modo de configuração astável, e por este motivo será descrito um pouco melhor a seguir.

- **Configuração Astável:** O CI atua como um oscilador eletrônico, enviando um fluxo contínuo de pulsos retangulares com uma frequência específica. Essa configuração é implementada usando 2 resistores (R_1 e R_2) e 1 capacitor (C). O pino de controle não é usado, portanto, é conectado à terra por meio de um capacitor de desacoplamento de 10 nF para desviar o ruído elétrico. Na Figura 22 é possível observar tal configuração juntamente com o sinal de tensão no capacitor e o sinal de saída gerado.

Figura 22 - Configuração Astável do CI LM555

(a) Configuração Astável, (b) Sinal gerado pelo CI no modo Astável



Fonte: FÁBIO – Mundo Projetado (2017)

Este circuito pode gerar sinais de 0,01 Hz a 500 kHz, e os valores limites para os componentes utilizados nessa configuração são:

- $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ até $3,3 \text{ M}\Omega$;
- $C = 500 \text{ pF}$ até $2200 \text{ }\mu\text{F}$.

A frequência de oscilação do sinal de saída do CI é dada por:

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C * (R_1 + 2 * R_2)} \quad (1)$$

Onde f é a frequência em *hertz*; R_1 e R_2 são os valores dos resistores em Ohms; C é a capacitância em *farads*.

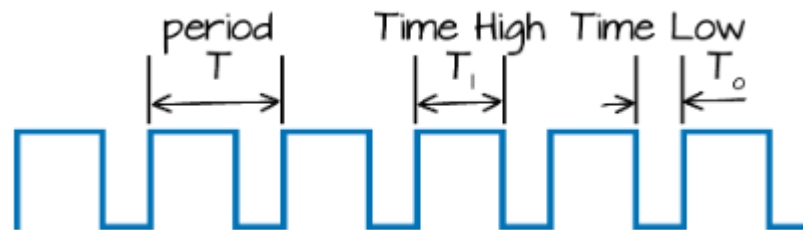
Algumas notas interessantes a serem tomadas são:

- O aumento no valor de C aumentará o período do sinal, portanto, reduzirá a frequência.

- O aumento no valor de R_1 aumentará o tempo em que a onda fica no valor positivo (*Time High*), mas sem alterar o tempo em que a onda fica em zero (*Time Low*).
- O aumento no valor de R_2 aumentará o *Time High*, aumentará o *Time Low* e diminuirá o *Duty Cycle* (até um mínimo de 50%).

A Figura 23 indica na onda gerada esses momentos.

Figura 23 – Momentos Time High e Time Low da onda



Fonte: FERREIRA – Squids Arduino (2018)

- **Configuração Monoestável:** O CI atua como um disparador, ou melhor, um gerador de impulsos.
- **Configuração Biestável:** O CI atua como *flip flop*. Este é um circuito que possui dois estados estáveis e pode ser usado para armazenar informações de estado, ele é um multivibrador biestável.

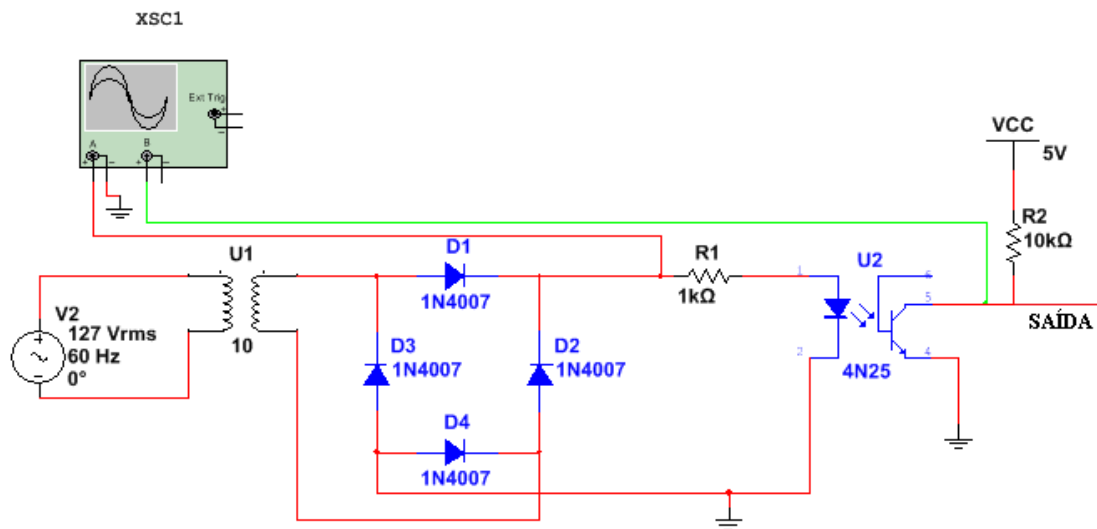
4.2.1. Desenvolvimento do Circuito de Detecção de Passagem Pelo Zero

(Zero-Crossing)

O primeiro ponto a ser tratado no *hardware* do transmissor será a detecção de passagem do sinal da rede elétrica de 60 Hz pelo zero (*Zero-Crossing*). Este momento deve ser encontrado para viabilizar a comunicação no protocolo X10, sendo o momento correto a enviar o sinal de comando para o receptor. Dessa forma, um circuito eletrônico é montado para que um microcontrolador venha a detectar esse ponto de passagem pelo zero no sinal da rede elétrica e consiga realizar no momento exato o envio do sinal de comando em sua saída. Utilizando o *software* Multisim 12.0, foi feita a montagem virtual do circuito para simulações.

O circuito montado para detecção do zero foi o da Figura 24, a seguir.

Figura 24 - Circuito de detecção de passagem por zero



FONTE: Do Autor (2019)

Neste circuito, primeiro ao lado esquerdo do Optoacoplador, representado por 4N25, contém um transformador com uma relação de transformação de 10, transformando 127 V para 12,7 V. Este sinal é retificado por meio de uma ponte de diodos, que faz uma retificação de onda completa. O resistor de saída de 1 k Ω é responsável pela limitação da corrente e queda da tensão para entrada do opto acoplador.

O opto acoplador possui a função de isolar opticamente o circuito anterior. A entrada deste circuito é um diodo emissor de luz que é polarizado sempre que uma tensão maior que V_F (pelo *datasheet* 1.3V) é aplicada aos seus terminais.

A saída do opto acoplador é um fototransistor, cuja base é controlada pela emissão de luz do *led* de entrada. É ligado na configuração emissor comum, a partir de uma fonte de 5 V e um resistor de 10k, ambos ligados ao coletor. O resultado gráfico simulado será apresentado na sessão de resultados.

4.2.1.1. Dimensionamento dos Componentes do Circuito de Detecção de Passagem Pelo Zero (*Zero-Crossing*)

Como a rede elétrica é de 127 V, os componentes devem ser devidamente dimensionados a ponto de que não se danifiquem no decorrer do funcionamento do circuito. Contudo, para melhor utilização dos componentes e evitando o superaquecimento dos mesmos, será utilizado um transformador em sua entrada para

abaixar a tensão de 127 V para 12,7 V, logo, o dimensionamento é feito em relação a uma tensão de 12,7 V.

Os diodos da ponte retificadora foram escolhidos da família 1N4007, devido a seu alto valor de tensão reversa aceitável, na faixa de 1000 V de tensão de pico e 700 V_(RMS), deixando o sistema sobredimensionado para uma melhor segurança. Desta forma, para evitar que tensões negativas sejam aplicadas ao componente e o mesmo seja danificado, foi utilizada uma ponte retificadora de onda completa para inverter a parte negativa do sinal senoidal de tensão.

a) Cálculo do Resistor R1

O cálculo do valor de resistência deste resistor foi realizado utilizando a *Lei de Kirchhoff das tensões*, a qual diz que é nulo o somatório das quedas e elevações de tensão ao longo de um caminho fechado em um circuito elétrico. E também foi utilizado a *Primeira Lei de Ohm*, a qual diz que todos os materiais sujeitos a uma diferença de potencial apresentam uma resistência de valor constante à passagem da corrente elétrica (BOYLESTAD, 2004).

Seguindo a corrente elétrica do circuito, considerando o semiciclo positivo, tem-se a partir da *Lei de Kirchhoff*:

$$V_{Fonte} - V_{D1} - V_{R1} - V_{Led} - V_{D4} = 0 \quad (2)$$

Considerando:

- V_{D1} e V_{D4} - Queda de tensão nos diodos (*Datasheet 1N4007*) = 1,1 V
- V_{Led} - Queda de tensão no led (*Datasheet Optoacoplador 4N25*) = 1,5 V
- Corrente no led (*Datasheet Optoacoplador 4N25*) = 50 mA (máx)
- V_{Fonte} corresponde à 12,7 V na saída do transformador. Para lei de *Kirchhoff* se utiliza a tensão de pico, equivalente à $12,7 \times \sqrt{2}$ V, resultando em 17,9 V

$$17,9 - 1,1 - V_{R1} - 1,5 - 1,1 = 0$$

$$V_{R1} = 14,2 \text{ V}$$

Assim é encontrado o valor de queda de tensão que o resistor R1 deve ter no circuito. E com este valor é possível, a partir da *Lei de Ohm*, encontrar o valor da resistência a ser utilizada.

Como o valor máximo de corrente para o *led* do optoacoplador é de 50 mA, será utilizado um valor menor, pois não é necessário utilizar a corrente máxima, a fim de proteger o dispositivo contra aquecimento. Logo, será utilizado uma corrente de 15 mA.

$$1^{\text{a}} \text{ Lei de Ohm: } \quad \mathbf{V = R I} \quad (3)$$

Onde:

V = Diferença de potencial (Tensão)

R = Resistência elétrica do material

I = Corrente elétrica que passa pelo material

$$\begin{aligned} V_{R1} &= R_1 I \\ R_1 &= \frac{V_{R1}}{I} \\ R_1 &= \frac{14,2}{15 * 10^{-3}} \\ \mathbf{R_1} &= \mathbf{946,6 \Omega} \end{aligned}$$

Logo, este é o valor encontrado para a resistência R1 do circuito. Portanto, é utilizado um valor próximo comercial de 1 k Ω para o resistor.

Existem vários modelos de resistores, e cada um tem um valor de dissipação de energia diferente, por isso é importante encontrar um resistor com um valor de potência adequado para o projeto. Sendo assim, é necessário que se calcule a potência do resistor. Que pode ser calculado a partir da equação de potência a seguir.

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \mathbf{V I} \quad (4) \\ P_{R1} &= 14,2 * 15 * 10^{-3} \\ \mathbf{P_{R1}} &= \mathbf{0,21 W} \end{aligned}$$

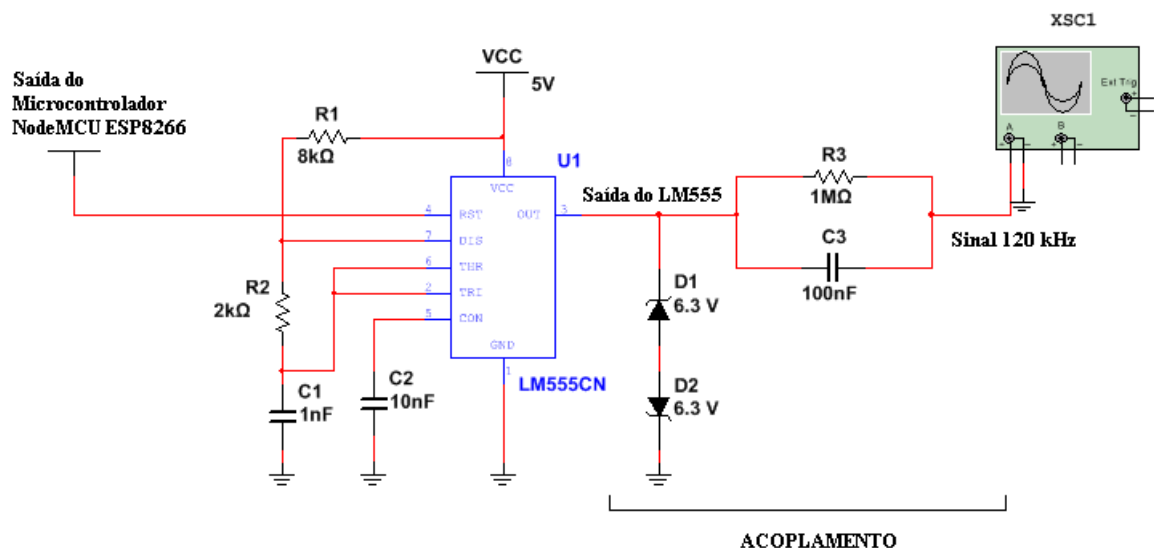
Desta forma, o Resistor ideal a ser utilizado no circuito é de 1 k Ω , com capacidade de dissipação de calor de 0,21 W de potência aproximadamente, podendo utilizar o resistor comercial comum de ¼ de W.

4.2.2. Desenvolvimento do Circuito de Geração do Sinal de 120 kHz

Com o circuito de detecção de passagem pelo zero em funcionamento, o sinal de saída é enviado para um microcontrolador NodeMCU ESP8266. Assim, ao saber este instante é dito que o microcontrolador já está sincronizado a rede elétrica, portanto basta o ESP8266 aguardar algum comando dado pelo controlador, o aplicativo do celular. E ao receber este comando, o NodeMCU ativa sua saída, em determinados momentos, para que o Oscilador LM555 consiga gerar o sinal X10 a ser inserido na rede elétrica, com endereço e comando para o dispositivo a ser controlado.

Da mesma forma, foi construído no *software* Multisim 12.0 também um circuito eletrônico para simular a geração do sinal X10, que é o sinal de 120 kHz inserido a rede elétrica. E este circuito pode ser visto na Figura 25, a seguir.

Figura 25 - Circuito Eletrônico do LM555



FONTE: Do Autor (2019)

Como visto na sessão 4.2, ao falar do CI como Oscilador para criação de um sinal, há três configurações, e para este projeto é utilizado o modo de Oscilação Astável, o qual gera um fluxo contínuo de pulsos retangulares com frequência específica, adequado para a geração do sinal X10 a ser inserido a rede elétrica.

Segundo TAVARES (2014), para se transmitir os dados na rede elétrica com segurança, é necessário um circuito de acoplamento de sinais entre os dois módulos e a rede elétrica. Uma função deste acoplador é injetar ou receber da rede elétrica o sinal X10, e outra é bloquear o sinal de 60 Hz da rede elétrica para evitar que altas tensões, se comparadas com a dos circuitos microcontroladores, possam chegar a eles. Portanto, um circuito acoplador simples foi colocado na saída do módulo Transmissor. Dois *diodos zenner* são utilizados no circuito de acoplamento também como um sistema de proteção contra a tensão da rede elétrica, garantindo uma tensão regulada entre - 6,3 V e 6,3 V na porta de saída do CI555. Os resultados de simulação serão apresentados na sessão de resultados de geração do sinal de 120 kHz. Onde a frequência pode ser calculada a partir da equação, a seguir, sendo esta inversa ao seu período.

$$f = \frac{1}{\Delta T} \quad (5)$$

4.2.2.1. Dimensionamento dos Componentes do Circuito de Transmissão

A Figura 22 - (a) ilustra a configuração Astável montada, e como pode ser visto, há 2 resistores e 1 capacitor que devem ser dimensionados para geração de um sinal com frequência de 120 kHz.

Assim, foi utilizada a equação (1) de cálculo para frequência no oscilador LM555, e assim encontrar os valores desejados, dada por:

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C * (R_1 + 2 * R_2)}$$

Portanto, tem-se:

$$f = 120 \text{ k Hz}$$

E será adotado um valor de R_1 equivalente a **2,2 k Ω** , e um valor de capacitor bem baixo, para assim ter um tempo de ciclo pequeno e um valor alto de frequência, equivalente a **1 nF**, e desta forma é possível encontrar o valor ajustado para R_2 .

$$120\ 000 = \frac{1}{\ln(2) * 1 * 10^{-9} * (2\ 200 + 2 * R_2)}$$

Resolvendo a equação acima, isolando a variável do resistor 2, representada por R_2 para encontrá-la, é possível obter o valor a seguir.

$$R_2 = 4,9 \text{ k}\Omega$$

Logo, estes foram os valores utilizados no circuito do Oscilador LM555 para obter o sinal com frequência desejada.

O valor do resistor R_3 é escolhido como um valor alto de resistência, para limitar a passagem de corrente, e um valor baixo de capacitor, para permitir a passagem do sinal de 120 kHz servindo como capacitor de acoplamento. Os valores escolhidos foram de 1 M Ω para o resistor e um valor padrão para capacitores de acoplamento de 100 nF.

$$Z = \frac{1}{2\pi fC}$$

Considerando a frequência de 120 kHz e o capacitor de 100 nF, é possível obter.

$$Z = \frac{1}{2\pi * 120000 * 0.1 * 10^{-6}}$$

$$Z = 13,26 \Omega$$

Considerando a frequência de 60 Hz e o mesmo capacitor de 100 nF, é possível obter.

$$Z = \frac{1}{2\pi * 60 * 100 * 10^{-9}}$$

$$Z = 26,52 \text{ k}\Omega$$

Ou seja, a partir destes dados é possível observar que para uma alta frequência, que é o sinal gerado pelo CI555 de 120 kHz, o acoplamento apresenta uma baixa impedância a este sinal, ou seja, ele será transmitido com maior facilidade. Já na frequência de 60 Hz, o acoplamento apresenta um alto valor de impedância, fazendo com que não seja fácil a passagem do sinal de 60 Hz para o circuito eletrônico.

4.3. Receptor X10

O módulo Receptor do projeto é aquele que está conectado ao dispositivo a ser controlado, que no caso deste projeto serão lâmpadas, e fica também ligado à tomada para receber o sinal X10 com o comando a ser executado. Estes módulos devem ser capazes de identificar o sinal de 120 kHz da rede elétrica que é de 60 Hz, interpretar o sinal recebido e executar o comando dado ao dispositivo do endereço contido no sinal.

Assim como feito no capítulo do Transmissor, para desenvolvimento do *Hardware* do Receptor, também é necessário que se tenha alguns conceitos em eletrônica e dos dispositivos utilizados nesta parte do trabalho, e os utilizados neste capítulo foram os seguintes.

- a) **Arduíno** – Utilizado como o dispositivo que faz a interpretação do sinal X10 depois do seu tratamento de filtragem e amplificação, e a partir dessa interpretação, executa o comando requerido no dispositivo elétrico conectado ao endereço correto do relé conectado em uma saída digital.
- b) **Módulo Relé** – O Módulo Relé utilizado foi o de 1 canal, adequado para acionamento de cargas a partir de comandos enviados por Arduíno. Utilizado na placa eletrônica do Receptor X10 para o acionamento de cada lâmpada. Uma imagem ilustrativa deste componente pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 - Módulo Relé



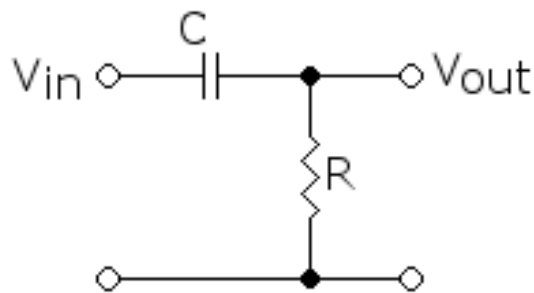
FONTE: ARDUINO (2019)

- c) **Amplificadores de Sinal** - Como este protocolo visa uma automação via rede elétrica em residência de vários dispositivos que podem se conectar a esta rede, eles podem gerar ruídos a rede, e isso pode fazer o sinal de informação X10 perder sua boa qualidade de transmissão e chegar ao receptor de uma forma danificada. Portanto, é adequado que se coloque sempre que necessário, os amplificadores pós a recepção e filtragem do sinal de comando X10 de 120

kHz, para que desta forma se tenha um bom sinal, com qualidade e que seja adequado para o microcontrolador Arduino interpretá-lo e atuar devidamente. E os Transistores são componentes ótimos para este tipo de função. Pois ao injetar um pequeno sinal de corrente alternada à base do transistor, este sinal se soma as tensões de corrente contínua de polarização do transistor e isso induz a um aumento na corrente do coletor, mantendo a mesma forma de onda e frequência, isso acontece quando o transistor está trabalhando em sua região apropriada de funcionamento e com dimensionamento adequado.

- d) **Filtros de Sinal** – Utilizado no esquema eletrônico do circuito Receptor X10 como Filtro Passa-Altas, para assim obter da rede elétrica o sinal X10 de 120 kHz e atenuando as outras frequências. Foi feito um Filtro Passivo, e o mesmo pode ser montado de forma simples como na Figura 27.

Figura 27 - Filtro Passa-Altas



FONTE: Wikimedia Commons (2014)

A equação que se utiliza para encontrar a frequência de corte, dada em hertz, e também projetar este tipo de filtro é a seguinte.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6)$$

Onde:

- R equivale ao valor da resistência do resistor em ohm.
- C equivale ao valor de capacitância do capacitor em Farad.

4.3.1. Desenvolvimento do Circuito de Recebimento do Sinal X10

O primeiro passo na recepção é passar o sinal da rede elétrica pelo circuito de acoplamento, para novamente se ter maior segurança em fazer a conexão da rede elétrica com o circuito eletrônico de filtragem do sinal. Contudo, o mesmo acoplamento feito no Transmissor é feito aqui. Dois Diodos *Zener* são colocados na sequência do circuito de acoplamento, para limitar a tensão que vem da rede elétrica para entrada do primeiro filtro na etapa de filtragens, limitando a tensão em 6,3 V.

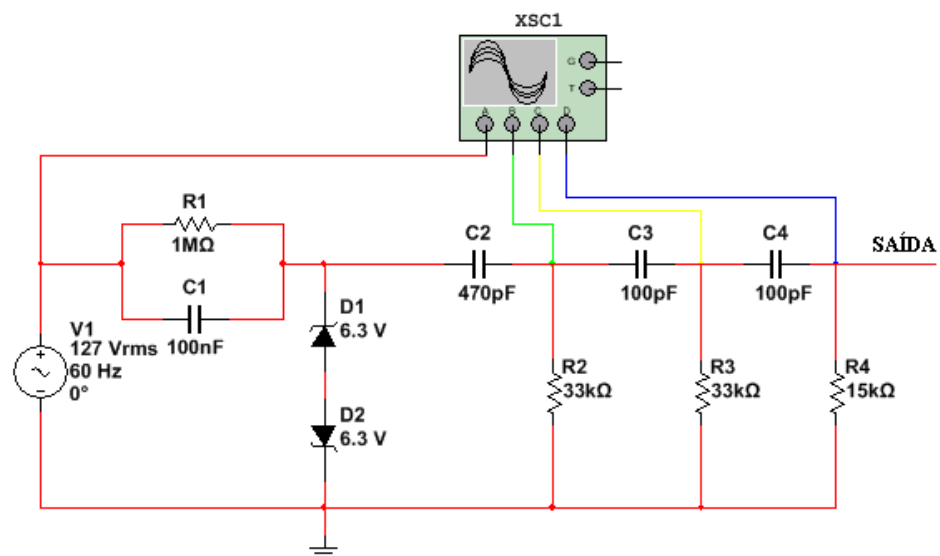
Em seguida, o sinal passa por etapas de tratamento de sinal, passando por três filtros Passa-Altas, para uma filtragem adequada do sinal de 120 kHz e um amplificador de sinal com transistor, para manter este sinal, depois de filtrado, com uma intensidade maior e bem mais perceptível para leitura no Arduíno.

Por fim, o sinal depois de passar pelas etapas de tratamento, é lido por uma porta de entrada do Arduíno para interpretação do sinal, e envia para uma saída destinada com endereço contido no sinal, o comando para acionar ou não a lâmpada a partir de um módulo relé.

4.3.1.1. Desenvolvimento dos Filtros

Os circuitos eletrônicos para acoplamento e tratamento de filtragem do sinal foram montados em *software* e podem ser vistos na Figura 28, a seguir.

Figura 28 - Sistema de Filtragem do Sinal



FONTE: Do Autor (2019)

Como dito, e a partir da Figura 28, partindo da simulação de uma fonte de 127 Vrms com 60 Hz de frequência, retratando a rede elétrica, é ligada ao acoplamento e passa pelos Diodos limitadores de tensão. Em seguida, passa por um primeiro filtro com os valores indicados na Figura de capacitor e resistor, que possui uma frequência de corte de 10 kHz, seguindo de um segundo filtro com frequência de corte de 50 kHz e por fim um terceiro filtro com frequência de corte de 100 kHz.

Os resultados dessa simulação podem ser vistos na sessão de resultados de simulação de filtragem do sinal.

4.3.1.1.1. Dimensionamento dos Componentes dos Filtros Passa-Altas

A partir da equação (6) é possível projetar um filtro passa-altas com as frequências desejadas.

Logo, como o interesse é na frequência de 120 kHz, se devem atenuar as frequências abaixo deste valor, portanto como escolha, é feito um sistema de filtragem de sinal com 3 filtros passa-altas, um primeiro filtro com uma frequência de corte de 10 kHz, um segundo filtro com frequência de corte de 50 kHz e um terceiro com frequência de corte de 100 kHz.

Para o filtro com frequência de corte de 10 kHz.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$10\ 000 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Escolhendo um capacitor de 470 pF e isolando-se R para encontrar o valor de resistência a ser utilizado no filtro, é possível obter.

$$R = \frac{1}{2\pi * 470 * 10^{-12} * 10000}$$

$$R = 33,86\ k\Omega$$

Logo, é utilizado um valor de resistência comercial próximo, igual a 33 kΩ.

Com este primeiro filtro, as frequências abaixo de 10 kHz tendem a se atenuar.

Para o filtro com frequência de corte de 50 kHz.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$50\,000 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Escolhendo um capacitor de 100 pF e isolando-se R para encontrar o valor de resistência a ser utilizado no filtro, é possível obter.

$$R = \frac{1}{2\pi * 100 * 10^{-12} * 50000}$$

$$R = 31,83\,k\Omega$$

Logo, é utilizado um valor de resistência comercial próximo, igual a 33 kΩ.

Com este segundo filtro em sequência do primeiro, as frequências abaixo de 50 kHz tendem a se atenuar.

Para o filtro com frequência de corte de 100 kHz.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$100\,000 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Escolhendo um capacitor de 100 pF e isolando-se R para encontrar o valor de resistência a ser utilizado no filtro, é possível obter.

$$R = \frac{1}{2\pi * 100 * 10^{-12} * 100000}$$

$$R = 15,92\,k\Omega$$

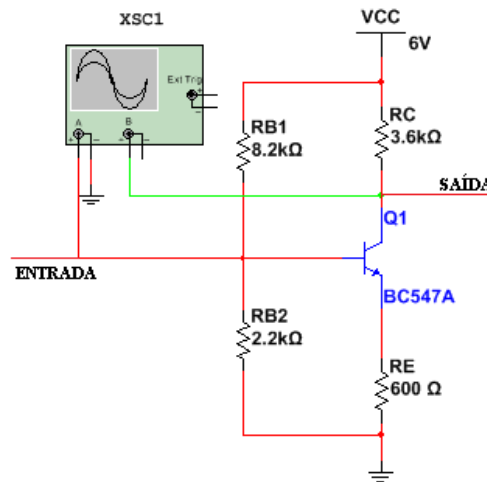
Logo, é utilizado um valor de resistência comercial próximo, igual a 16 kΩ.

Com este filtro, as frequências abaixo de 100 kHz tendem a se atenuar, e a frequência de interesse que contém o sinal X10 de 120 kHz tende a aparecer em melhor nitidez.

4.3.1.2. Desenvolvimento do Amplificador

O circuito eletrônico de amplificação do sinal foi montado em *software* e pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 - Circuito Amplificador



FONTE: Do Autor (2019)

O resultado gráfico deste circuito simulado pode ser visualizado na sessão de resultados de simulação resultante do amplificador.

4.3.1.2.1. Dimensionamento do Amplificador

Para o dimensionamento do amplificador de sinal deste projeto é considerado um transistor BC547, no qual devem ser dimensionados os valores de 4 resistores a partir das correntes desejadas e do tipo de ganho de sinal que se deseja ter na saída. Porém, é necessário nesta etapa que o sinal seja amplificado simplesmente para que a interpretação do sinal X10 realizada pelo Arduíno seja adequada, portanto não sendo necessário obter um valor exato de amplificação.

Assim toma-se os dados a seguir para o projeto do amplificador, retirados do *datasheet* do mesmo, e como prática para projetos de um amplificador a partir de um transistor trabalhando em sua região ativa.

- Fonte de alimentação no coletor do transistor: $V_{CC} = 6 \text{ V}$.
- Queda de tensão base-emissor: $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$.
- Queda de tensão no resistor do coletor: $V_{RC} = 40\% V_{CC}$.
- Queda de tensão no transistor: $V_{CE} = 50\% V_{CC}$.
- Queda de tensão no resistor do emissor: $V_{RE} = 10\% V_{CC}$.

Tem-se que:

$$V_{RC} = 2,4 \text{ V.}$$

$$V_{CE} = 3 \text{ V.}$$

$$V_{RE} = 0,6 \text{ V.}$$

Considerando uma corrente no emissor de 1 mA. E a partir da primeira Lei de Ohm, dada equação (3), é possível obter o valor de resistência no emissor.

$$V_{RE} = R_E I_E$$

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_E}$$

$$R_E = \frac{0,6}{1 * 10^{-3}}$$

$$R_E = \mathbf{600 \Omega}$$

A tensão de base (V_B) é equivalente a:

$$V_{RB} = V_{RE} + V_{BE}$$

$$V_{RB} = 0,6 + 0,7$$

$$V_{RB} = \mathbf{1,3 V.}$$

A partir desta tensão de base encontrada e das considerações do início, deve-se projetar o divisor de tensão para encontrar o valor de um de seus resistores de base, a partir de um segundo resistor escolhido arbitrariamente. Esses resistores limitarão a corrente de base, e vão garantir uma tensão de base próxima a encontrada de 1,3 V.

Considerando um resistor com valor de 2,2 k Ω (R_{B2}), é possível obter o outro resistor do divisor, a partir da equação de tensão de saída do divisor de tensão a seguir.

$$V_{RB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} * V_{CC} \quad (7)$$

Substituindo os devidos valores e resolvendo a equação, é possível obter R_{B1} .

$$R_{B1} = \mathbf{7,95 k\Omega}$$

Considera-se um valor comercial próximo de 8,2 k Ω .

Para encontrar o valor de resistência do coletor, é considerada a seguinte equação:

$$I_C = \alpha * I_E \quad (8)$$

Onde:

- I_C equivale a corrente equivalente no coletor.
- I_E equivale a corrente equivalente no emissor.

Na qual “ α ” pode ser encontrada pela seguinte equação,

$$\alpha = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \quad (9)$$

Onde,

- h_{fe} equivale ao ganho do transistor, e pode ser retirado do próprio *datasheet* do componente eletrônico. Para este projeto, considera-se o ganho do transistor BC547 de 120.

Logo,

$$\alpha = \frac{h_{fe}}{h_{fe} + 1}$$

$$\alpha = \frac{120}{120 + 1}$$

$$\alpha = 0,99$$

Assim,

$$I_C = \alpha * I_E$$

$$I_C = 0,99 * 1 * 10^{-3}$$

$$I_C = 990 \mu A$$

Por fim, o valor de resistência do coletor já pode ser calculado também com a Primeira Lei de Ohm.

$$V_{RC} = R_C I_C$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{RC}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{6 - 2,4}{990 * 10^{-6}}$$

$$R_C = 3,60 \text{ k}\Omega$$

4.4. Desenvolvimento do Aplicativo Controlador

O envio de comando para a comunicação entre transmissor e receptor deve ser dado por um sinal de um controlador. No presente trabalho, este sinal é dado via *wi-fi*, a partir de um aplicativo desenvolvido em plataforma *android* para *smartphone*.

Este aplicativo contém interfaces que permitem o cadastro de pessoas aptas ao acesso de controle dos dispositivos, realização de verificação de acesso às pessoas cadastradas e botões virtuais de controle para envio de comandos que resultam no acionamento e não acionamento dos dispositivos elétricos.

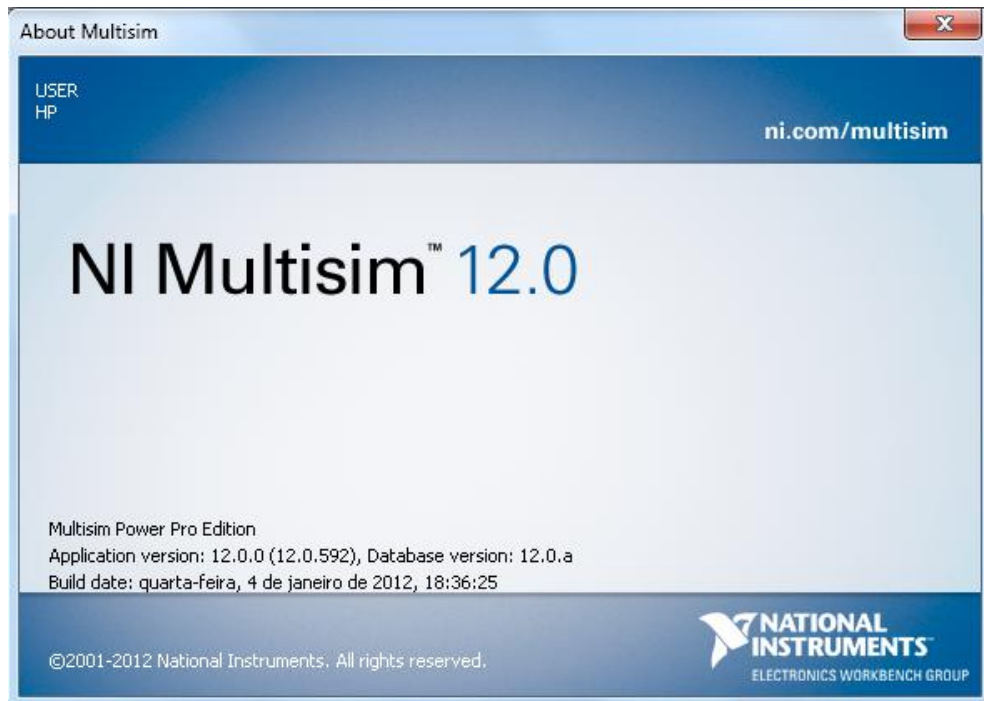
4.5. Softwares Utilizados

Para o desenvolvimento do projeto é essencial a utilização de *softwares* para testes e desenvolvimento da programação do microcontrolador e aplicativo. Em vista disso foram utilizados os *softwares* a seguir.

4.5.1. NI Multisim

O NI Multisim é um *software* de design e simulação de esquemas eletrônicos. Neste projeto foi utilizada a versão 12.0 para o desenvolvimento dos esquemas eletrônicos e simulações da placa do Transmissor X10 e Receptor X10. A Figura 30 ilustra a tela do *software*.

Figura 30 - NI Multisim 12.0



FONTE: National Instruments

4.5.2. Arduino *Software* IDE

O *Software* Arduino IDE é uma plataforma de prototipagem eletrônica, utilizado para verificar e gravar códigos em placas microcontroladoras compatíveis com Arduino e algumas outras. Esta plataforma suporta as linguagens de programação C e C++ e possui várias bibliotecas disponíveis como suporte. Para este projeto, foi utilizado a versão 1.8.5, com linguagem C, para o desenvolvimento do programa do NodeMCU ESP8266, que é o controlador localizado na placa do Transmissor X10 a fim de receber o sinal de comando e tratar os dados no Transmissor, e a IDE foi utilizada também para o desenvolvimento do programa do Arduino utilizado nos Receptores X10, a fim de realizar o comando dado ao dispositivo elétrico. A Figura 31 ilustra a tela do *software*.

Figura 31 - Arduino Software IDE

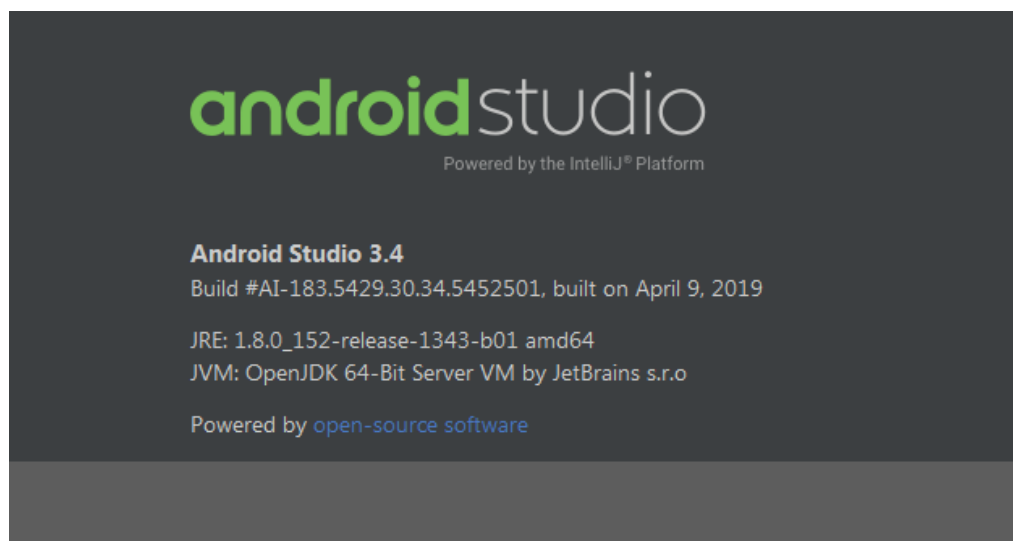


FONTE: ARDUINO

4.5.3. Android Studio IDE

O Android Studio é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) utilizado para o desenvolvimento de programas para a plataforma Android, e esta plataforma suporta as linguagens Java e Kotlin. Para este projeto foi utilizado a versão 3.4, com linguagem Java, para o desenvolvimento do aplicativo android para realizar o controle dos dispositivos elétricos. A Figura 32 ilustra a tela do *software*.

Figura 32 - Android Studio



FONTE: Developers Android Studio

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão relatados os resultados de cada teste nas principais partes do trabalho, nos módulos Transmissor X10 e Receptor X10, no Aplicativo controlador e na validação do protocolo com a maquete desenvolvida.

5.1. Aplicativo

O aplicativo nomeado como *Home Automation* é bem simples e intuitivo. Em sua tela inicial, Figura 33 (b), há alguns *cards* com opções para selecionar. O primeiro *card* mostra a tela de controle das lâmpadas, Figura 33 (d), após passar por um *login* bem sucedido, Figura 33 (c). O segundo *card* direciona para um formulário de cadastro de pessoas, Figura 33 (e), no terceiro *card* é uma lista que mostra as pessoas cadastradas, Figura 33 – (f). Por fim, o quarto *card* é utilizado para sair do aplicativo.

A Figura 33, a seguir, ilustra as telas descritas acima.

Figura 33 – Telas do Aplicativo Controlador

(a) Ícone do Aplicativo



(b) Tela Inicial



(c) Tela de Login

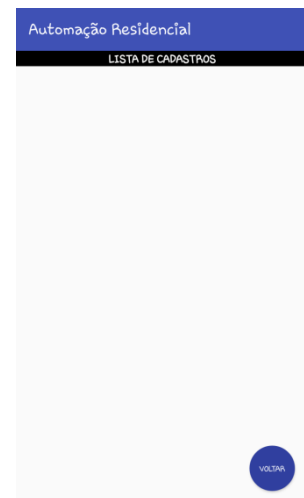


(d) Tela Principal de Controle



(e) Formulário de Cadastro

(f) Tela de Lista de Cadastros



FONTE: Do Autor (2019)

A Figura 33 (c) é uma tela de verificação de cadastro (*login*), no qual verifica na lista de cadastros se o usuário é válido para prosseguir para a tela de controle.

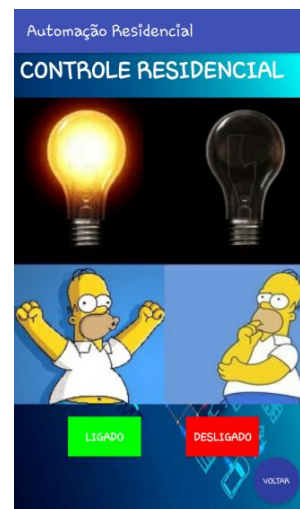
Na Figura 33 (d) de Controle Residencial, existem 2 botões (*toggle buttons*), que permitem fazer o controle de duas lâmpadas. Sempre que um botão é selecionado e as lâmpadas acionadas, há uma mudança na imagem, assim como mostra a seguir na Figura 34.

Figura 34 – Telas de Controle

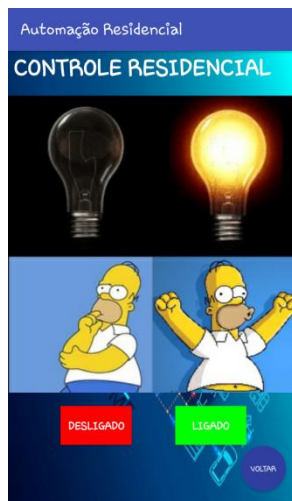
(a) Lâmpadas Desligadas



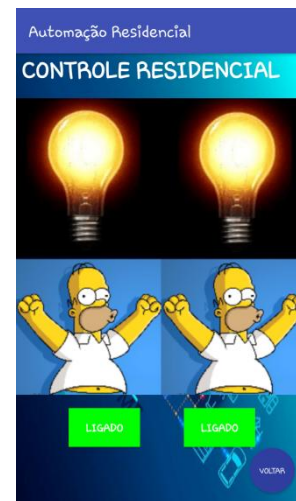
(b) Lâmpada 1 Ligada



(c) Lâmpada 2 Ligada



(d) Lâmpadas Ligadas



FONTE: Do Autor (2019)

Na Figura 33 (e) contém os campos necessários para cadastro de algum usuário. Os campos mais importantes são de “LOGIN” e “SENHA”, pois são estes que serão utilizados para confirmar o credenciamento no momento de entrar na tela de controle. Após preencher os dados, basta clicar no botão SALVAR.

A Figura 33 (f) mostra todos os cadastros já realizados, permitindo também excluí-los se for necessário.

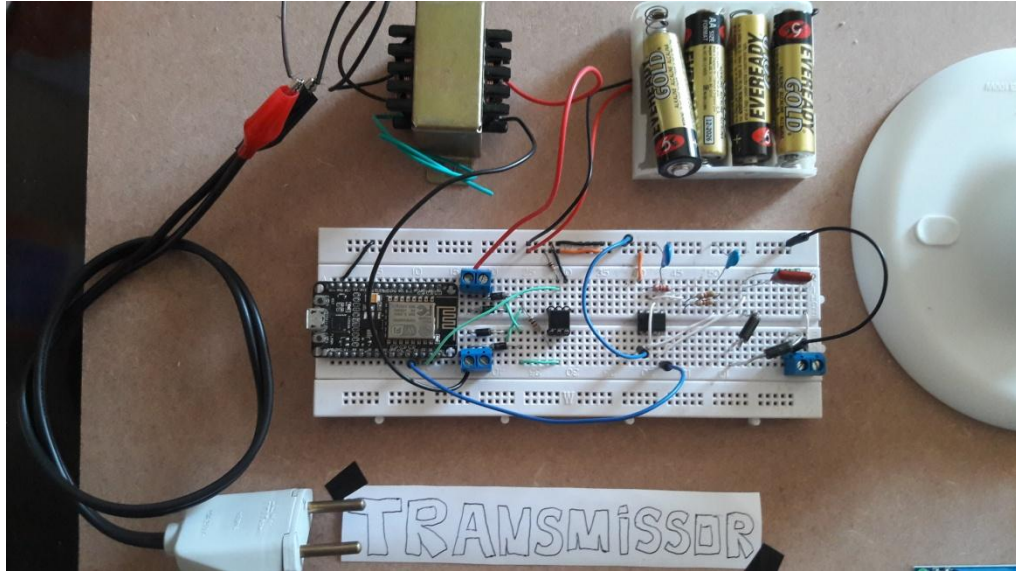
Os resultados do aplicativo foram bons como o esperado. Pois além de verificar o *login* da pessoa cadastrada, que é algo importante, pois somente pessoas autorizadas podem executar comandos em uma residência, ele também se mostrou satisfatório com a comunicação com o NodeMCU ESP8266 para alertá-lo sobre o envio de comando desejado de acionamento ou não das lâmpadas.

5.2. Módulos Transmissor e Receptor

5.2.1. Resultados do Módulo Transmissor

O módulo Transmissor ficou montado como mostrado na Figura 35.

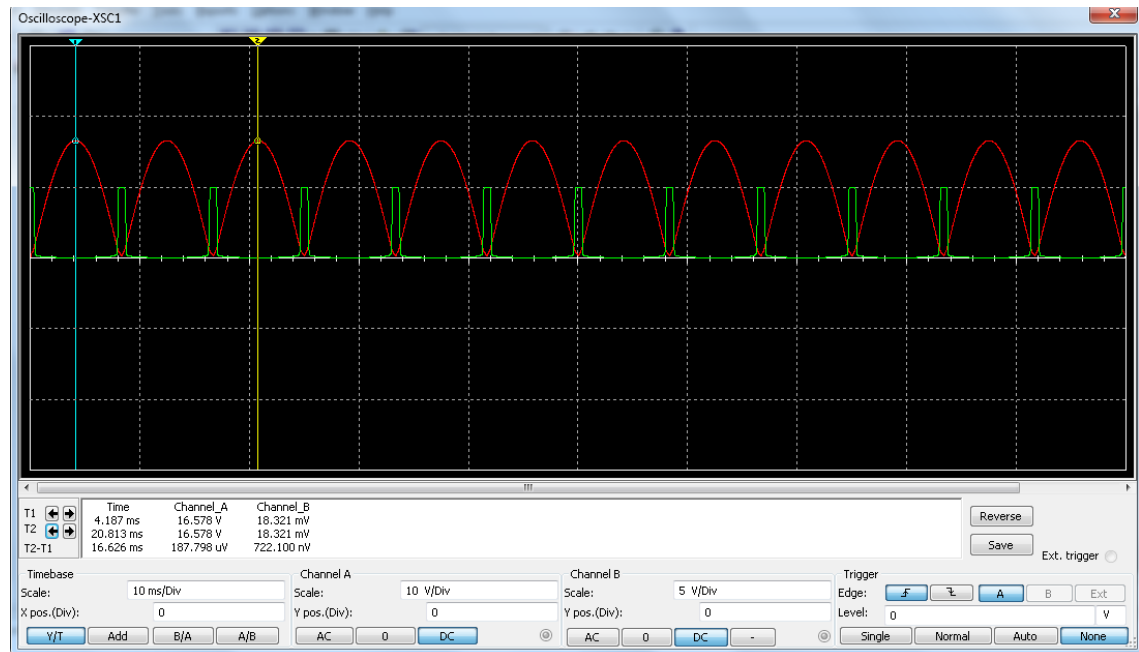
Figura 35 - Circuito Eletrônico Completo do Transmissor X10



FONTE: Do Autor (2019)

5.2.1.1. Resultados de Simulação do Circuito Detector de Passagem por Zero (*Zero-Crossing*)

Um osciloscópio virtual foi colocado no circuito eletrônico montado em software, sessão 4.2.1 a Figura 24, para visualizar seu comportamento, e este é mostrado na Figura 36. O canal 1 é o vermelho e está medindo a onda de sinal retificada que chega no Resistor, o Canal 2 é o verde e está medindo a onda de sinal que vai ser lida pelo microcontrolador.

Figura 36 - Ondas geradas pelo Osciloscópio do *Software Multisim*

FONTE: Do Autor (2019)

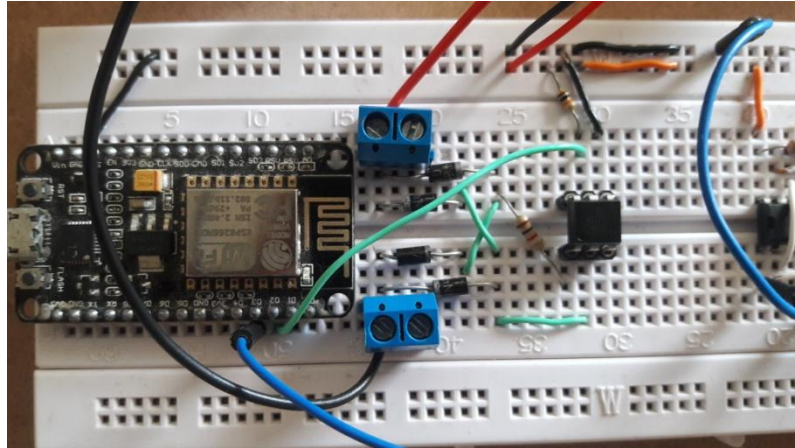
A partir das ondas geradas pelo osciloscópio é possível observar que encontram-se pulsos logo que a onda da rede elétrica está zero. Isso acontece devido ao fato de que quando o *led* do optoacoplador está em funcionamento, aceso, o transistor do Optoacoplador satura, e a leitura na saída é zero por causa do circuito de *Pull Up*. No entanto, quando as quedas de tensões desde a alimentação não resultarem em uma tensão suficiente para o funcionamento do *led* do optoacoplador, a tensão do *Pull Up* fica maior, e o transistor não satura, agindo como chave aberta, e a leitura da saída é igual a mostrada no sinal verde do osciloscópio, de 5 V.

5.2.1.2. Resultados Práticos do Circuito de Detecção de Passagem por Zero (*Zero-Crossing*)

Para detecção dos momentos de passagem da rede elétrica de 60 Hz pelo ponto zero, o circuito foi montado e testado com um osciloscópio digital. Obtiveram-se resultados satisfatórios, em vista que foi possível observar pulsos sempre em que o sinal da rede elétrica passava por zero. E desta forma foi possível saber os momentos exatos para transmissão do sinal X10.

O circuito detector de passagem por zero ficou montado como o mostrado na Figura 37, a seguir.

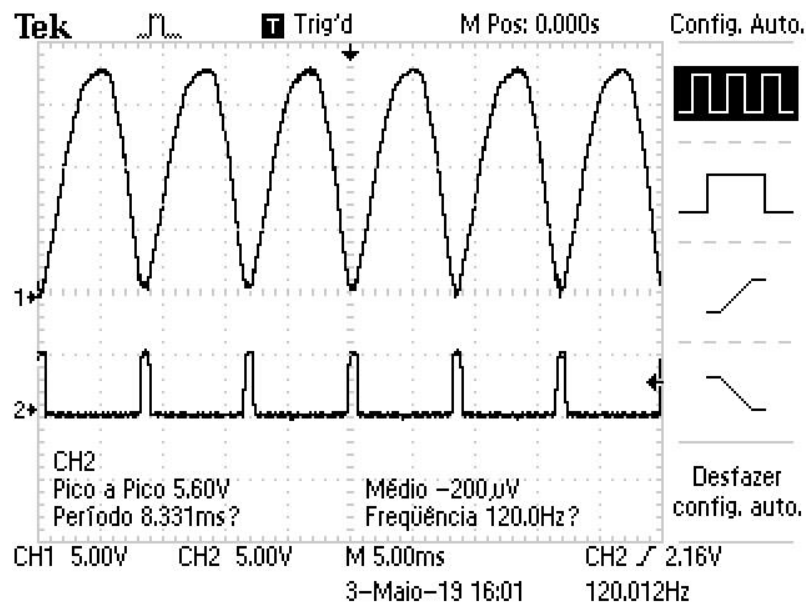
Figura 37 - Circuito Eletrônico de Detecção de Passagem por Zero



FONTE: Do Autor (2019)

O resultado gráfico retirado do osciloscópio pode ser observado na Figura 38.

Figura 38 - Resultados do Circuito Zero-Crossing



FONTE: Do Autor (2019)

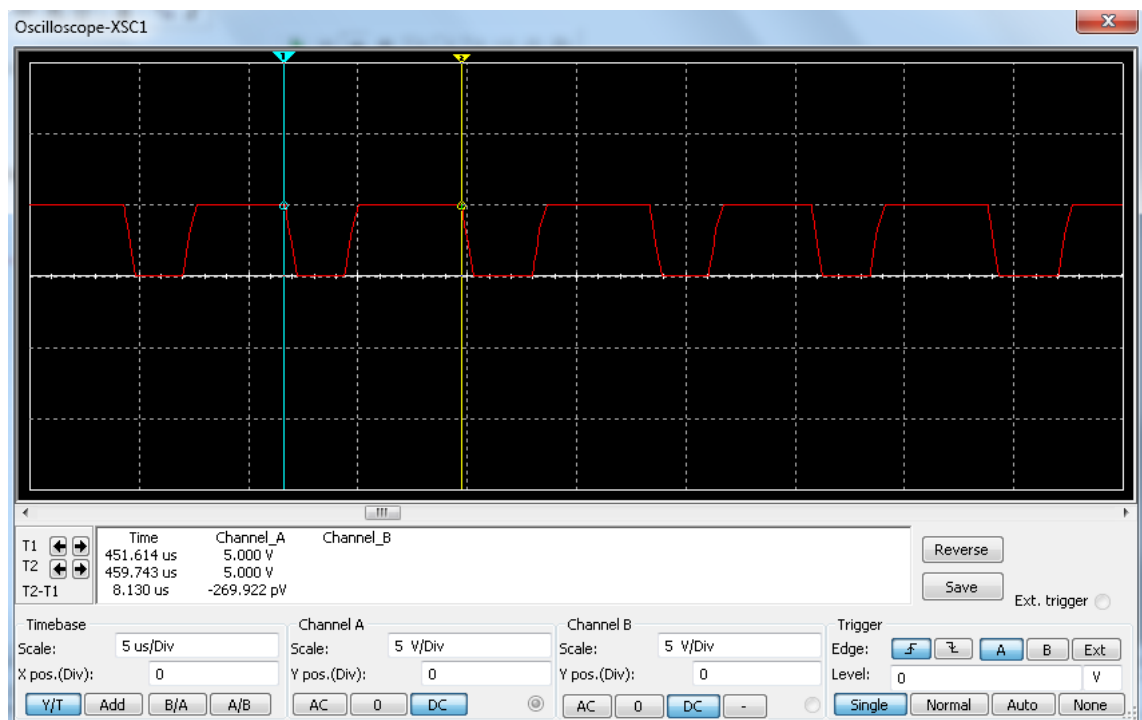
O canal 1 na Figura 38 mostra a onda retificada pelos diodos da ponte de diodos. Sinal este que vai para a entrada do optoacoplador 4N25, no qual a ponta de prova do osciloscópio é colocada antes do resistor de limitação.

O canal 2 mostra os pulsos nos momentos de passagem da onda por zero, no qual a ponta de prova é colocada na saída do optoacoplador, no circuito *pull-up*.

5.2.1.3. Resultados de Simulação do Circuito de Geração do Sinal de 120 kHz

A partir do microcontrolador ESP8266 utilizado no módulo Transmissor, é gerado um sinal de saída para dar o acionamento ou não do CI LM555, este sinal segue indicado ao lado esquerdo da Figura 25, como (Saída do Microcontrolador). E a partir do dimensionamento de cada componente do circuito, pode ser obtida a frequência desejada. Um osciloscópio virtual foi colocado na saída do acoplamento no CI555 para visualizar o sinal gerado, pode ser observada na Figura 39.

Figura 39 - Sinal de Saída do LM555



FONTE: Do Autor (2019)

Deve-se notar que a escala (“Scale”) foi colocada em 5 $\mu\text{s}/\text{Div}$ para que fosse possível enxergar a forma de onda da Figura anterior, já que por ser 120 kHz seria difícil identificá-la em outras escalas.

Para conferir a frequência deste sinal de saída, basta verificar o seu período, indicado na imagem por $(T_2 - T_1)$ sendo equivalente a 8,130 μs . Sabendo este valor, a frequência é dada pelo seu inverso, seguindo a equação (5).

$$f = \frac{1}{\Delta T}$$

Logo, a frequência encontrada neste circuito simulado é a seguinte:

$$f = \frac{1}{8,130 * 10^{-6}} = 123\ 001\ Hz$$

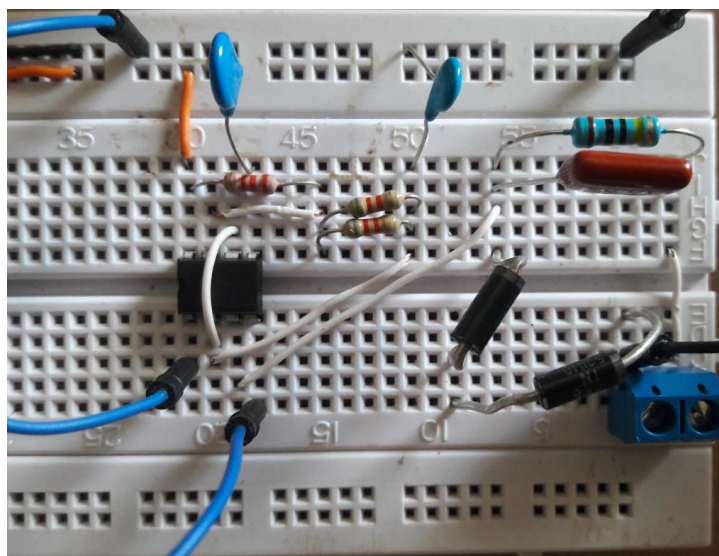
O sinal da saída do LM555 deve ser inserido logo a seguir da passagem por zero da onda senoidal de 60 Hz, com um atraso máximo de 500 microssegundos e duração de até 1 milissegundo. Esta particularidade é usada para os receptores saberem quando devem “escutar” a linha, X10 INFO (2013) Apud TAVARES (2014). Portanto, este tempo será controlado pelo microcontrolador NodeMCU ESP8266, acionando o LM555 por 1 milissegundo quando o bit a ser enviado for 1, ou não o acionando quando o bit a ser enviado for zero.

5.2.1.4. Resultados Práticos do Circuito de Geração do Sinal de 120 kHz

Com o auxílio de um osciloscópio digital foi possível observar que os resultados do Oscilador LM555 para geração do sinal X10 de 120 kHz foram satisfatórios. Contudo, o gráfico demonstrou alguns pequenos distúrbios nas bordas de subida no momento de criação do sinal, conhecidos como *spikes*, no qual podem ser corrigidos utilizando um capacitor de desacoplamento de 100 nF entre os pinos 1 e 8 do CI555.

O circuito de geração do sinal de 120 kHz ficou montado como o mostrado na Figura 40.

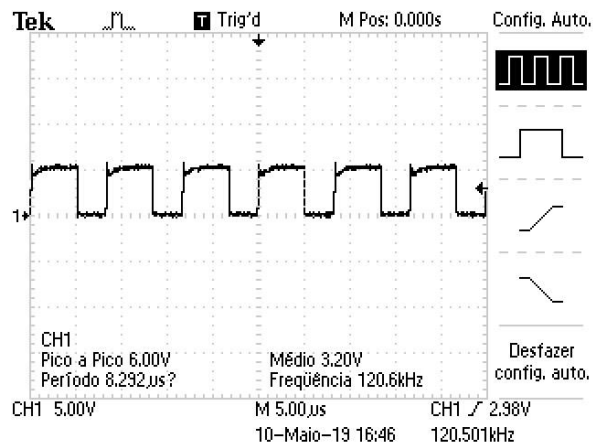
Figura 40 - Circuito Eletrônico de Geração do Sinal X10



FONTE: Do Autor (2019)

O resultado gráfico do sinal gerado pelo oscilador foi obtido com ajuda do osciloscópio, e pode ser observado na Figura 41, a seguir.

Figura 41 - Resultados do Circuito Oscilador

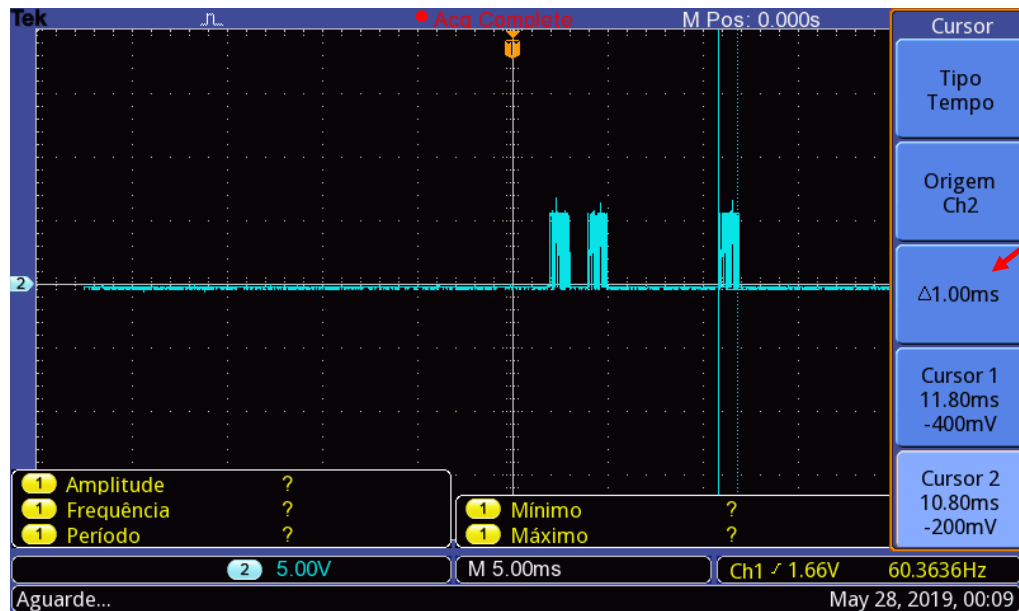


FONTE: Do Autor (2019)

A ponta de prova do canal 1 do Osciloscópio é conectada a saída do Oscilador 555, ou seja, na porta 3.

Este sinal gerado de 120 kHz, foi codificado para ter um tempo de duração de 1 mS, como pede o protocolo. E este resultado pode ser observado na Figura 42.

Figura 42 - Duração do Sinal X10



FONTE: Do Autor (2019)

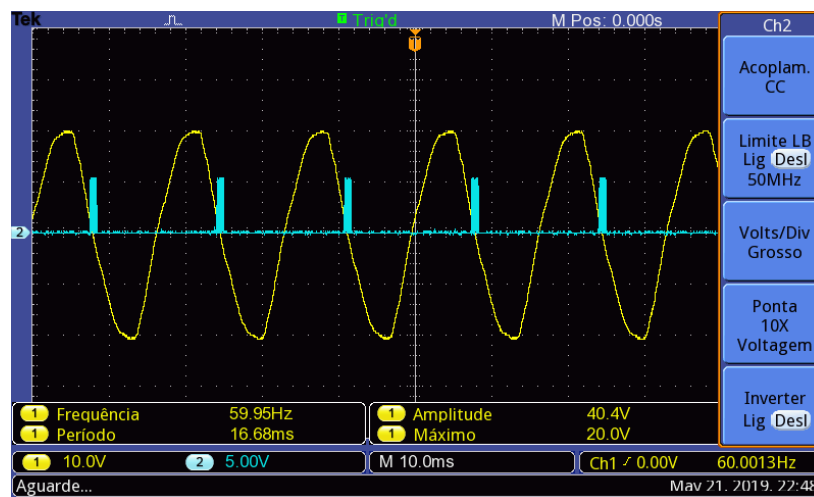
O período de duração do sinal está indicado pela seta. Logo, conclui-se que este resultado de fazer o sinal durar 1 ms foi satisfatório.

Quanto a inserção do sinal de 120 kHz na rede elétrica de 60 Hz, os resultados obtidos foram satisfatórios também. Pois como podem ser visualizados nos resultados gráficos das próximas imagens, o teste prático de inserir um sinal de 120 kHz foi realizado, como é dito no protocolo, e sempre em passagens pelo ponto zero da rede de 60 Hz.

Foram realizados os seguintes testes:

- a) Na Figura 43 foram enviados uma série de *busrts* do sinal de 120 kHz, juntamente com o seu complemento, em vista que desta forma se minimiza a probabilidade de ruídos elétricos serem confundidos com algum sinal válido, assim como é dito no protocolo X10.

Figura 43 - Envio do Sinal X10 na Rede Elétrica



FONTE: Do Autor (2019)

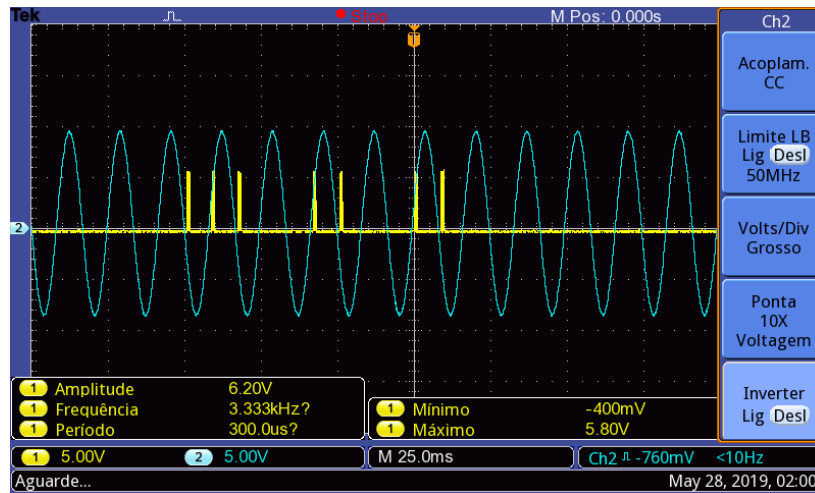
O canal 1, em amarelo, representa o sinal de 60 Hz, com a ponta de prova colocada no lado de baixa tensão do transformador ligado aos 127 V. O canal 2, em azul, indica o sinal X10, de 120 kHz, gerado pelo CI555 e inserido a rede elétrica em pontos de passagem por zero.

- b) Na Figura 44, foi enviado sinal X10 para controle da lâmpada 1, respeitando os códigos do protocolo. O comando dado nesta imagem foi o de desligamento da lâmpada, representado na imagem em cor amarela.

Protocolo X10 utilizado

Start code: 1 1 1 0 House code: 0 1 1 0 Unit code: 0 1 1 0 Function code: 0

Figura 44 - Envio de Comando Para Lâmpada 1 Desligar



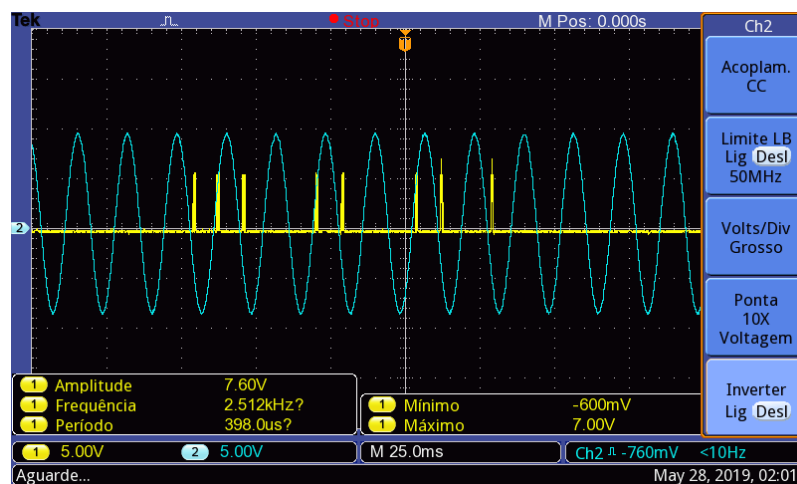
FONTE: Do Autor (2019)

- c) Na Figura 45, foi enviado sinal X10 para controle da lâmpada 1. O comando dado nesta imagem foi o de ligar a lâmpada 1, sinal representado em amarelo.

Protocolo X10 utilizado

Start code: 1 1 1 0 House code: 0 1 1 0 Unit code: 0 1 1 0 Function code: 1

Figura 45 - Envio de Comando Para Lâmpada 1 Ligar



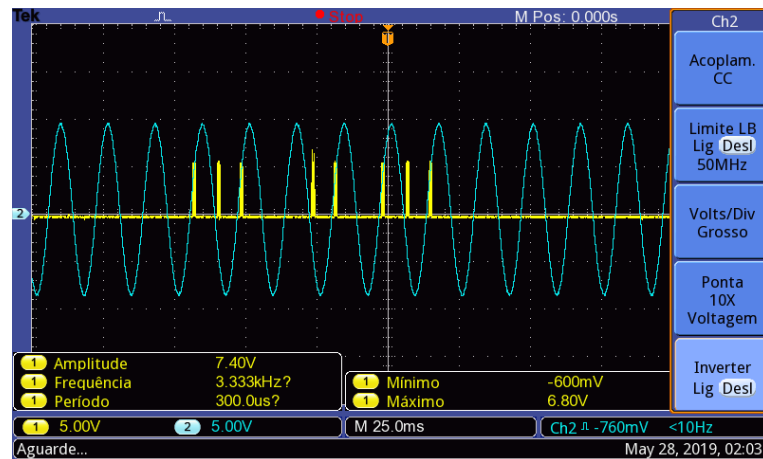
FONTE: Do Autor (2019)

- d) Na Figura 46, foi enviado sinal X10 para controle da lâmpada 2, respeitando os códigos do protocolo X10. O comando dado nesta imagem, em cor amarela, foi o de desligar a lâmpada 2.

Protocolo X10 utilizado

Start code: 1 1 1 0 House code: 0 1 1 0 Unit code: 1 1 1 0 Function code: 0

Figura 46 - Envio de Comando Para Lâmpada 2 Desligar



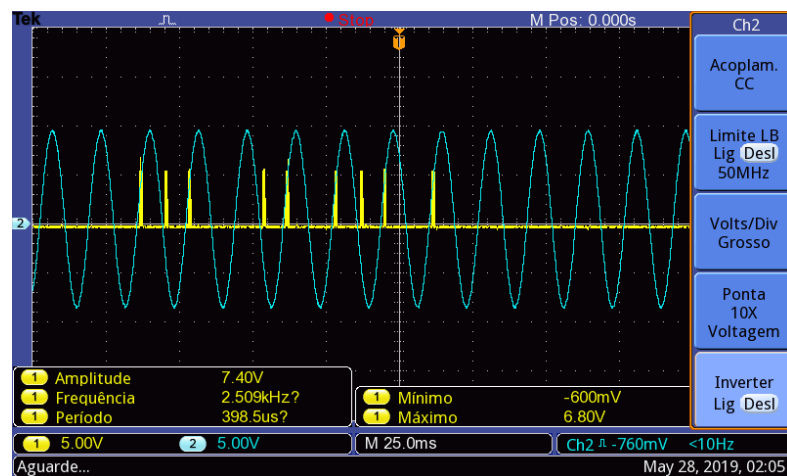
FONTE: Do Autor (2019)

- e) Na Figura 47, foi enviado sinal X10 para controle da lâmpada 2, respeitando os códigos do protocolo X10. O comando dado nesta imagem foi o de ligar a lâmpada 2, em cor amarela na imagem.

Protocolo X10 utilizado

Start code: 1 1 1 0 House code: 0 1 1 0 Unit code: 1 1 1 0 Function code: 1

Figura 47 - Envio de Comando Para Lâmpada 2 Ligar

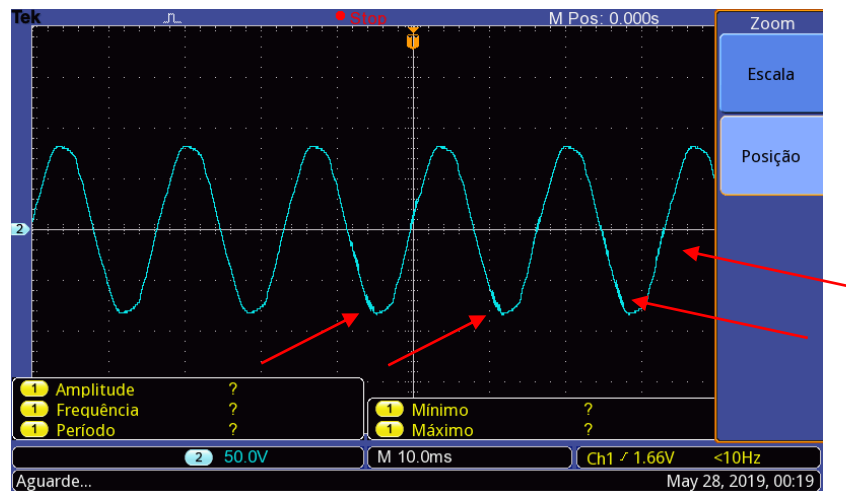


FONTE: Do Autor (2019)

Os comandos anteriormente realizados foram aceitáveis e com resultados satisfatórios, pois cada comando dado foi executado no protótipo e obtido sucesso.

Ao se inserir um sinal de 120 kHz em uma rede de 60 Hz, os dados são transmitidos como mostra na Figura 48.

Figura 48 - Transmissão dos Dados na Rede Elétrica

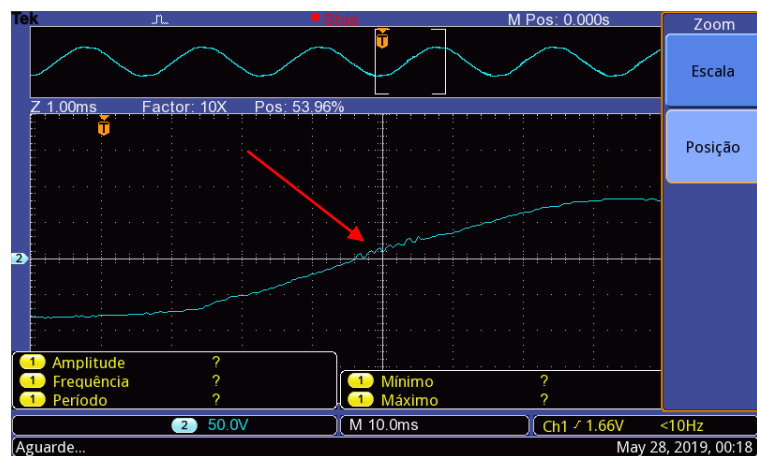


FONTE: Do Autor (2019)

É possível notar nesta imagem anterior, Figura 48, que o sinal X10 enviado está inserido no sinal da rede elétrica de 60 Hz. São estas pequenas ondulações notadas em alguns pontos do sinal e alguns destes estão indicados por setas.

Utilizando a função de ampliação no osciloscópio (*zoom*), é possível observar melhor este sinal de 120 kHz presente na rede elétrica de 60 Hz. E o mesmo pode ser visualizado na Figura 49, indicado pela seta.

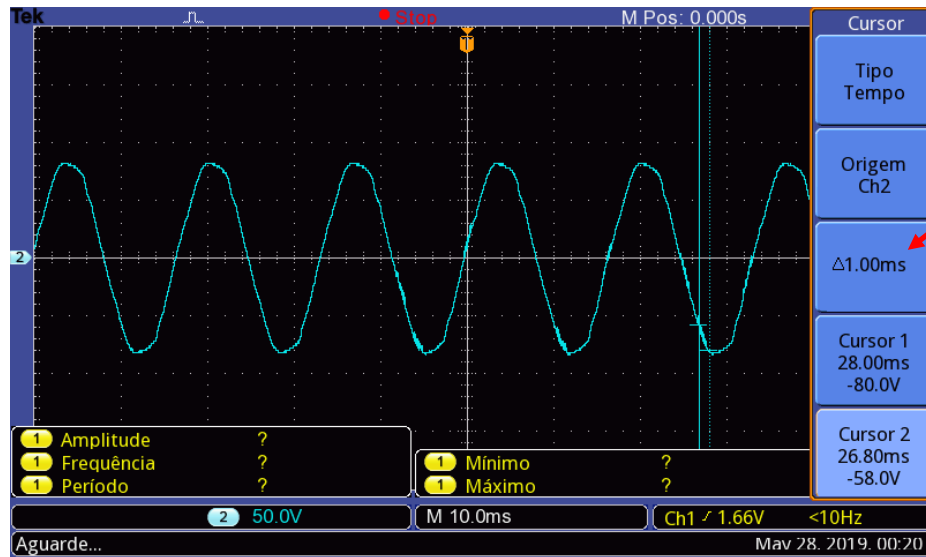
Figura 49 – Aplicação da Função “zoom” no Sinal X10 Presente na Rede Elétrica de 60 Hz



FONTE: Do Autor (2019)

Utilizando os cursores do osciloscópio, é possível obter o tempo de duração do sinal contido na rede elétrica. O mesmo pode ser visualizado na Figura 50, a seguir.

Figura 50 - Duração do Sinal de 120 kHz na Rede Elétrica

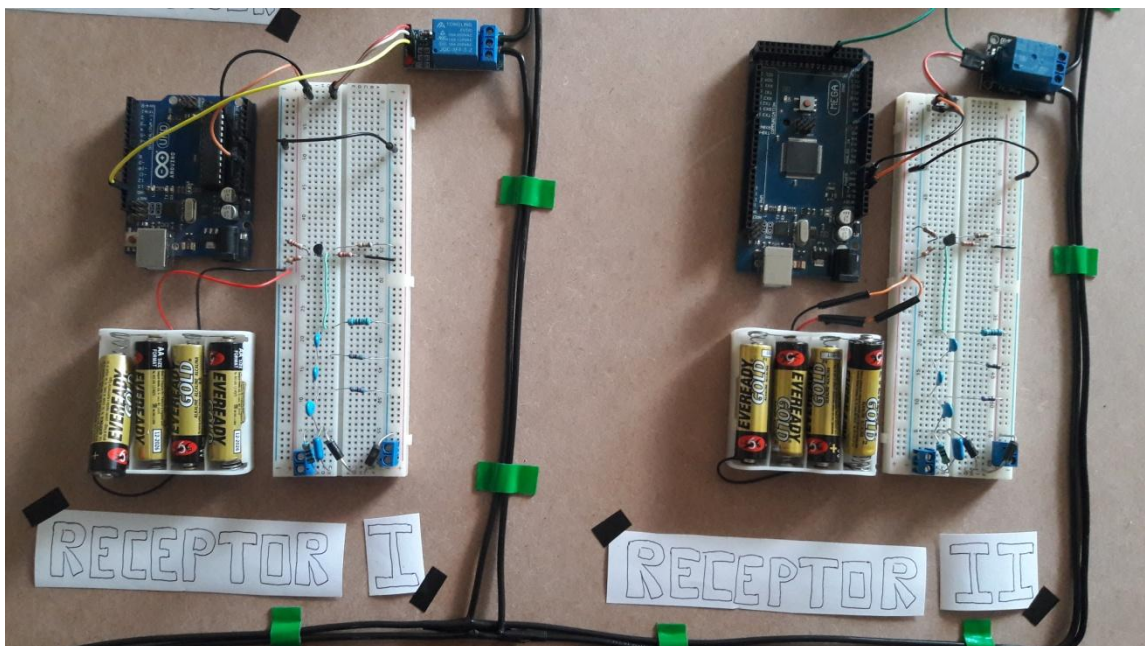


FONTE: Do Autor (2019)

5.2.2. Resultados do Módulo Receptor

Os módulos Receptores ficaram montados como mostrado na Figura 51.

Figura 51 - Circuito Completo do Módulo Receptor

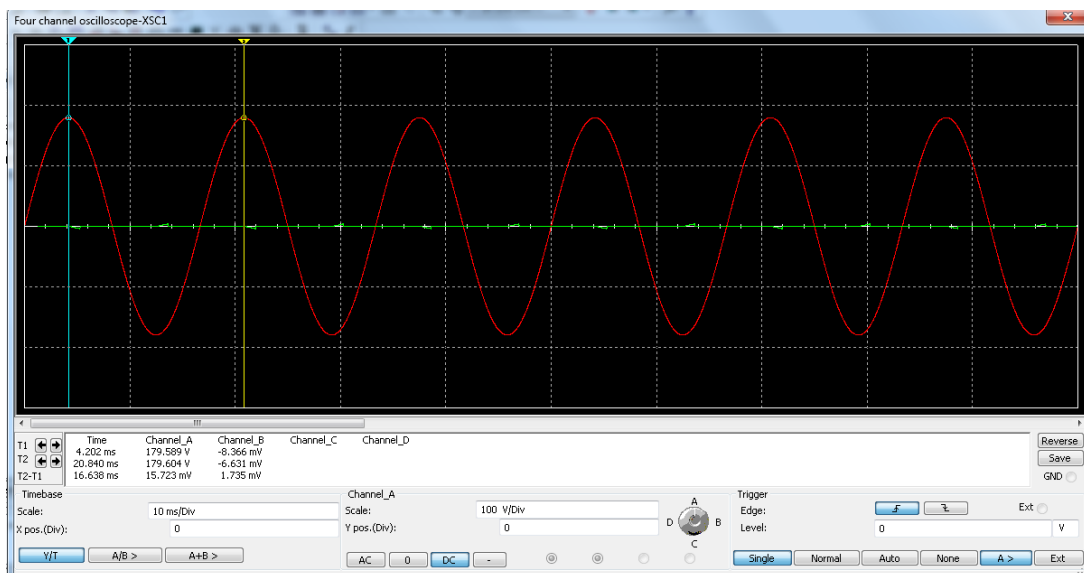


FONTE: Do Autor (2019)

5.2.2.1. Resultados de Simulação do Circuito de Filtragem do Sinal

O principal sinal a ser retirado, por não ser de interesse e como linha de transmissão do sinal X10, é o da rede elétrica de 60 Hz. Observa-se na seguinte Figura 52, que a saída do primeiro filtro, a partir do esquemático montado na Figura 28, com uma frequência de corte de 10 kHz já realiza essa filtragem. Contudo, mais dois filtros também são adicionados na sequência deste, pois, por serem filtros mais simples e que realizam uma filtragem menos eficiente, essa sequência ajuda na atenuação dos ruídos com frequências menores que o sinal X10 desejado de 120 kHz.

Figura 52 - Filtragem do Sinal de 60 Hz



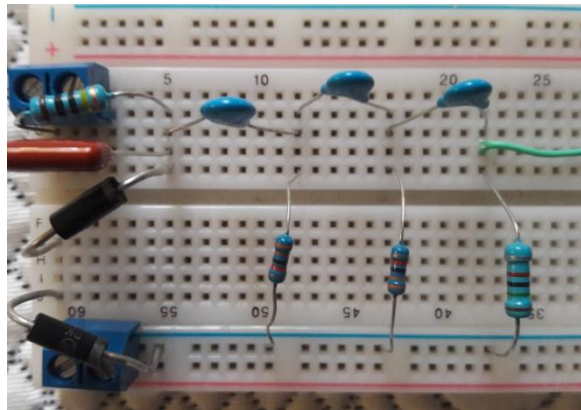
FONTE: Do Autor (2019)

O canal 1 do gráfico da Figura 52, em cor vermelha, corresponde o sinal de 60 Hz que vai para o acoplamento do sinal, e o canal 2, em cor verde, mostra a saída do primeiro filtro. Como pode ser visto a frequência de 60 Hz já está bem filtrada.

5.2.2.2. Resultados Práticos do Circuito de Filtragem do Sinal

O circuito de tratamento de filtragem do sinal é o mostrado na Figura 53.

Figura 53 - Circuito de Tratamento de Filtragem do Sinal



FONTE: Do Autor (2019)

O circuito de filtragem do sinal se mostrou adequado e teve um bom resultado. Pois mesmo sendo um filtro simples como foi dito, o mais importante é identificar o sinal X10 da rede elétrica por meio do microcontrolador Arduino, atenuando os ruídos presentes que não tenham a frequência do sinal requerido e principalmente retirando também a frequência de 60 Hz.

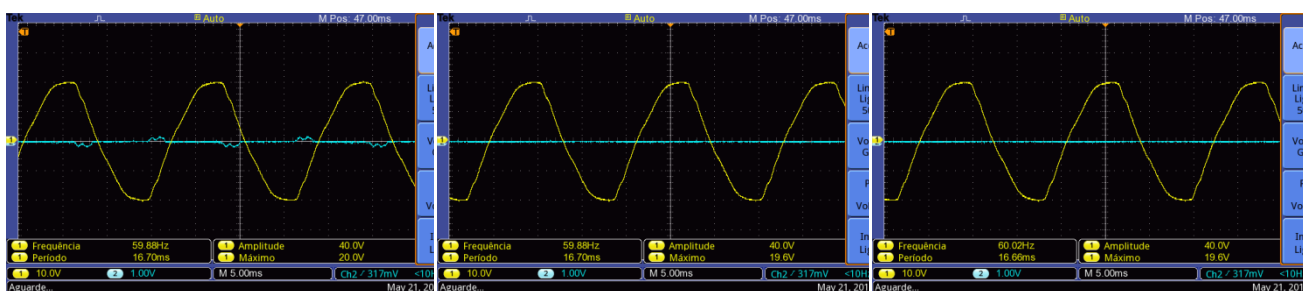
Para testar este sistema de filtragem primeiramente foi aplicada a frequência de 60 Hz da rede elétrica diretamente na entrada da placa do Receptor X10. Os resultados podem ser visualizados nos gráficos a seguir, na Figura 54.

Figura 54 – Filtragem 60 Hz

(a) Saída do Filtro 1

(b) Saída do Filtro 2

(c) Saída do Filtro 3



FONTE: Do Autor (2019)

O canal 1, em amarelo, é o sinal da rede elétrica de 60 Hz. O canal 2, em azul, é o sinal da rede elétrica passando por cada filtro nas Figuras.

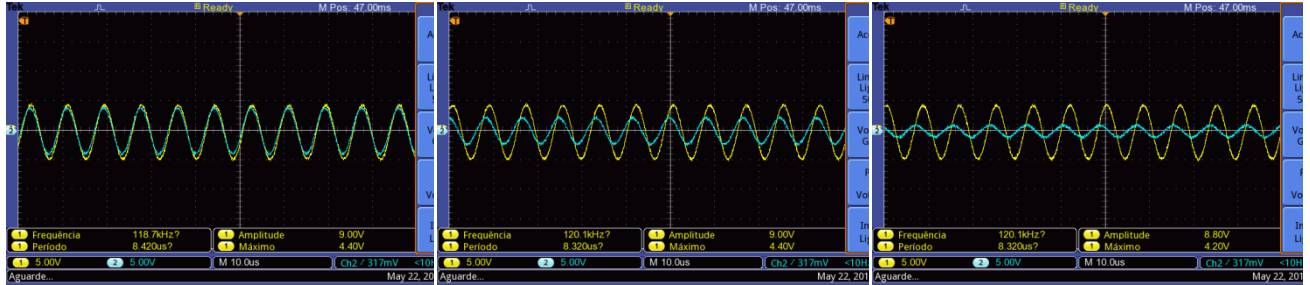
Em seguida, utilizando um Gerador de Sinais, foi aplicado um sinal de 120 kHz na entrada da placa do Receptor X10, e o resultado pode ser visualizado na Figura 55.

Figura 55 – Filtragem 120 kHz

(a) Saída do Filtro 1

(b) Saída do Filtro 2

(c) Saída do Filtro 3



FONTE: Do Autor (2019)

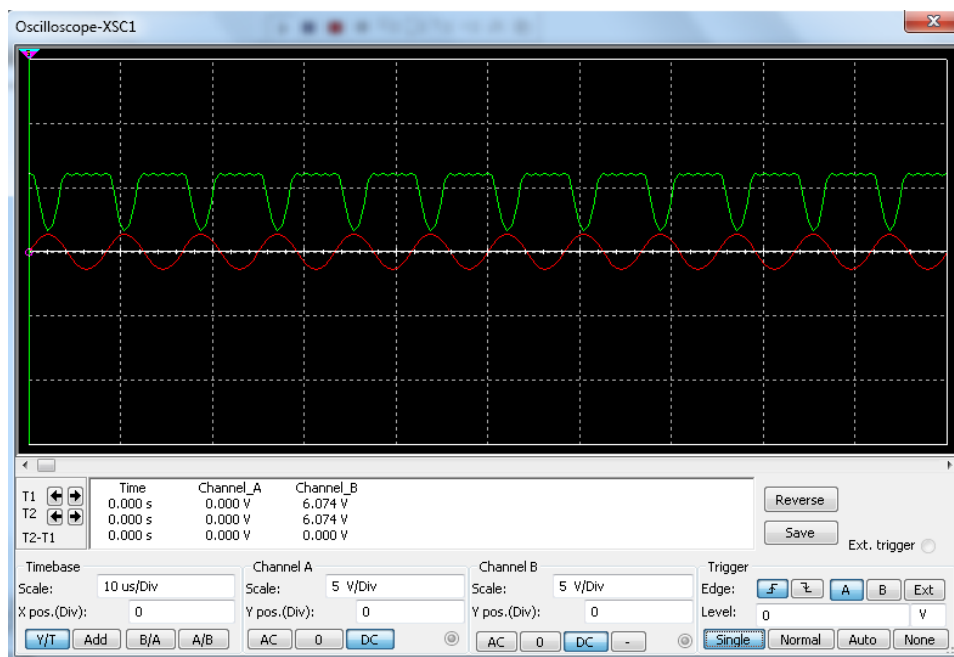
O canal 1, em amarelo, é o sinal gerado de 120 kHz. O canal 2, em azul, é este mesmo sinal passando por cada filtro nas Figuras.

Como pode ser visto o sinal em azul que é o desejado, fica um pouco atenuado, e por isso a necessidade de amplificá-lo para uma boa leitura do Arduino ao sinal X10.

5.2.2.3. Resultados de Simulação do Circuito de Amplificação do Sinal

Para verificar sua funcionalidade, foi aplicado na entrada do circuito montado em software, Figura 29, deste amplificador um sinal senoidal de 1 V de tensão com frequência de 120 kHz. E o resultado obtido é mostrado na Figura 56.

Figura 56 - Sinal Resultante do Amplificador



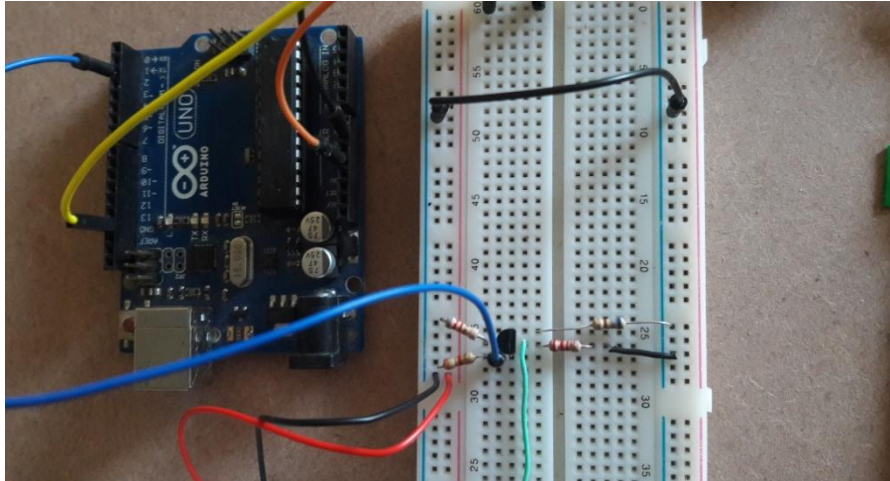
FONTE: Do Autor (2019)

O canal 1, em cor vermelha, indica o sinal de entrada aplicado. E o canal 2, em verde, mostra o sinal amplificado na saída do transistor. Sendo este segundo, o sinal a ser enviado para o Arduino.

5.2.2.4. Resultados Práticos do Circuito de Amplificação do Sinal

O circuito de amplificação do sinal ficou montado como mostra na Figura 57.

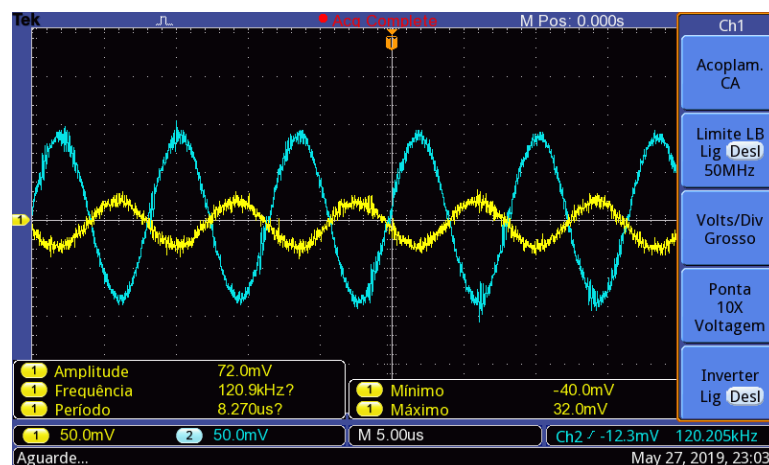
Figura 57 - Circuito Amplificador



FONTE: Do Autor (2019)

Aplicando o sinal de 120 kHz no amplificador, sinal resultante da Figura 55 (c) após passar dos filtros, é possível observar o sinal de saída na Figura 58.

Figura 58 - Resultado do Amplificador em um Sinal de 120 kHz



FONTE: Do Autor (2019)

O canal 1, em amarelo, representa o mesmo sinal da Figura 55-(c), sendo o sinal de 120 kHz após passar dos filtros. O canal 2, em azul, representa o resultado de amplificação deste sinal, na saída do amplificador.

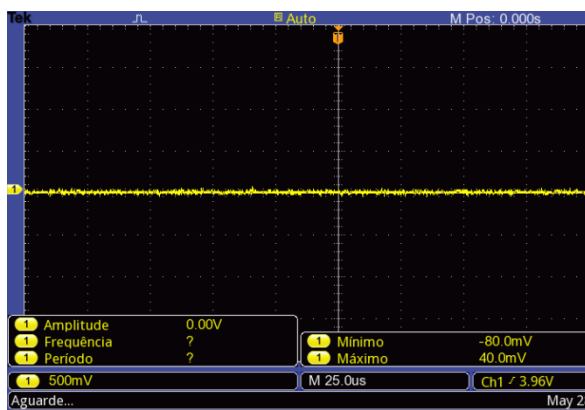
Mostrando desta forma um resultado adequado para leitura do Arduino.

Por fim, o circuito receptor completo foi testado, incluindo o acoplamento e os diodos limitadores de tensão, utilizando uma excitação de sinal de 120 kHz constantemente na rede elétrica, respeitando o protocolo X10.

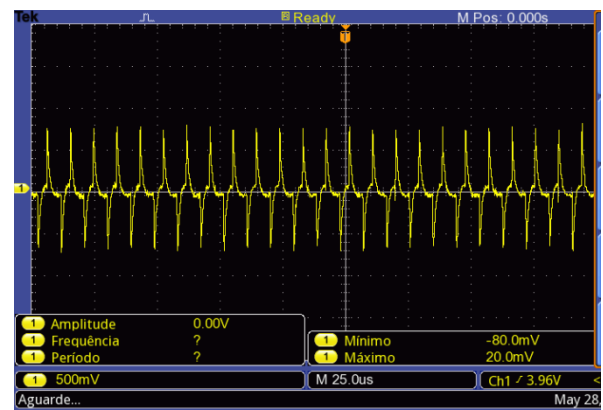
Na Figura 59, a seguir, é mostrada a saída do tratamento de sinal dos filtros passa-altas, onde não acontece excitação na rede elétrica do sinal de 120 kHz, e quando acontece a excitação.

Figura 59 - Saída dos Filtros com Excitação de Sinal de 120 kHz

(a) Sem Excitação de Sinal



(b) Com Excitação de Sinal

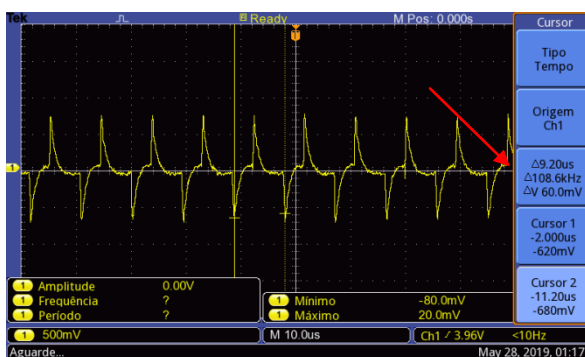


FONTE: Do Autor (2019)

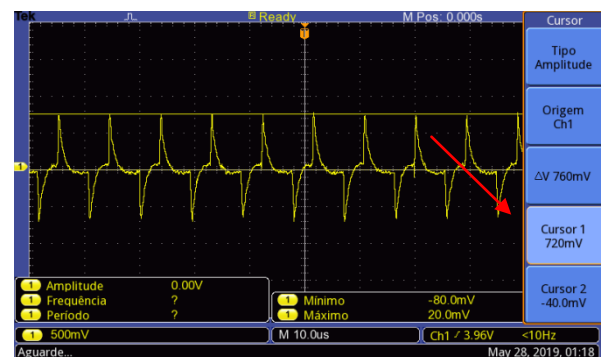
As características deste sinal obtido podem ser verificadas nas imagens a seguir, Figura 60.

Figura 60 – Características do Sinal de 120 kHz Filtrado

(a) Frequência



(b) Tensão



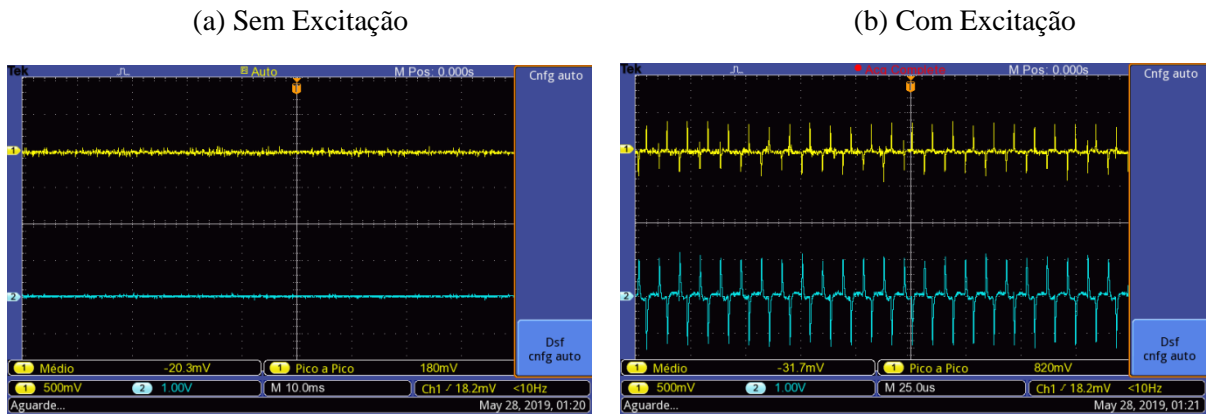
FONTE: Do Autor (2019)

Devido ao ajuste limitado nos cursores do osciloscópio, pode ser observado, na Figura 60 (a), que a frequência é de aproximadamente 108 kHz, sinal compatível com o que é enviado a rede elétrica de 120 kHz. E a tensão de saída visualizada na Figura

60-(b) de 720 mV, devido as atenuações ocorridas durante o processo de filtragem, e por isso a necessidade de amplificação do mesmo. No entanto, estes foram resultados esperados.

E na etapa de amplificação, os resultados podem ser observados na Figura 61.

Figura 61 – Resultados da Amplificação com Excitação do Sinal de 120 kHz



FONTE: Do Autor (2019)

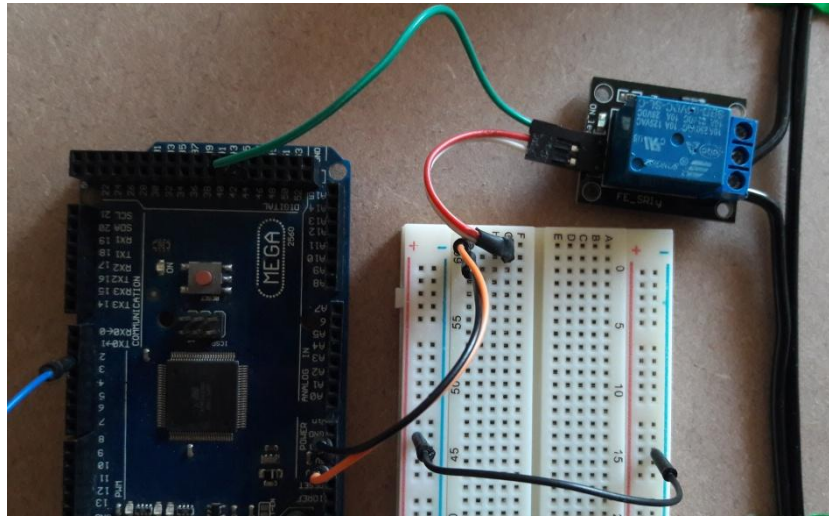
O canal 1, em amarelo, indica o sinal que chega na base do transistor, ou seja, entrada do amplificador. O canal 2, em azul, indica o sinal amplificado na saída do transistor.

Desta forma, os resultados de filtragem e amplificação se mostram validados e satisfatórios. Em vista que, o sinal do canal 2 da Figura 61 é um sinal válido a ser lido pelo microcontrolador Arduino, que ao receber um sinal X10 válido executa o comando no dispositivo elétrico.

5.2.2.5. Resultados do Acionamento do Dispositivo Elétrico

O circuito montado para acionamento do dispositivo elétrico pode ser observado na Figura 62, a seguir.

Figura 62 - Circuito de Acionamento



FONTE: Do Autor (2019)

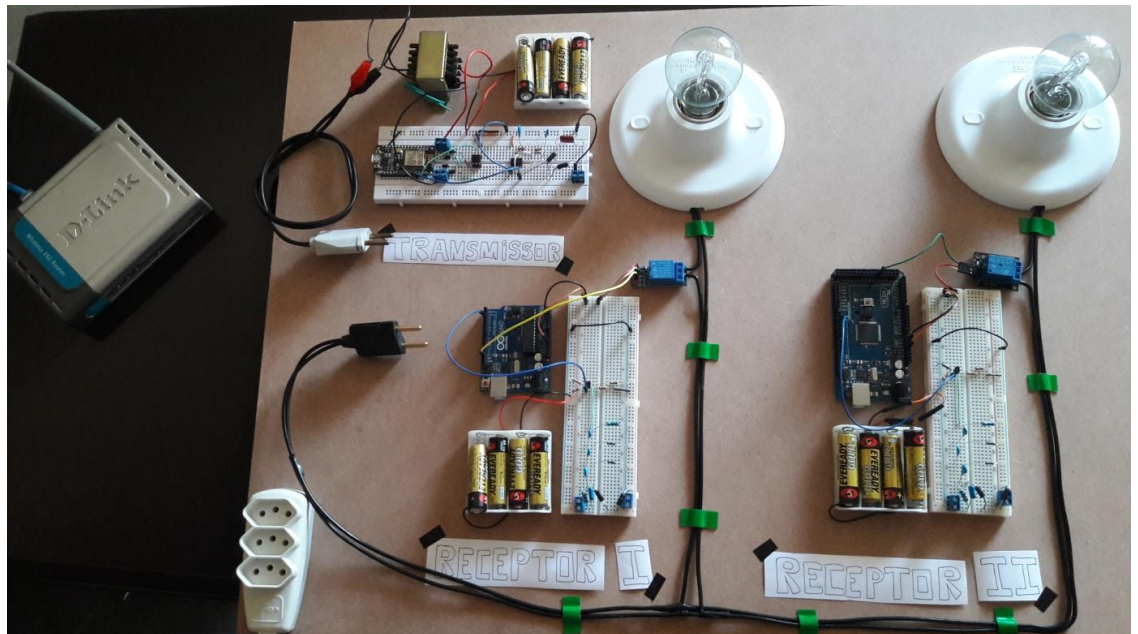
Este circuito teve um bom funcionamento, em vista que o Arduíno ao receber o comando X10 e decodificar a função a ser executada, necessita somente enviar um sinal (HIGH ou LOW) de uma porta de saída para o módulo relé, abrindo ou fechando os seus contatos para deixar o circuito como o desejado.

Como prática de segurança, o ideal é que o módulo relé seja utilizado no estado de normalmente aberto, e que a fase a chegar ao dispositivo elétrico que seja interrompida pelo módulo.

5.3. Maquete para validação

A maquete completa de validação do protocolo X10 pode ser visualizada a seguir, Figura 63.

Figura 63 - Maquete de Validação do Protocolo X10



FONTE: Do Autor (2019)

A partir da maquete, foi possível testar a comunicação via rede elétrica para Automação Residencial. Pois ao conectar na rede elétrica o Transmissor, as lâmpadas, e também os dois Receptores, esta última a partir dos bornes em cada placa, é possível dar comandos via controlador/*smartphone*, e observar que as funções são executadas nos Receptores.

Desta forma, os resultados podem ser dados como válidos e satisfatórios, pois a atividade de transmissão de dados via rede elétrica, como é dito na teoria, é visto aqui na prática a partir da validação de comunicação no protótipo criado.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta de forma bem detalhada o desenvolvimento de um sistema embarcado, que no caso deste é um sistema Transmissor e Receptor de dados via rede elétrica, Protocolo X10, para aplicação prática de controle de dispositivos elétricos no contexto de Automação Residencial. E por meio dos resultados, os quais foram satisfatórios e da validação pela maquete montada, pode ser estabelecida como válida a aplicação deste sistema no âmbito de Automação Residencial.

Foram realizados estudos, simulações e testes práticos de cada etapa separadamente do sistema. Desde a identificação do momento correto de comunicação na rede elétrica, criação do sinal na frequência adequada a ser inserido nestes instantes, filtragem e amplificação de sinal, e feito o dimensionamento de cada componente eletrônico utilizado.

Existem várias maneiras de se desenvolver um projeto via Protocolo X10, e a cada maneira várias dificuldades podem ser encontradas. Na realização deste, por exemplo, existiram algumas dificuldades, mais especificamente no dimensionamento dos componentes. Pois, ao se tratar de um trabalho onde a base é a tensão de 127 V, é um pouco difícil visualizar de forma clara em simulações, onde várias vezes tudo acontece de forma esperada, porém ao se aplicar na prática, existem vários outros fatores que podem ocorrer e modificar os resultados. Portanto, as simulações devem ser tratadas como um direcionamento, um ponto de partida para os valores dos componentes e resultados esperados, e não como certeza do que vai ocorrer, e a partir daí vai se ajustando os valores até obter o resultado desejado.

REFERÊNCIAS

ALFATREL. **Automação Residencial Centralizada x Descentralizada**. Disponível em: <<http://blog.alfatel.com.br/automacao-residencial-centralizada-x-descentralizada-qual-a-melhor/>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

AZEVEDO, T. **Roteamento ZigBee**. Disponível em: <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/CPE825/2006/resumos/TrabalhoZigbee.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BOLZANI, C. **Desmitificando a Domótica**. Disponível em: <http://www.bolzani.com.br/artigos/art01_07.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2019.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à ANÁLISE DE CIRCUITO**. 10^a ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

CEMIG. **O Que São as Redes Inteligentes de Energia ?**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Redes_Inteligentes/Paginas/as_redes_inteligentes.aspx>. Acesso em: 12 mar. 2019.

CENTRAL CASA. **Teoria da Transmissão**. Disponível em: <<http://www.eurox10.com/Content/X10SignalTheory.htm>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CHUNDURU, V; SUBRAMANIAN, N. **Effects of Power Lines on Performance of Home Control System**. Disponível em: <https://www.uttyler.edu/cs/documents/chundurur_subramanian.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

COMAT RELECO. **Automação Industrial – Definição e História**. Disponível em: <<https://www.comatreleco.com.br/automacao-industrial-historia/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

DIAS, C. L. A.; PIZZOLATO, N. D. **Domótica – Aplicabilidade e Sistemas de Automação Residencial**.

ENGETELES. **Indústria 4.0**. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

ERGEN, S.,C. **ZigBee/IEEE802.15.4 Summary**. Disponível em: <<http://users.eecs.northwestern.edu/~peters/references/ZigtbeeIEEE802.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

EVANS, D. **A Internet das Coisas**. Cisco, Abril 2011. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411final.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018.

FÁBIO. **Mundo Projetado**. Disponível em: < <http://mundoprojetado.com.br/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

FERREIRA, A. L. **Squids Arduino**. Disponível em: <<http://www.squids.com.br/arduino/index.php/calculadores/calculador-ci-555-modo-astavel>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

FERREIRA, J. A. O. **Interface homem-máquina para domótica baseado em tecnologias Web**. Disponível em: < https://web.fe.up.pt/~ee01117/rel_6JUL.pdf >. Acesso em: 17 fev. 2019

FERREIRA, V. C. **Implementação e Controle de Interruptores Inteligentes Via Protocolo MQTT Para Automação Residencial**, 2018.

GOUVEIA, P. E. F. **DOMUS A – Automação de Ambientes Residenciais**. Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Mecânica, 2009.

JUNIOR, E.B.D. **The History of X10**. Disponível em: <http://home.planet.nl/~lhendrix/x10_history.htm>. Acesso em: 25 mar. 2019.

NEOCONTROL. **Soluções em Automação.** Disponível em: <<https://www.neocontrol.com.br/news/sistema-de-seguranca-residencial/>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

NUNES, R. J. C. **Análise Comparativa de 4 Tecnologias Domóticas.** Disponível em: <<https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/edificios-inteligentes>>. Acesso em: 26 mar 2019.

MARIOTONI, C. A.; ANDRADE JR., E. P. **Descrição de Sistemas de Automação Predial Baseados em Protocolos PLC Utilizados em Edifícios de Pequeno Porte e Residências.** Revista de Automação e Tecnologia de Informação. v.1, n.1, 2002.

MATHIAS, A.; FALEIRO, A. **Automação Residencial – Uma Aliada do Consumo de Energia.** Disponível em: <<http://www.portalconstruindo.com.br/automacao-residencial-uma-aliada-na-reducao-do-consumo-de-energia/>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

MORAES, E. **Sala da Elétrica – Conhecimento ao seu alcance.** Disponível em: <<https://www.saladaelettrica.com.br/como-a-automacao-pode-auxiliar-a-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 07 mar. 2019.

NUNES, J. P. **Configuração de Sistemas Domóticos.** Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139285241/TeseSEM2_final.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2019.

PEDERZANI, L. E. M. **Teoría y Aplicación de La Informática II – Protocolo X10.** Disponível em: <<http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/X10.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018.

SALEIRO, M.; EY, E. **ZigBee – Uma Abordagem Prática.** Disponível em: <https://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

SALES, K. P.; OLIVEIRA, L.M.; SILVA, M.A.I.; JUNIOR, S.V.S. **Automação Residencial Uma Abordagem em Relação ao Cenário Atual.** Disponível em: <http://www.academia.edu/31435707/AUTOMA%C3%87%C3%83O_RESIDENCIAL_UM_A_ABORDAGEM_EM_RELA%C3%87%C3%83O_AO_CEN%C3%81RIO_ATUAL>. Acesso em: 01 jan. 2019.

SANTOS, B. P.; SILVA, L.A.M. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática.** Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018

SANTOS, G. **Automação Industrial.** Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/o-que-e-automacao-industrial/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

TAVARES, G. B.; BATISTA, G. H. B.; RAMOS, W. P. **Sistema Microcontrolado Para Automação Residencial Baseado em Power Line Comunnication Via Protocolo X-10.** Disponível em: <https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012_2_25/2012_2_25_monografia.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

TEZA, V. R. **Alguns aspectos sobre automação residencial – Domótica.** Tese de Mestrado. UFSC, Santa Catarina, 2002.

TORRES, A. B. B; ROCHA, A. R.; SOUZA, J. N. **Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo.** Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wperformance/2016/009.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

TRINDADE, A. B. **Microcontroladores 32 bits e a Internet: Uma proposta de aplicação para Automação Industrial, Predial e Residencial.** Disponível em: <<http://albt.tripod.com/x10.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

YUAN, V. **IBM Developer – Conhecendo o MQTT.** Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

Z WAVE ALLIANCE. **About Z-Wave Technology.** Disponível em: <https://z-wavealliance.org/about_z-wave_technology/>. Acesso em: 16 abr. 2019.