

RENATO FERNANDES TOMON AVELINO
TARCISO ALVIM MARTINS

S.T.A.R. : Sistema de Tomadas para Automação Residencial

São Paulo
2013

RENATO FERNANDES TOMON AVELINO
TARCISO ALVIM MARTINS

S.T.A.R. : Sistema de Tomadas para Automação Residencial

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Grau de
Engenheiro Elétrico

São Paulo
2013

RENATO FERNANDES TOMON AVELINO
TARCISO ALVIM MARTINS

S.T.A.R. : Sistema de Tomadas para Automação Residencial

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Grau de
Engenheiro Elétrico

Área de Concentração:
Engenharia Eletrônica

Orientador:
Prof. Dr. José Vieira do Vale Neto

São Paulo
2013

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, o professor José Vieira do Vale Neto, pela ajuda e dedicação, tanto técnica como pessoal, pela orientação em todas as etapas do projeto, pela paciência e pelas cobranças.

Aos professores Sergio Takeo Kofuji, Ramona Mercedes Straube e Marcelo Knörich Zuffo, pelas orientações e pelos constantes estímulos durante todo o trabalho.

Ao pessoal do almoxarifado da Poli Elétrica que sempre nos ajudou e deu suporte a construção das soluções apresentadas.

À nossas famílias, em especial aos nossos pais, Valter Fernandes Avelino e Tarciso Martins, e nossas mães, Luzia Cristina Alves Alvim Martins e Maria Aparecida Takeko Tomon Avelino, e aos nossos avós, Emilia Alves Costa Alvim, Dulcy Silveira Martins e Domingos Martins Mendonça.

E a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho propõe a criação de um sistema de monitoramento e controle do consumo de corrente em pontos de acesso à energia elétrica para uso residencial e comercial de baixa potência. O projeto é constituído de Tomadas, que são capazes de controlar o ponto de acesso a energia e monitorar seu consumo de corrente, uma Central, responsável por fazer a interação das Tomadas e a interpretação dos comandos do Software, e um Software, responsável pela interação entre o usuário e o sistema. A Tomada é constituída de uma fonte de alimentação, um transceptor, para comunicação sem fio com a Central, um atuador, um medidor de corrente e um microcontrolador. A Central é formada por uma fonte de alimentação, um transceptor para comunicação sem fio com a Tomada, um módulo Ethernet para comunicação com o Software, um relógio e um microcontrolador. Dessa maneira é possível ligar ou desligar uma carga ligada em qualquer uma das Tomadas, monitorar o consumo de corrente dessa carga ou programar regras para utilização desse ponto de acesso a energia. Essas regras podem ser baseadas em um horário de funcionamento ou baseadas no consumo de corrente da carga. O Software desenvolvido para smartphones possibilita a edição dessas regras de funcionamento e possui a opção de ativação ou desativação da Tomada por controle direto. Seu único requisito de funcionamento é de ter acesso à rede em que a Central está conectada. O protótipo apresentado com todas as características descritas representa uma proposta para uma linha simples de produtos para automação residencial, visando maior conforto, segurança e eficiência para o lar.

Palavras-Chave: Engenharia Eletrônica. Eletrônica. Tomada Inteligente. Monitoramento do consumo. Controle do consumo. Automação Residencial.

ABSTRACT

This work proposes the creation of a system for monitoring and controlling the power consumption at energy points for residential and commercial low power applications. The project is divided in three main parts, which are the Sockets, which are able to control the energy access point and monitor its current consumption, the Master, responsible for the interaction between the Sockets and the Software interpretation, and the Software, responsible for the interaction between the final user and the system. The Socket consists of a power source, a transceiver, for wireless communication with the Master, an actuator, a current sensor and a microcontroller. The Master is comprised of a power source, a transceiver for wireless communication with the Socket, an Ethernet module to communicate with the Software, a real time clock and a microcontroller. The resultant systems is capable of turn on or off a load connected to any of the Sockets, monitor the current consumption thru the Sockets and program the rules for using this energy point. These rules can be defined based on the current consumption of the Sockets or be scheduled to automatically turn on or off at any date and time. The Software was developed for smartphones and allows the user to edit the rules at will and directly control the Sockets. The Software's only requirement is to have access to the network which the Master is connected to. The prototype presented represents a proposal for a simple line of products for home automation, seeking the comfort, safety and power efficiency for the home and its habitants.

Keywords: Electronic. Electronic Engineering. Smart Outlets. Current Consumption Monitoring. Current Consumption Control. Home Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– MeterPlug	10
Figura 2	– iMeter Solo	11
Figura 3	– Visão Geral do Sistema	14
Figura 4	– Circuito da Central	16
Figura 5	– Circuito da Tomada	17
Figura 6	– Diagrama funcional da central	20
Figura 7	– Diagrama funcional da tomada	25
Figura 8	– Foto do protótipo	32
Figura 9	– Circuito da Tomada	33
Figura 10	– Layout da Primeira Tomada	34
Figura 11	– Layout da Segunda Tomada	35
Figura 12	– Fluxograma da Tomada	36
Figura 13	– Foto da Primeira Tomada	37
Figura 14	– Foto da Segunda Tomada	38
Figura 15	– Foto da Segunda Tomada 2	38
Figura 16	– Circuito da Central	40
Figura 17	– Layout da Central	41
Figura 18	– Fluxograma Geral da Central	43
Figura 19	– Fluxograma da Inicialização da Central	43
Figura 20	– Fluxograma do Tratamento da Rede	45
Figura 21	– Fluxograma do Tratamento do Relógio	46
Figura 22	– Fluxograma do Tratamento dos LEDs	47
Figura 23	– Fluxograma do Tratamento do Transceptor	48
Figura 24	– Fluxograma do Tratamento do Transceptor no modo de Sincronismo	49
Figura 25	– Foto da Central	50
Figura 26	– Tela inicial	52
Figura 27	– Tela Principal	53
Figura 28	– Tela da Tomada	54
Figura 29	– Tela de Edição de Regras	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	ESTADO DA ARTE	10
2.1	PRODUTOS	10
2.1.1	MeterPlug	10
2.1.2	Insteon	11
2.2	PATENTES	12
3	MODELO CONCEITUAL	13
3.1	REQUISITOS BÁSICOS	13
3.2	SOLUÇÃO PROPOSTA	13
3.2.1	Requisitos Mecânicos	14
3.2.2	Requisitos Elétricos	14
3.2.3	Requisitos Funcionais	14
3.3	PROVA DE CONCEITO	15
4	PROJETO DETALHADO	19
4.1	SISTEMA	19
4.2	SOFTWARE	19
4.3	CENTRAL	20
4.3.1	Microcontrolador	20
4.3.2	Relógio	21
4.3.3	Armazenamento	21
4.3.4	Comunicação com Usuário	22
4.3.5	Comunicação com as Tomadas	23
4.3.6	Alimentação	24
4.4	TOMADA	25
4.4.1	Microcontrolador	26
4.4.2	Comunicação	26
4.4.3	Alimentação	26
4.4.4	Medidor de corrente	26
4.4.5	Atuador	27
5	IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	29
5.1	SOFTWARE	29
5.1.1	Dificuldades	29
5.2	CENTRAL	29
5.2.1	Dificuldades	30
5.3	TOMADA	30
5.3.1	Dificuldades	30
6	PROTÓTIPO	31
6.1	TOMADA	32
6.1.1	Circuito da Tomada	32
6.1.2	Layout da Tomada	34
6.1.3	Firmware da Tomada	35

6.1.4	Protótipo da Tomada	37
6.1.5	Custo da Tomada	39
6.2	CENTRAL	40
6.2.1	Circuito da Central	40
6.2.2	Layout da Central	41
6.2.3	Firmware da Central	42
6.2.4	Protótipo da Central	50
6.2.5	Custo da Central	51
6.3	SOFTWARE	51
7	TESTES DO PROTÓTIPO	56
7.1	PLANO DE TESTES DA TOMADA	56
7.1.1	Testes das fonte de alimentação	56
7.1.2	Testes dos módulos	56
7.1.3	Testes funcionais	57
7.2	PLANO DE TESTES DA CENTRAL	58
7.2.1	Testes das fonte de alimentação	58
7.2.2	Testes dos módulos	58
7.2.3	Testes funcionais	59
7.3	PLANO DE TESTES DE INTEGRAÇÃO	60
7.3.1	Testes de comunicação	60
7.3.2	Testes funcionais	61
7.4	PLANO DE TESTES DE VALIDAÇÃO	63
7.4.1	Testes dos limites de operação	63
7.4.2	Testes de aquisição da corrente	63
7.4.3	Testes funcionais	64
7.4.4	Requisitos mecânicos	65
7.5	RESUMO DOS TESTES	66
8	CONCLUSÃO	71

1 INTRODUÇÃO

Após a década de 80, o planeta passa por uma era conhecida como a era da informação, na qual tecnologias como redes de computadores, microprocessadores, computadores pessoais e, mais recentemente, smartphones e tablets, são comuns no cotidiano. Essa crescente popularização levou a um constante barateamento das tecnologias de automação no mundo todo, tornando o controle digital de casas e apartamentos um produto altamente comercial, especialmente depois da massiva popularização dos tablets e smartphones.

Com esses aparelhos, é possível controlar o lar à distância de maneira simples e intuitiva. Encher a banheira antes mesmo de chegar em casa, desligar a televisão para o seu filho ir estudar enquanto você está no trabalho e ainda poder levantar dados sobre consumo de energia da casa e minimizar os gastos desnecessários com apenas alguns toques é perfeitamente plausível com um smartphone e alguma automação residencial.

Dessa maneira, a domótica (automação residencial) passou a ganhar mais espaço. Cada vez mais surgem empresas voltadas para suprir as necessidades individuais de automação do lar e novos produtos que garantem a segurança, o conforto e a conveniência dos habitantes e ainda controlam a eficiência energética dos diversos aparelhos domésticos. Esses sistemas não são usados apenas para o conforto dos usuários, mas, sobretudo para diminuir o consumo de energia mal utilizada.

Também há aspectos sociais envolvidos com a domótica, como melhorar a qualidade de vida de pessoas fisicamente debilitadas, cuidar da saúde dos idosos, identificar e controlar a saída ou entrada de pessoas na casa, monitorar animais de estimação e diversos outros.

Neste contexto, estamos propondo a criação de uma tomada que seja capaz de auxiliar na gestão residencial à distância por meio de um aplicativo para celular e tablet. Com esse sistema, chamado de S.T.A.R. (Sistema de Tomadas para Automação Residencial), será possível controlar se a mesma está ligada ou desligada, quando ela deve se desligar (para evitar gastos com equipamentos não usados) e o quanto de potência ela está consumindo.

O objetivo é permitir que o usuário controle e monitore uma, algumas ou todas as tomadas de sua residência. Dessa maneira, será possível ligar ou desligar cada tomada individualmente a partir de comandos diretos ou seguindo uma programação

pré-definida. Além disso, a tomada será capaz de monitorar a corrente consumida pelos equipamentos ligados na mesma.

Essas funcionalidades permitirão ao usuário analisar o consumo de energia em cada tomada e reduzir o consumo desligando equipamentos não usados (mesmo que estejam no modo stand-by). Também é interessante para pais com filhos, pois permite determinar quanto tempo a televisão e o computador podem ficar ligados, forçando o desligamento dos mesmos após esse período.

O objetivo do S.T.A.R. é ser um produto simples, barato e intuitivo, permitindo que pessoas com pouco conhecimento de engenharia sejam capazes de montar e programar o sistema. O público alvo é a classe média.

Atualmente já existem diversos outros sistemas de automação residencial de alta tecnologia no mercado, capazes de integrar praticamente todos os equipamentos eletrônicos da casa. No entanto, esses sistemas têm como público alvo a parcela mais rica da população. O S.T.A.R. será uma solução de baixo custo específico para controle de tomadas.

2 ESTADO DA ARTE

Atualmente, devido ao interesse em criar sistemas que fossem capazes de medir o consumo dos aparelhos domésticos e atuar de forma inteligente sobre eles, diversos dispositivos já foram feitos. Assim, foi feita uma breve pesquisa de sistemas presentes no mercado.

2.1 PRODUTOS

2.1.1 MeterPlug

No fim de 2012, foi lançado um projeto chamado MeterPlug. Seu objetivo é monitorar a corrente consumida por equipamentos e ligar/desligar cada um individualmente. A medição do consumo e o controle são feitos por um sistema com formato parecido com um benjamin, conforme a figura 1. A interface com o usuário é feita por meio de um aplicativo para smartphone via bluetooth. Dentre suas vantagens, estão seu tamanho extremamente pequeno e interface direta com o smartphone.

Suas funcionalidades são parecidas com o projeto S.T.A.R., permitindo a medição de energia e o controle de ligar e desligar. No entanto, o MeterPlug é um projeto que ainda não está no mercado. Seu lançamento estava previsto para março de 2013, mas devido a problemas com a agência de certificação americana, ainda está sendo adaptado. Assim, o fabricante não divulgou as especificações do produto, como a corrente máxima, a precisão da medida e o consumo do sistema. Sendo assim, ainda não é possível comparar suas características com o projeto proposto.

Figura 1 - MeterPlug



Fonte: Indiegogo

2.1.2 Insteon

O Insteon é um sistema de automação residencial comercializado no Brasil pela Biltech. Seu funcionamento é similar ao projeto proposto nesse trabalho, pois apresenta uma central (chamada Insteon Hub), que faz a interface entre o usuário e o sistema, e todos os outros acessórios se comunicam com ele. Entre os acessórios existem controles de iluminação, controle do termostato, medição e controle de tomadas, câmeras IP, entre outros.

A central conecta-se a internet por um cabo ethernet, permitindo que o sistema de automação seja monitorado e controlado de qualquer lugar do mundo. O acessório que controla e mede o consumo da tomada (chamado iMeter Solo) ocupa um espaço considerável, bem maior do que o MeterPlug, conforme a figura 2.

Figura 2 - iMeter Solo



Fonte: SmartHome

As especificações completas encontram-se no anexo A. Esse sistema é um potencial concorrente ao projeto desse trabalho, pois apresenta funcionalidades praticamente iguais e foi tecnicamente bem projetado (como é possível notar pelas especificações). Além disso, possui um preço relativamente baixo, pois a central custa 120 dólares e cada tomada 30 dólares.

O projeto S.T.A.R. não terá todas as funcionalidades do Insteon, mas terá um tamanho menor e um custo mais acessível. Ou seja, embora não tenha todas as funcionalidades, será um sistema mais simples e barato.

2.2 PATENTES

Buscando patentes, foi encontrada uma patente brasileira com título "Sistema distribuído de medição de consumo de energia e monitoramento da rede elétrica". Esse sistema é parecido com o projeto S.T.A.R., pois monitora o consumo de energia em vários pontos e permite atuar neles, ligado ou desligando a tomada. A implementação descrita na patente também é compatível com o projeto, pois consiste em uma central que se comunica com cada tomada usando uma rede de dados. No entanto, essa patente está mais focada proteção elétrica dos equipamentos da casa. Assim, o controle de ligar e desligar é usado quando a potência, a temperatura ou a humidade mudam para valores fora do especificado. O projeto S.T.A.R. tem o foco na automação do controle da tomada e na redução do consumo de energia.

Já em relação ao controle da tomada, existe uma patente brasileira com título "Controle remoto para ajuste de intensidade luminosa e acionamento de equipamentos eletrodomésticos". O sistema visa controlar intensidade luminosa e ligar e desligar eletrodomésticos durante períodos e horários pré-definidos, sem a necessidade de alterações nas instalações elétricas. A ideia é parecida com o projeto S.T.A.R., mas a implementação adotada implica na substituição do soquete de tomada. Além disso, não está previsto um controle baseado no consumo de energia.

Com isso, o projeto S.T.A.R. possui concorrentes com sistemas similares e já existem patentes parecidas com o mesmo. Assim, é necessário que o S.T.A.R. seja um produto diferenciado, com baixo custo e amplas funcionalidades para ter sucesso.

3 MODELO CONCEITUAL

3.1 REQUISITOS BÁSICOS

O sistema deve ter uma implementação simples, ou seja, um usuário sem conhecimento técnico ou habilidade deve conseguir preparar e configurar a rede de tomadas. Por isso, é importante que o sistema seja colocado sobre a tomada normal, sem a necessidade de trocar o soquete da parede. Com isso, evita-se que o usuário se exponha à rede elétrica ou que seja necessário contratar um eletricista. Além disso, seu tamanho deve ser adequado para que possa ser colocado em espaços pequenos, pois nem sempre há espaço livre próximo da tomada. Também é importante que o sistema seja leve o bastante para não quebrar a tomada.

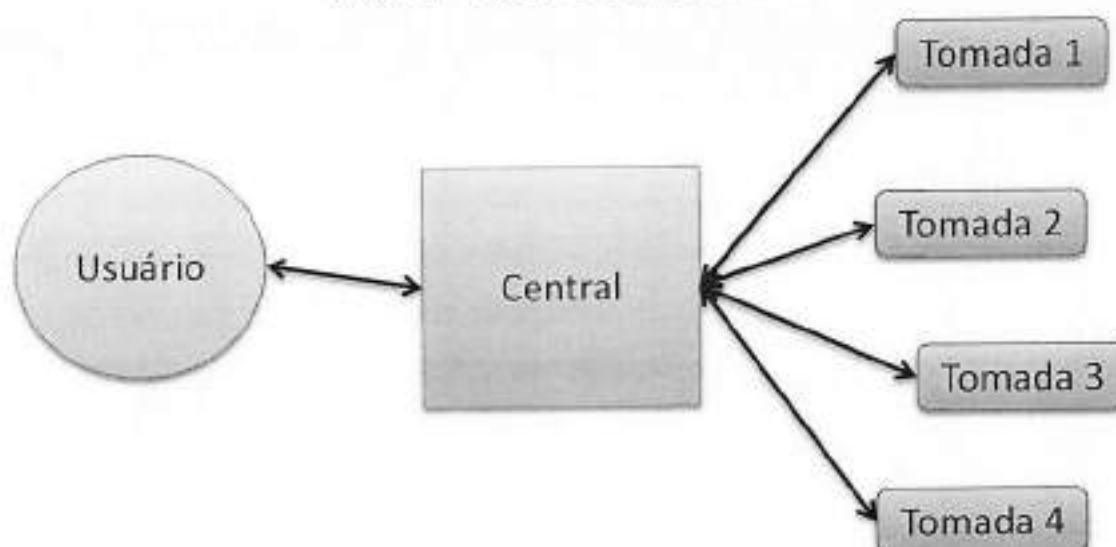
Em relação os requisitos elétricos, deseja-se usar o sistema em tomadas de 110V de 10A, pois é o tipo de tomada mais comum em São Paulo e em boa parte do Sudeste.

Suas principais funcionalidades são de ligar e desligar baseado no horário, baseado no consumo de energia da tomada ou por um comando direto do usuário. Além disso, é importante que seja possível ver o consumo instantâneo de corrente em cada tomada, para comparar o consumo entre os equipamentos. A interface deve ser simples e intuitiva, permitindo que praticamente qualquer um possa configurar todo o sistema de tomadas com facilidade e com pouco ou nenhum treinamento.

3.2 SOLUÇÃO PROPOSTA

Para atender a esses requisitos, o projeto foi dividido em duas partes: as tomadas e a central, de modo que o circuito que fará o controle (liga e desliga) será ligado entre a tomada da residência e o equipamento que será ligado na mesma, parecido com um adaptador. Por isso, haverá uma central, que cuidará da interface entre as tomadas e o usuário, permitindo que essas tomadas tenham circuitos mais simples.

Figura 3 - Visão Geral do Sistema



Fonte: Elaborado pelos autores

Assim, os requisitos foram convertidos nas seguintes especificações de projeto:

3.2.1 Requisitos Mecânicos

Tamanho máximo da tomada: 10cm (altura) x 10cm (largura) x 8cm (profundidade), desconsiderando o tamanho do conector que entra na tomada.

Peso máximo da tomada: 500 gramas.

3.2.2 Requisitos Elétricos

Corrente máxima RMS: 10 A.

Corrente máxima de pico: 15 A.

Tensão máxima RMS: 140 V.

Tensão máxima de pico: 200V.

3.2.3 Requisitos Funcionais

Interface que permita o controle de ligar e desligar da tomada baseado em três fatores:

1. Comando direto
2. Baseado no horário
3. Baseado no consumo

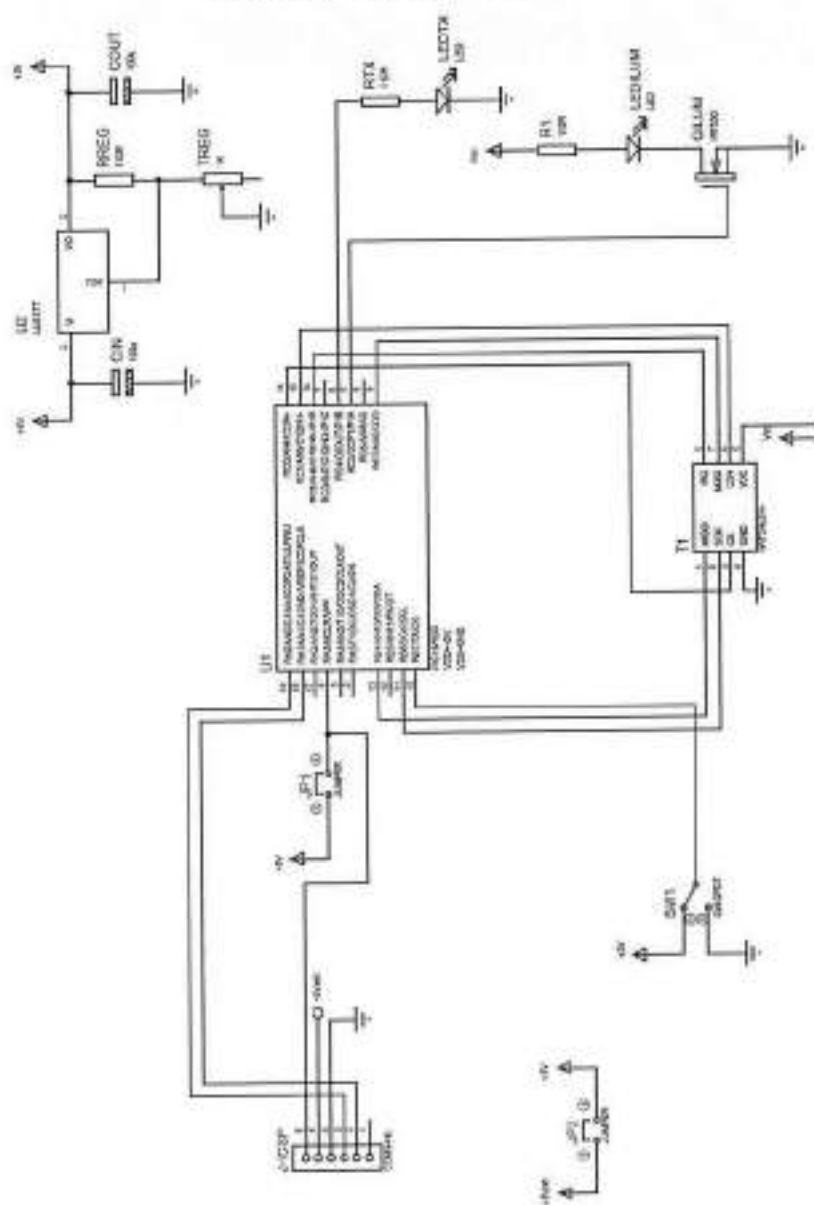
Comunicação entre as tomadas e a central deve funcionar a 8 metros de distância com uma parede entre eles.

Faixa de medida de corrente: de 0.5 a 10A, precisão de 0.5A.

3.3 PROVA DE CONCEITO

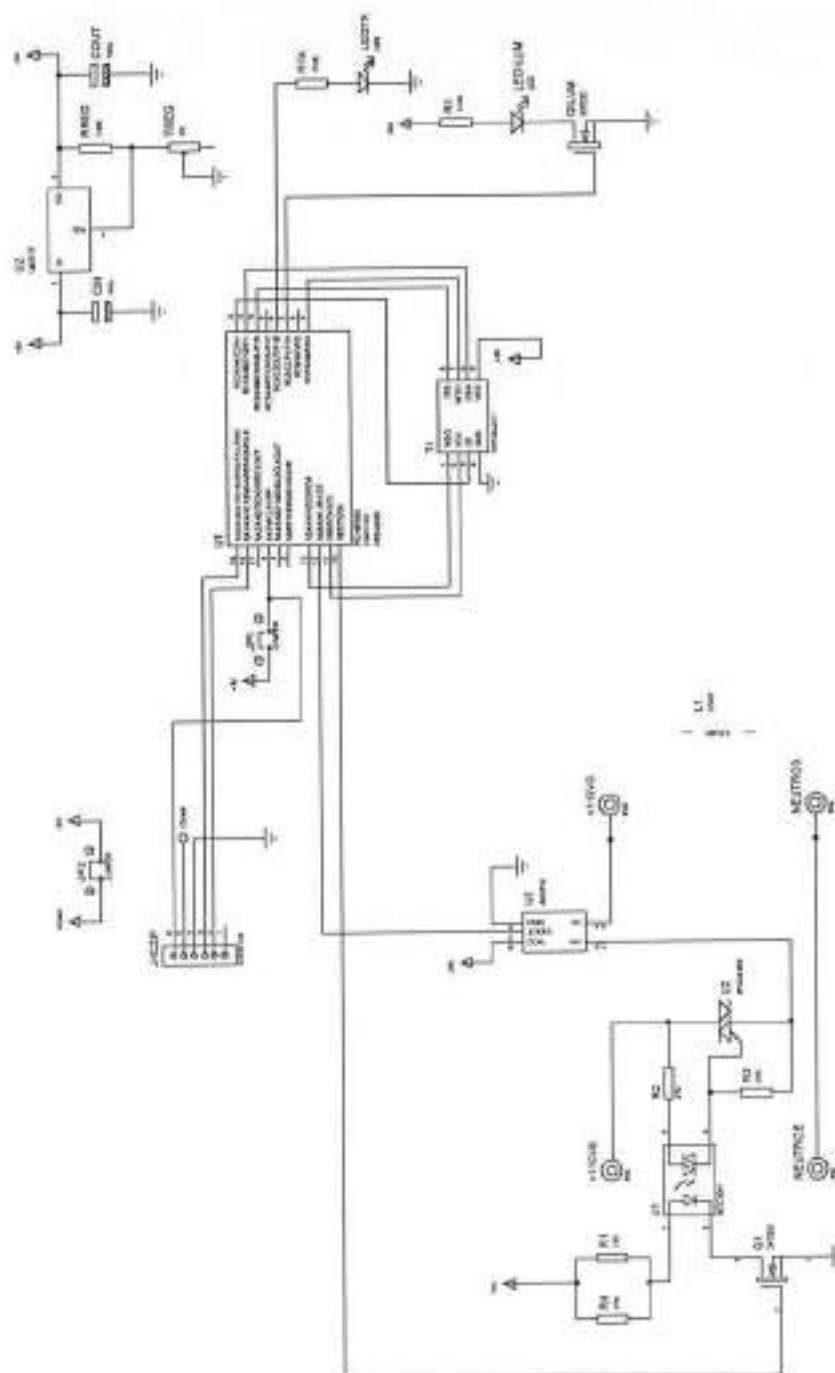
Para mostrar que o projeto pode funcionar, foi desenvolvida uma prova de conceito que implementa as funcionalidades básicas do sistema, apresentada em junho de 2013. Essas funcionalidades são ligar e desligar um equipamento à distância e medir a corrente que passa pela tomada. Para isso, foram utilizadas duas placas de circuito impresso desenvolvidas e montadas pela equipe em 2012, para a disciplina PSI2661 – Projeto em Eletrônica de Transceptores, ministrada pelo orientador do atual projeto. Cada uma dessas placas possui um microcontrolador, dois LEDs indicativos, um regulador de tensão e interface com um transceptor. Com todos esses componentes já montados, a equipe conseguiu se focar no controle da tomada e na medição da corrente. Assim, simplesmente adaptaram-se as placas para se adequar as necessidades. Os circuitos estão mostrados nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - Circuito da Central



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 5 - Circuito da Tomada



Fonte: Elaborado pelos autores

O circuito da central consiste basicamente em um microcontrolador PIC que se comunica com o transceptor. O LEDTX é usado para indicar o funcionamento da comunicação entre a central e a tomada. Já o LEDILUM é usado para indicar a corrente que passa na tomada. Sua intensidade é controlada usando PWM (Pulse-Width Modulation). Quanto maior a corrente que passa na tomada, menor a

intensidade do LED. Também existe uma chave SW1 que determina se a tomada deve ligar ou desligar.

O circuito da tomada é parecido com a central, mas possui adicionalmente um circuito para controlar a tomada e medir a corrente. O controle é feito usando um TRIAC (U2) e um opto-TRIAC (U1), enquanto a corrente é medida usando o ACS712 (U3). A saída desse sensor é uma tensão senoidal que é amostrada pelo A/D do PIC. Com isso, o PIC calcula o valor de pico a pico do sinal e ajusta o valor do PWM do LEDILUM. Quanto maior a corrente, menor a intensidade do LED.

A programação feita nos microcontroladores faz com que a tomada simplesmente permaneça sem realizar ação. A central, a cada intervalo de tempo, pede para a tomada o valor da corrente. Ao receber essa mensagem, a tomada inicia a aquisição do sinal e posteriormente envia o valor medido de volta para a central. Depois, a central envia o estado da chave SW1 para a tomada, que muda o sinal de uma porta para ligar ou desligar o equipamento.

4 PROJETO DETALHADO

4.1 SISTEMA

O sistema foi dividido em três partes: a tomada, que será responsável por medir a corrente e atuar sobre a carga, a central, que será responsável por comandar as tomadas, e o software, que fará a interface entre o usuário e a central.

A comunicação entre a central e a tomada utiliza o protocolo PCTC, apresentado no apêndice A. Já a comunicação entre o software e a central utiliza o protocolo PCSC, apresentado no apêndice B. Ambos foram pensados e descritos pelos integrantes da equipe.

Para atender aos requisitos de ligar e desligar cargas com base no horário e no consumo, foram definidas "regras". Essas regras são um conjunto de 5 bytes que definem quando a central deve enviar comandos para as tomadas. Foram criados três tipos de regras. Regras únicas definem uma data e horário em que certa tomada será desligada ou ligada. Depois de ser ativada, essa regra nunca mais é utilizada. Regras repetíveis são renovadas a cada 24 horas, ou seja, todo dia no mesmo horário, a tomada é controlada. Também pode ser definidos dias da semana em que a regra deve ser ativada. Finalmente, as regras de duração definem a quantidade de minutos que uma tomada pode permanecer consumindo corrente acima de certo limiar. Ao ultrapassar o limite, a tomada é desligada. Essas regras também são renovadas em dias da semana especificados. A descrição completa das regras está no apêndice C.

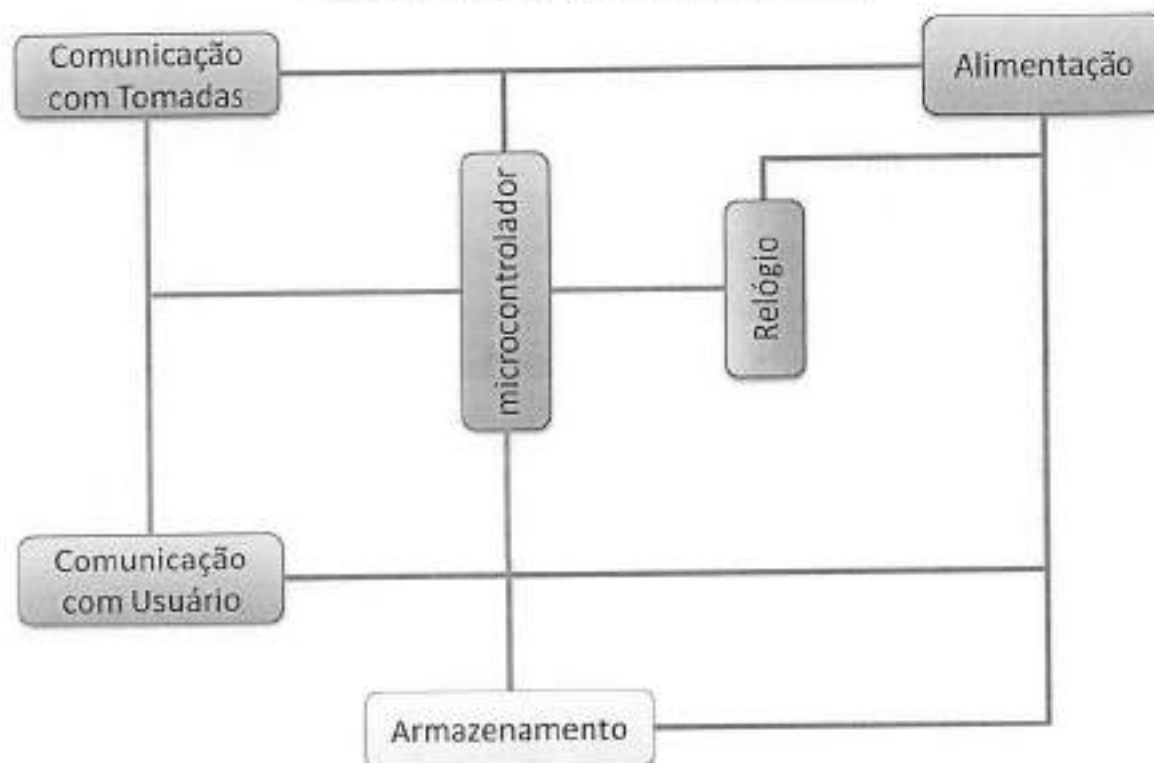
4.2 SOFTWARE

A interface entre a central e o usuário é feita por meio de um programa. Foram consideradas duas possibilidades: desenvolver um programa para Windows ou desenvolver um aplicativo em Java para celulares e tablets. Seria inconveniente para o usuário ter que ligar seu computador sempre que quisesse atuar sobre uma tomada, por isso foi escolhido fazer o aplicativo para dispositivos móveis.

4.3 CENTRAL

Estudando a topologia do projeto chegou-se em um possível diagrama funcional do circuito da central, mostrado na figura 6.

Figura 6 - Diagrama funcional da central



Fonte: Elaborado pelos autores

Nesse diagrama o *hardware* da central está dividido em seis partes com a ligação entre elas explicitada na figura acima. Essas partes são:

4.3.1 Microcontrolador

O microcontrolador será a unidade principal de processamento do sistema. Ele comandará as tomadas, requisitando dados quando preciso, ligando e desligando as tomadas conforme sua programação e armazenando os dados se necessário.

Uma boa alternativa será utilizar um microcontrolador PIC, pois os integrantes do grupo já possuem alguma experiência com essa família de microcontroladores e placas de programação para esses dispositivos. Além disso, eles também são amplamente difundidos no mercado e oferecidos em diversos modelos, desde o mais simples e barato até algumas opções um pouco melhores e mais caras. No

entanto, acreditamos que o processamento digital necessário será pequeno, sendo assim, os microprocessadores PIC representam uma opção muito interessante.

4.3.2 Relógio

O relógio será usado para fornecer dados ao microcontrolador, que por sua vez poderá comandar as tomadas baseada no horário ou requisitar dados periodicamente das tomadas.

Para implementar o relógio, será utilizado o componente DS1307 da Maxim, que é um RTC(Real Time Clock), ou seja, um relógio/calendário que utiliza um cristal externo de 32768Hz, Seu calendário vai até o final de 2099 e possui informação de segundos, minutos, horas, dia da semana, data, mês e ano. Sendo assim, esse componente atende perfeitamente aos nossos requisitos.

4.3.3 Armazenamento

Se for feita a opção por guardar os dados de consumo de energia das tomadas na central então será necessário uma unidade de armazenamento de informação. Esta unidade pode ser constituída de uma memória volátil, por exemplo, uma memória RAM, rápida e barata que enviará dados ao usuário sempre que esse se conectar a central, porém em caso de desligamento da central esses dados serão perdidos. Ou podemos utilizar uma memória não volátil onde será possível guardar mais dados por maior tempo sem grandes riscos de perda de memória, porém é uma alternativa mais cara.

Como muitos microcontroladores da família PIC já possuem memória interna, foi escolhido, pela facilidade de implementação, utilizar a memória interna EEPROM do microcontrolador. No entanto, essa memória não volátil não possui muita capacidade, portanto ela é essencialmente utilizada para informações importantes para o funcionamento da central. Outras opções de armazenamento, como de dados sobre o consumo, ficam a critério do usuário.

4.3.4 Comunicação com Usuário

Essa comunicação não precisa ter altas taxas de transmissão de dados nem ocorrerá em ambientes ruidosos, porém deve priorizar o conforto para o usuário. Algumas alternativas são o controle via Internet por *Wi-Fi*, necessitando de um módulo específico que realizará a comunicação com um roteador, ou por cabo *Ethernet*, consumindo um pouco menos de energia e necessitando um módulo mais simples.

Outra possível solução seria a utilização de comunicação sem fio de curto alcance utilizando o padrão *Bluetooth*, disponível em quase todos os aparelhos móveis atuais, e que pode ser implementada com um módulo *Bluetooth* de custo relativamente barato.

Ou ainda podemos fazer essa comunicação ligada diretamente aos computadores pessoais, através de porta Serial ou porta USB. Este tipo de comunicação é muito mais fácil de lidar, sofre menos com erros causados por desvanecimento, porém necessita de uma conexão direta com o computador.

A tabela 1 resume as características de cada alternativa e facilita a comparação entre elas.

Quadro 1 - Comparação das alternativas para comunicação entre central e usuário

	Wi-Fi	Ethernet	Bluetooth	Serial	USB
Vantagens	-Permite controle de qualquer lugar do mundo -Não precisa de cabos	-Permite controle de qualquer lugar do mundo -Módulo barato	-Módulo barato -Não precisa de cabos	-Módulo extremamente barato -Fácil implementação	-Módulo barato - Presente em qualquer computador atual
Desvantagens	-Módulo caro	-Necessita cabos	-Controle só pode ser feito a curta distância	-Necessita de computador com porta Serial	-Necessita de um computador

Após analisar as vantagens e desvantagens de cada sistema, optou-se pela comunicação através da Ethernet, ligada a um modem. Dessa maneira, é possível comunicar-se com a central através da Internet, pelo módulo ethernet que já possui camada física e a camada de enlace pronta para utilização.

4.3.5 Comunicação com as Tomadas

Essa interface pode ter taxa de transmissão baixa (centenas de bits/s), mas deve ser compacto e barato. As principais opções seriam utilizar um módulo de comunicação sem fio como *ZigBee* ou utilizando os transceptores nRF24L01+ sobre o qual o grupo já possui certa experiência prévia. Esse tipo de transmissão é interessante porque dispensa o uso de cabos extras ligando a tomada e a central, apesar de ter um alcance tão limitado quanto à potência utilizada na transmissão.

Outra opção seria utilizar a própria rede elétrica para integrar as informações da tomada e central não apresentando problemas quanto ao alcance, porém ela possui uma implementação não trivial e depende do nível de ruído na rede elétrica.

Uma terceira alternativa é o uso combinado dessas tecnologias, utilizando a rede elétrica para comandar quando haverá tráfego de informações, reduzindo assim o tempo em que os módulos sem fio ficarão ativos e conseqüentemente o seu consumo. Porém sua implementação depende da implementação de ambas as tecnologias.

A tabela 2 resume as características de cada alternativa à comunicação entre a central e as tomadas e facilita a comparação entre elas.

Quadro 2 - Comparação das alternativas para comunicação entre central e tomadas

	Rede Elétrica	Transceptor	ZigBee	Rede Elétrica + Zigbee
Vantagens	-Alcança todas as tomadas da residência	-Barato -O grupo tem experiência com o transceptor	-Alcance muito grande	-Custo alto -Combina os benefícios e suprime algumas desvantagens -Baixo Consumo
Desvantagens	-Depende do ruído da rede elétrica -Todo o sistema de geração e detecção de sinal deve ser projetado	-Não alcança toda a residência -Cada tomada deve retransmitir o sinal para aumentar o alcance	-Módulo mais caro -Sem experiência prévia	-Complexidade Elevada

Nesse caso, a alternativa escolhida foi o uso dos transceptores, pois os integrantes já possuem experiência no uso dessa alternativa além de que suas desvantagens quanto ao consumo e alcance podem ser contornadas mantendo o transceptor desligado a maior parte do tempo, ligando ele de vez em quando para checar a existência de comandos com a central.

4.3.6 Alimentação

Para alimentar o circuito temos quatro boas alternativas: utilizar uma fonte chaveada com transformador, uma fonte sem transformador com reguladores de tensão, utilizar uma bateria simples ou utilizar uma bateria recarregável.

As fontes chaveadas são amplamente utilizadas para converter a tensão da rede elétrica em uma tensão DC, utilizando a própria energia da rede elétrica com uma eficiência razoável, porém esses circuitos são, em geral, muito grandes e complexos sendo que não caberiam em uma tomada.

Utilizar uma fonte sem transformador é uma opção mais simples e compacta às fontes chaveadas convencionais, porém elas apresentam baixíssima eficiência.

Usar baterias pode ser uma boa opção se o consumo não for elevado, elas são pequenas e podem apresentar uma vida útil relativamente alta se o consumo for baixo. Uma alternativa ainda melhor seriam as baterias recarregáveis a luz solar, pois assim elas precisariam ser trocadas menos frequentemente.

As informações foram organizadas na tabela 3, que facilita a comparação das diferentes opções.

Quadro 3 - Comparação das alternativas para alimentação do circuito

	Fonte Convencional	Fonte sem transformador	Bateria simples	Bateria recarregável
Vantagens	-Solução amplamente conhecida -Eficiência razoável -Utiliza a energia disponível na rede	-Pequena -Utiliza a energia disponível na rede	- Muito Pequena	-Muito Pequena
Desvantagens	- Circuito altamente complexo - Ocupa muito espaço	-Eficiência Baixa	-Tem que ser substituído quando acabar	- Caro

Para a alimentação do circuito, decidiu-se utilizar uma fonte chaveada ultracompacta. Suas principais vantagens são o tamanho e a facilidade de implementação. Por se tratar de uma fonte ultracompacta, seu tamanho é bem reduzido e fácil de integrar, por se tratar de apenas um componente discreto. Sua eficiência energética também é apreciável, em torno de 60%, porém se trata de uma solução um pouco mais cara, que custa em torno de trinta reais por peça.

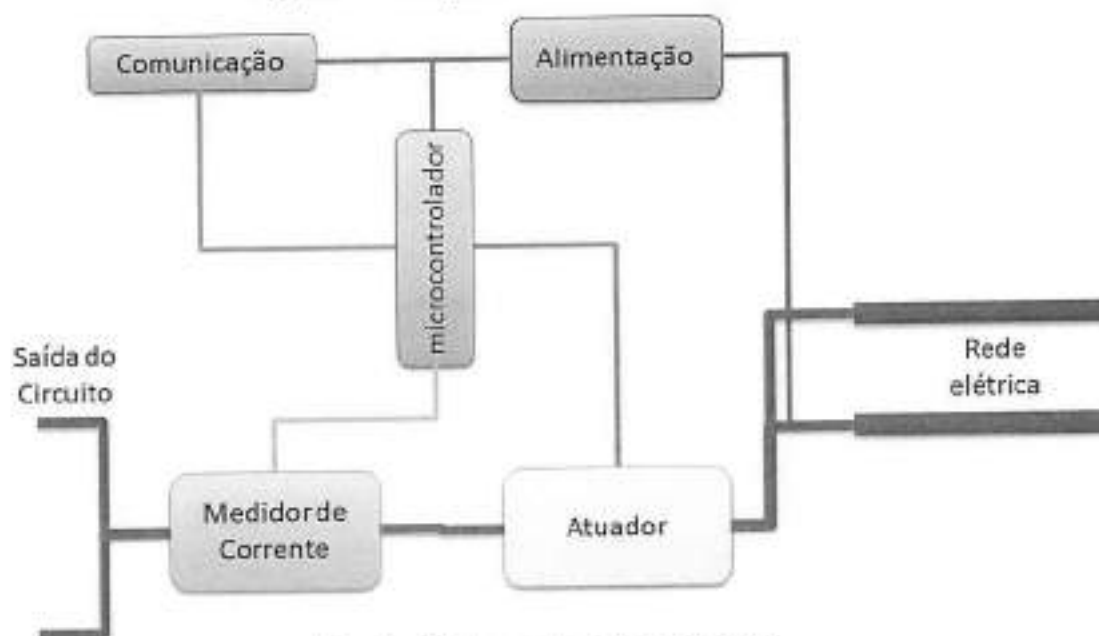
A fonte escolhida foi a RAC01-05SC da RECOM, que possui saída de 5V e 1W de potência máxima. Suas dimensões são de apenas 3,3cm de comprimento por 2,2 cm de largura e 1,7 de altura.

Como sua saída é de 5V é também necessário utilizarmos um regulador de tensão para gerar tensões de 3.3V para a alimentação do transceptor e do módulo ethernet.

4.4 TOMADA

Assim como foi definido um diagrama funcional do circuito da central, também foi definido um para o circuito da tomada, representado na figura 7.

Figura 7 - Diagrama funcional da tomada



Fonte: Elaborado pelos autores

Esse circuito foi subdividido em cinco partes: o microcontrolador, a comunicação com a central, a alimentação, o medidor de corrente e o atuador da tomada.

4.4.1 Microcontrolador

Assim como na central, na tomada é necessário um microcontrolador, que pode ser mais simples, para controlar e interpretar a comunicação entre tomada e central, comandando o atuador e enviando os dados obtidos no medidor de corrente a central.

O microcontrolador escolhido será da família PIC pelas mesmas razões da escolha dessa família no circuito da central.

4.4.2 Comunicação

A comunicação da tomada com a central segue o mesmo padrão da comunicação da central com a tomada, ou seja, ela será feita utilizando os transceptores nRF24L01+, ao qual os componentes do grupo já estão acostumados e que possui alcance e consumo comparáveis com outros módulos de comunicação sem fio.

4.4.3 Alimentação

A alimentação da tomada possui características semelhantes com a alimentação da central. A alternativa a ser escolhida para a alimentação pode ser diferente entre a central e a tomada, uma vez que a questão do tamanho é muito mais crítica na tomada que na central. No entanto, as melhores alternativas para a alimentação da tomada são as mesmas da alimentação da central.

Optou-se por usar na tomada a mesma fonte de alimentação usada na central, a RAC01-05SC, pois ela tem um tamanho reduzido.

4.4.4 Medidor de corrente

Para medir a potência consumida pela tomada, é necessário medir a corrente que passa pela mesma. Isso pode ser feito por meio de um sensor de corrente, que funciona por efeito Hall. Esse efeito trata do surgimento de uma tensão proporcional à corrente que passa em um condutor sobre um campo magnético, sendo assim possível medir a corrente sem afetar o circuito onde se deseja medi-la. Outro benefício é que o circuito desse sensor já vem pronto, sendo muito fácil de utilizar.

Uma segunda alternativa seria colocar uma impedância resistiva conhecida em série no circuito e medir a tensão sobre ela. No entanto, isso consome potência e altera o circuito em questão, podendo causar efeitos indesejados.

O quadro 4 resume as vantagens e desvantagens dessas duas alternativas de medidor de corrente:

Quadro 4 - Comparação das alternativas para medidor de corrente

	Sensor de Corrente	Divisor de Impedância Resistivo
Vantagens	-Circuito pronto -Não interfere com o circuito	-Barato
Desvantagens	-Caro	-Consome um pouco de potência -Resistor deve ser de baixa resistência e alta dissipação

A opção escolhida nesse caso foi a de se utilizar o sensor de corrente por efeito Hall, pois ele não interfere no circuito nem dissipa potência desnecessariamente.

4.4.5 Atuador

A fim de atuar na tomada ligando-a ou desligando-a, foram levantadas duas alternativas.

A primeira seria utilizando um relê biestável, que mudaria para aberto ou fechado com um pulso de controle. Suas principais vantagens são o baixo consumo de potência, tanto para ativação quanto durante a condução e a facilidade na construção do circuito. No entanto, um relê de biestável de alta capacidade de corrente é caro e grande, sendo um obstáculo para a miniaturização do circuito.

A segunda opção se trata de uma alternativa em estado sólido, ocupando menos espaço e que pode ser facilmente incorporada em um circuito integrado, ou seja, um TRIAC. Usando um opto-TRIAC com detector de zero, ativado opticamente, para fazer o disparo do TRIAC de potência é possível manter o TRIAC sempre conduzindo com baixo consumo de potência e garantindo a ativação e desativação do circuito apenas quando a tensão cruza o zero, além de o TRIAC ser mais barato que o relê e ocupar uma área muito menor.

O quadro 5 resume as características do relê e do TRIAC.

Quadro 5 - Comparação das alternativas para atuador da tomada

	Relê	TRIAC
Vantagens	-Baixo consumo de ativação -Implementação trivial	- Barato - Facilmente integrável - Pequeno
Desvantagens	-Caro -Grande	-Consome um pouco de potência

A opção escolhida foi a do TRIAC por ser a opção mais barata e menor, se adequando melhor as especificações da tomada, ainda que possua um circuito de ativação mais complexo, e consuma um pouco de potência.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

5.1 SOFTWARE

O software foi desenvolvido para funcionar em celulares e tablets populares, que utilizam o sistema operacional Android. Assim, o programa foi desenvolvido em Java, usando a IDE (Integrated Development Environment) Eclipse.

O desenvolvimento do software foi uma das últimas atividades realizadas.

5.1.1 Dificuldades

A equipe não possuía experiência prévia com a programação para Android. Por isso, houve um período difícil de aprendizado, de baixa produtividade. Depois, com a familiarização do ambiente, o desenvolvimento foi rápido.

Grande parte do conhecimento necessário foi adquirido na internet, em fórum e sites especializados de programação. No entanto, alguns sites possuem informações desatualizadas, pois o ambiente Android lança, a cada nova versão, novas funcionalidades, que se traduzem em novos objetos em Java. No entanto, os objetos novos são incompatíveis com os antigos, trazendo problemas de implementação. Isso foi uma grande dificuldade enfrentada pela equipe, que teve que se esforçar para entender como implementar certos objetos.

Além disso, o ambiente Eclipse possui algumas peculiaridades que muitas vezes fizeram a equipe parar de desenvolver para solucionar problemas de configuração.

5.2 CENTRAL

A central, que controla as tomadas, exigiu o desenvolvimento do circuito, do layout e do firmware. Assim, foi necessário um grande esforço da equipe para colocá-lo em funcionamento.

Como o microcontrolador usado foi um PIC, utilizou-se o IDE MPLAB X, fornecido gratuitamente pela Microchip, juntamente com um compilador bem simples, o XC8.

Para utilizar o módulo ethernet ENC28J60, foi utilizado um stack TCP/IP (código pré pronto feito para facilitar o uso do protocolo TCP/IP) fornecido gratuitamente pela Microchip.

5.2.1 Dificuldades

Durante o desenvolvimento da central, houve diversos problemas com o módulo ethernet. Alguns problemas estavam relacionados com ruído eletromagnético, que faziam com que o módulo enviasse dados incorretos. Isso foi solucionado com capacitores de acoplamento na alimentação.

Além disso, na central, o layout da fonte de alimentação (RAC01-05) está incorreto, o que exigiu uma correção na mesma.

Outra dificuldade encontrada foi que o chip que converte 5V em 3.3V precisou de um dissipador, devido ao consumo relativamente elevado do módulo ethernet.

5.3 TOMADA

A tomada é responsável por medir a corrente e ligar e desligar a energia. Como ela deveria ser pequena, foi necessário um grande esforço para gerar um layout adequado.

A primeira tomada feita apresenta problemas nesse layout, pois alguns componentes ficaram em posições inadequadas. Além disso, o tamanho obtido não foi satisfatório. Por isso, foi desenvolvido um novo layout, utilizado na fabricação da segunda tomada.

Em relação ao firmware, foi utilizado o mesmo IDE da central, o MPLAB X, com o compilador XC8.

5.3.1 Dificuldades

O circuito da tomada deveria ter o menor tamanho possível. Por isso, os componentes foram posicionados bem próximos, dificultando a montagem e soldagem dos mesmos.

Além disso, o TRIAC, em correntes elevadas, dissipa uma grande potência (grande relativa à área de dissipação), fazendo com que ele esquente excessivamente. Por isso, foi necessário colocar um dissipador externo, que ocupa uma área grande.

Na primeira tomada montada, uma das dimensões do transceptor foi estimada incorretamente, fazendo com que ele não entrasse na posição. Para resolver esse problema, o transceptor teve que ser colocado fora da placa.

Na segunda placa, vários problemas foram resolvidos, como o do transceptor. No entanto, o dissipador continuou a ser um problema.

Outro problema enfrentado pela equipe foi como medir a corrente que passa na tomada. O sensor de corrente na verdade é um conversor corrente tensão, sendo que sua saída tem a mesma forma de onda da entrada (a banda é de 80kHz), com amplitude proporcional à corrente. Assim, foi necessário utilizar um conversor A/D do PIC para medir a tensão. No início, pegavam-se 2000 amostras (a aproximadamente 3kHz) e pegava-se a maior e a menor medida para calcular o valor pico a pico do sinal. No entanto, esse método era sujeito a ruídos que poderiam fazer com que uma amostra tivesse um valor muito alto, invalidando a medida. Para resolver esse problema, foi implementada uma média móvel de 3 amostras, para atenuar o problema.

6 PROTÓTIPO

O protótipo obtido consiste no sistema completo, com o software rodando em um celular Android (versão 4.1.2), uma central conectada em um roteador Wi-Fi e duas tomadas. A figura 8 é uma foto real do sistema montado.

Do lado esquerdo da figura 8, temos a primeira tomada feita. Na parte de cima, encontram-se a central e o roteador, conectados por um cabo ethernet. Abaixo, está o smartphone rodando o software do projeto. Finalmente, a direita, está a segunda tomada.

O celular está conectado na rede Wi-Fi do roteador. O software envia comandos pela rede para a central, também conectada no roteador. A central interpreta os comandos enviados e, se necessário, se comunica com uma das tomadas utilizando seu transceptor. Finalmente, a central envia a resposta para o smartphone, que avisa ao usuário se conseguiu executar o comando.

Figura 8 - Foto do protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores

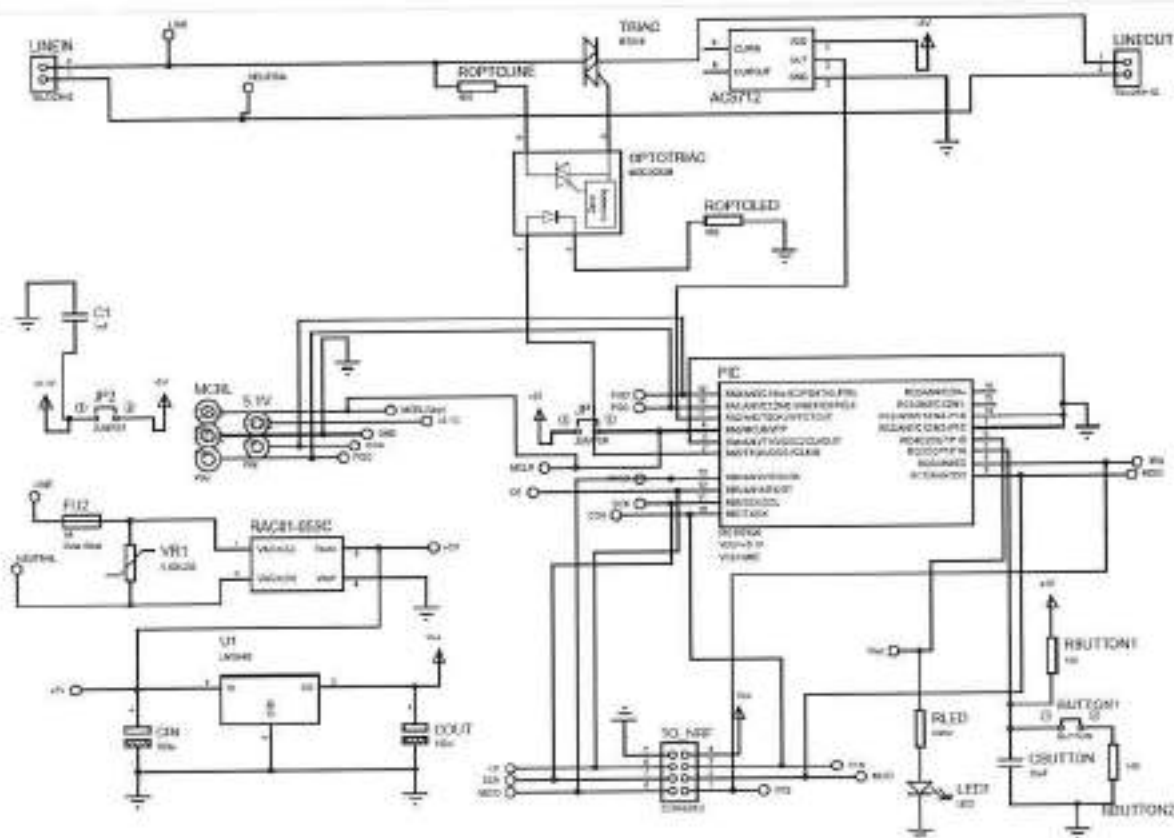
6.1 TOMADA

6.1.1 Circuito da Tomada

Na figura 9, está ilustrado o circuito elétrico da tomada. Esse circuito pode ser dividido em duas partes, uma de alta tensão, que faz a interface entre os aparelhos ligados na tomada e a alimentação, e uma parte de baixa tensão responsável pelo controle da tomada e comunicação com a central.

No topo da figura está representada a parte da alta tensão, com a entrada, o TRIAC, responsável por controlar se a tomada está energizada ou não, e a saída da alta tensão. É importante notar que a entrada de corrente do ACS (sensor de corrente), não está ligada na figura, pois isso será feito externamente a placa de circuito impresso, ou seja, entre a saída de alta tensão da placa e o conector da tomada.

Figura 9 - Circuito da Tomada



Fonte: Elaborado pelos autores

Também relacionado à parte de alta tensão, na parte inferior esquerda do esquemático, encontra-se a fonte de tensão ligada à alimentação externa com um fusível e um varistor para sua proteção. Sua saída de 5V é utilizada para alimentar o microcontrolador, o sensor de corrente e um regulador de tensão, o LM3940, responsável por gerar uma tensão de 3.3V para alimentação do transceptor.

Na parte de baixa tensão, temos o microcontrolador escolhido, que é um PIC 16F690, responsável por controlar a tomada, e no qual todos os periféricos estão conectados. Esse microcontrolador também apresenta um modo de programação e debug na própria placa, através de pinos de ICSP (In Circuit Serial Programming), que são MCLR (Master Clear), alimentação, terra, PGD (Serial Data) e PGC (Serial Clock).

A comunicação do transceptor com o microcontrolador é feita através da interface SPI (Serial Peripheral Interface), que engloba os pinos MOSI (Master Output Slave Input), MISO (Master Input Slave Output) e SCK (Serial Clock) e mais três sinais de controle: CE (Chip Enable), CSN (Chip Select) e IRQ (Interruption Request), que são tratados por software para estabelecer a comunicação.

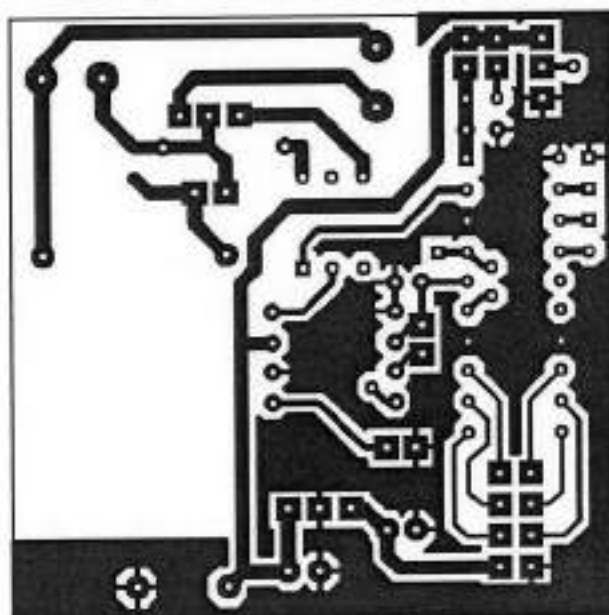
Além disso, foram colocados na placa um LED, para monitorar a atividade do microcontrolador, e um botão de sincronização com a central. O controle da tomada é feita através do pino 2, que está ligado com o optoTRIAC, que por sua vez é responsável por ativar o TRIAC.

O ACS também é alimentado com cinco volts e sua saída é ligada no pino 17, canal dois do conversor A/D.

Também foi adicionado um capacitor de bypass para o microcontrolador, a fim de eliminar ruídos da alimentação.

6.1.2 Layout da Tomada

Figura 10 - Layout da Primeira Tomada



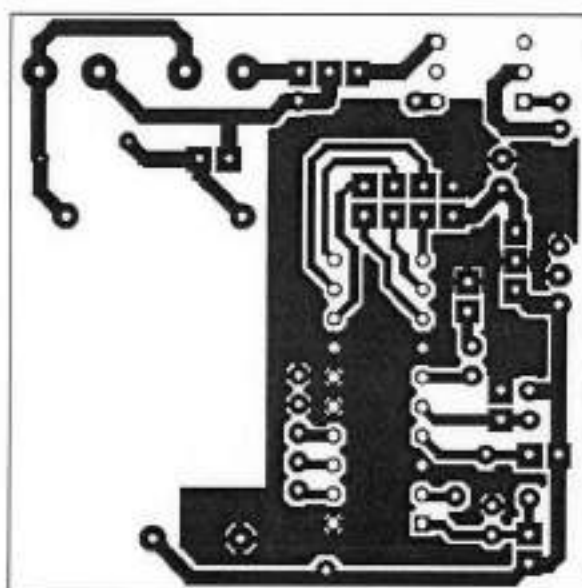
Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 10 representa o primeiro layout da placa de circuito impresso desenvolvida a partir do esquemático da figura 9. Na parte superior esquerda temos a alta tensão, com os conectores de entrada e saída e o TRIAC. A fonte de alimentação está logo abaixo, ocupando todo o canto esquerdo da placa. No canto superior direito, estão os jumpers que permitem isolar a alimentação do microcontrolador e colocar o pino de MCLR em alto, seguidos pelos pinos do ACS.

Logo abaixo dos pinos do sensor de corrente está o PIC. Note que alguns de seus pinos foram colocados em terra com a finalidade de aumentar a área do plano de terra e, portanto, não devem ser utilizados. À direita do microcontrolador, encontram-se os pinos de PGD, PGC e terra da interface ICSP. Abaixo do microcontrolador está o conector do transceptor e à esquerda do PIC estão o botão, o LED e o circuito necessário para a polarização e debouncing desses componentes. O regulador de tensão está localizado na parte inferior da placa, entre a fonte e o transceptor, com um capacitor eletrolítico ligado na entrada e outro na saída, seguindo a aplicação indicada no seu datasheet.

A dimensão real da placa é de cinco por cinco centímetros.

Figura 11 - Layout da Segunda Tomada

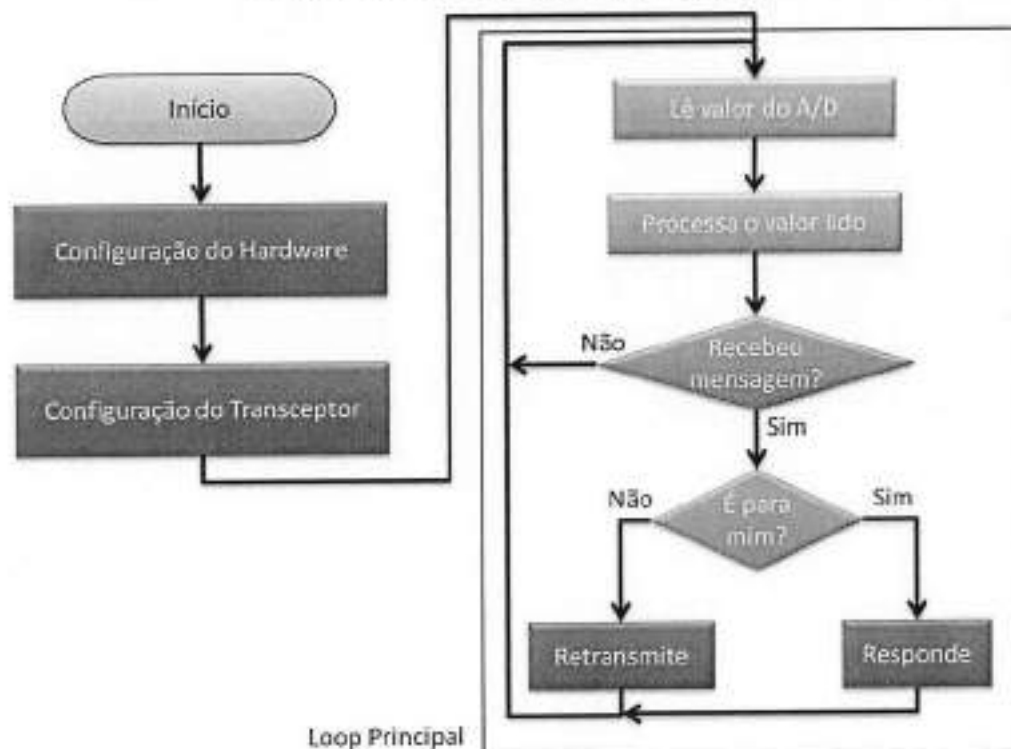


Fonte: Elaborado pelos autores

A segunda placa tem o layout mostrado na figura 11. Vários componentes foram reposicionados para reduzir o espaço necessário. Do lado esquerdo, está a fonte de tensão, ocupando uma grande área da placa. Do lado direito da fonte está o PIC e, logo acima dele, o conector do transceptor. O layout foi feito de forma que o transceptor fique sobre o PIC, otimizando o espaço. À direita do PIC estão os resistores e conectores do ICSP, dos LEDs e do botão, além dos jumpers. Na parte de cima da placa, está a parte de alta tensão, com os conectores da rede elétrica, o TRIAC, o optoTRIAC e o varistor.

6.1.3 Firmware da Tomada

Figura 12 - Fluxograma da Tomada



Fonte: Elaborado pelos autores

O firmware da tomada consiste basicamente de uma inicialização e do loop principal. Durante a inicialização, diversas opções de hardware do PIC são configuradas, como o oscilador, o A/D, os timers, o SPI, os pinos de entrada e saída, entre outros. Depois, é feita a configuração do transceptor, que ajusta o canal de transmissão (frequência), o modo, a taxa de transmissão, a potência de transmissão, entre outros. Caso a configuração seja feita corretamente, a tomada pisca seu LED quatro vezes.

Após as inicializações, a tomada entra no loop principal. Primeiro, o PIC lê o valor de seu A/D. Depois, ele faz as contas necessárias para descobrir a corrente de pico a pico que passa na tomada. A cada amostra colhida, o programa verifica se o transceptor recebeu alguma mensagem. Em caso positivo, verifica-se se o destino da mensagem é ele mesmo. Se não for, ele retransmite a mensagem. Se for, o PIC executa o comando da mensagem (como por exemplo, piscar o LED, energizar a tomada, etc) e depois envia uma resposta. Esse loop se mantém indefinidamente.

6.1.4 Protótipo da Tomada

A primeira tomada montada está mostrada na figura 13. O bloco preto na borda da placa é a fonte RAC01-05. O LED está solto do lado direito da imagem. Para o conector fêmea da tomada, foi utilizada uma caixa do Sistema X da Pial Legrand, pois é bastante prática e simples de montar. O conjunto de fios que passam na parte de cima da imagem conecta a placa ao transceptor. Do lado esquerdo da placa, é possível ver o dissipador ligado no TRIAC.

Figura 13 - Foto da Primeira Tomada

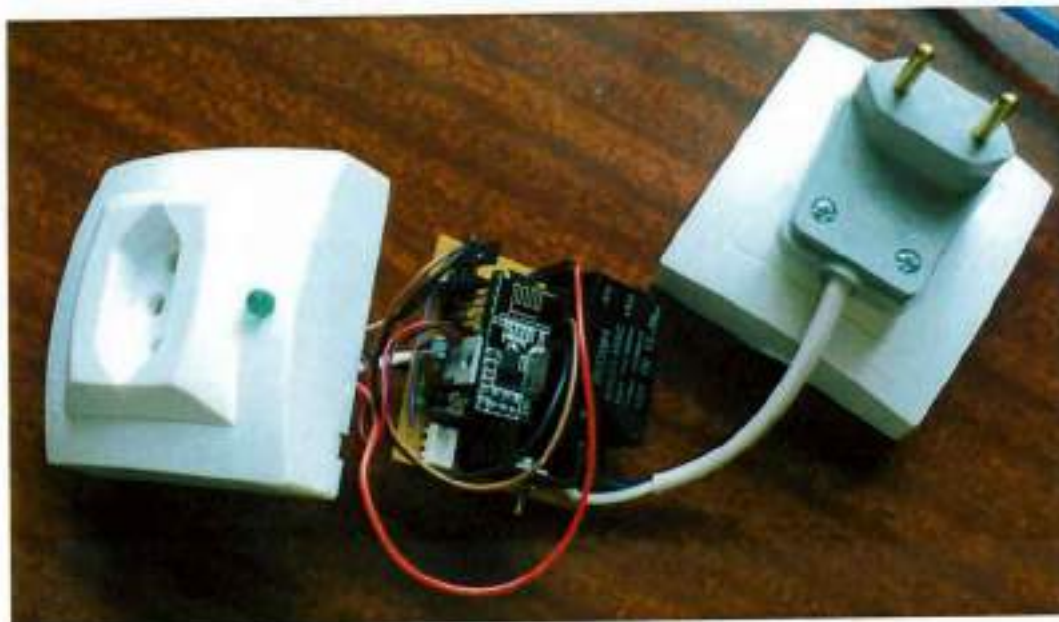


Fonte: Elaborado pelos autores

A segunda tomada feita pela equipe está mostrada na figura 14. Na figura, é possível ver a fonte, ocupando uma grande área da placa. Ao lado, está o transceptor. Não é possível ver o PIC porque ele está exatamente embaixo do transceptor, para economizar espaço. Para o conector fêmea da tomada, foi usada novamente a caixa do Sistema X da Pial Legrand. No entanto, o LED indicativo foi

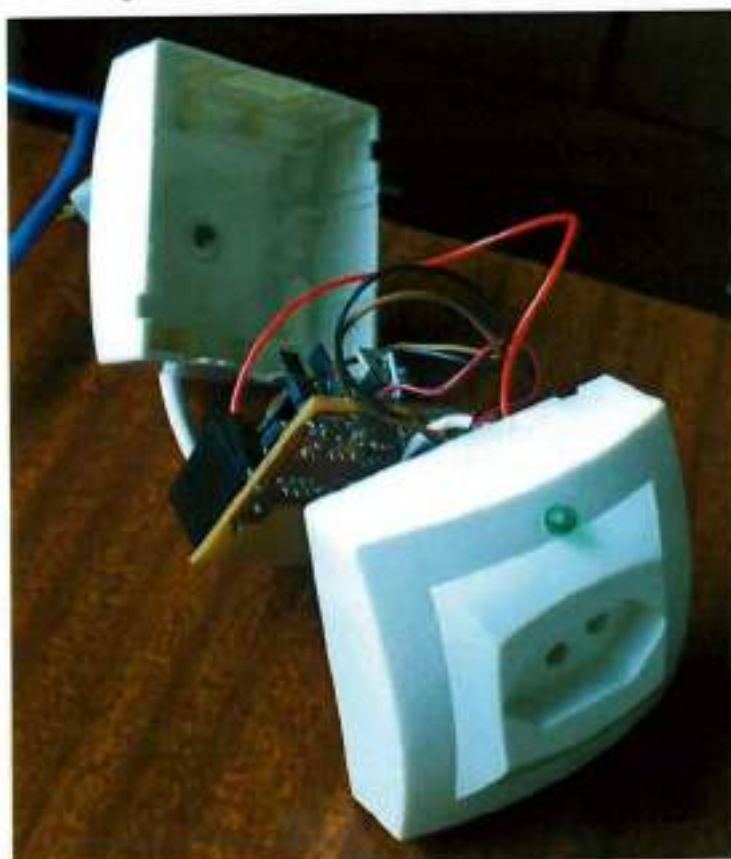
colocado na caixa. O conector macho da tomada foi colocado em outra caixa do Sistema X.

Figura 14 - Foto da Segunda Tomada



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 15 - Foto da Segunda Tomada 2



Fonte: Elaborado pelos autores

Nessa tomada, tentou-se colocar o circuito dentro da caixa da Pial, de forma a montar um produto fechado, conforme ilustra a figura 15. As duas caixas seriam coladas uma na outra, para formar uma caixa com o conector fêmea de um lado, o conector macho do outro, e o circuito dentro da caixa.

6.1.5 Custo da Tomada

Os custos da tomada estão indicados no quadro 6. O total gasto na placa de cada tomada foi de aproximadamente 80 reais. O conector fêmea do Sistema X da Pial Legrand custa 17 reais, enquanto que uma caixa "cega" (a caixa de trás na figura 15) do Sistema X custa 13 reais. Com isso, o custo de uma tomada com as caixas ficaria em torno de 110 reais. Como a montagem foi feita pela equipe usando equipamentos e infraestrutura da Escola Politécnica, esse custo não foi considerado. Também foi desconsiderado o custo de desenvolvimento.

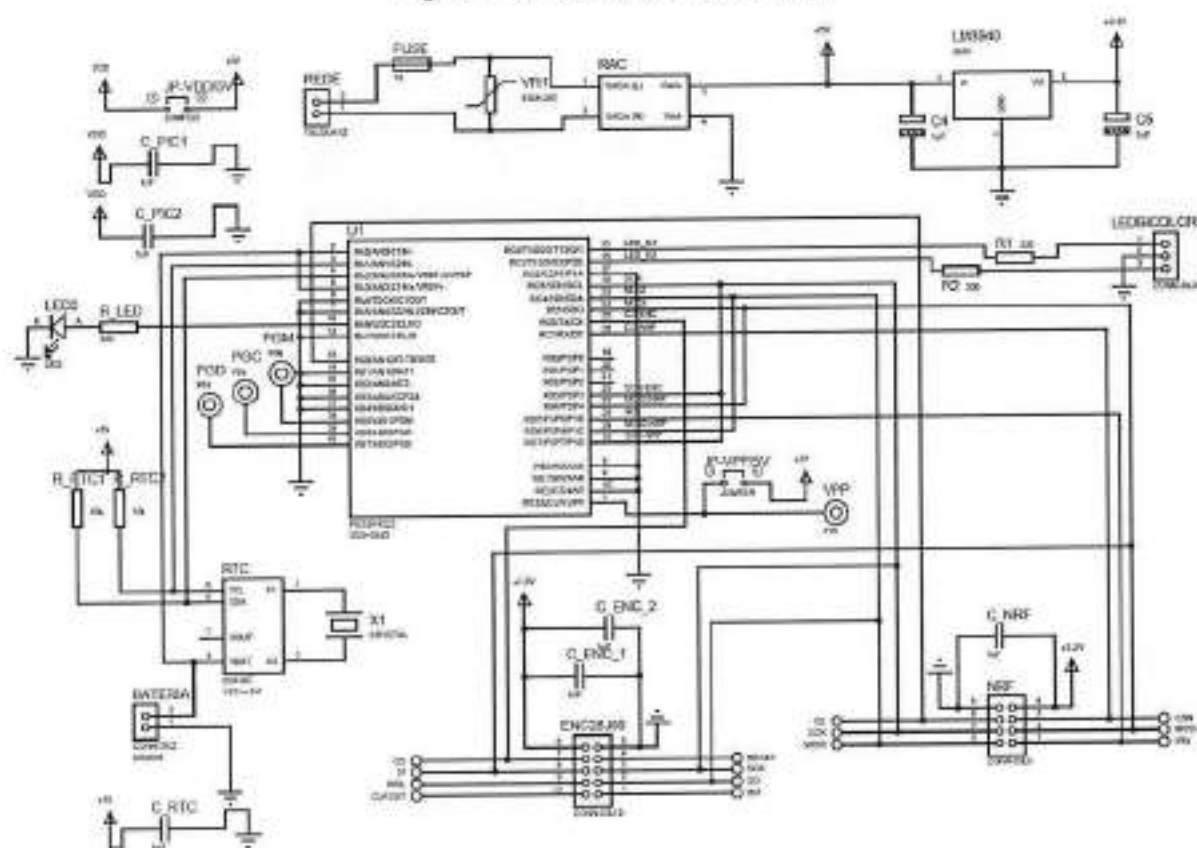
Quadro 6 - Custos do Circuito da Tomada

Componente	Custo
Fenolite	R\$ 0,50
Resistores em geral	R\$ 1,00
Capacitores em geral	R\$ 2,00
Cabos em geral	R\$ 5,00
NRF24L01+	R\$ 9,00
RAC01-05SC	R\$ 30,00
Varistor	R\$ 1,00
PIC16F690	R\$ 8,50
Soquete de 20 pinos	R\$ 1,30
LED	R\$ 0,15
40x Pinos	R\$ 1,00
2x Jumper	R\$ 0,20
MOC3023	R\$ 2,20
BTA16-600BRG	R\$ 2,40
LM3940	R\$ 4,80
ACS712	R\$ 11,60
TOTAL	R\$ 80,65

6.2 CENTRAL

6.2.1 Circuito da Central

Figura 16 - Circuito da Central



Fonte: Elaborado pelos autores

Na central, cujo esquemático está representado na figura 16, a alta tensão é usada apenas na alimentação da placa, que está representada no topo do esquemático. Ela engloba a fonte de tensão com as apropriadas proteções e o regulador de tensão, um LM3940, idêntico ao da tomada, para gerar 3.3V para a alimentação do transceptor e do módulo Ethernet.

Assim como na tomada, o microcontrolador da central também possui uma interface ICSP para programação e debug "on-board", com os pinos PGD, PGC, PGM e MCLR, alimentação e terra.

A interface SPI do microcontrolador é compartilhada pelos módulos Ethernet e transceptor, com três sinais de controle exclusivos para o transceptor, CSN, CE e IRQ, e um sinal de controle para o módulo Ethernet, o CS (Chip Select). O controle

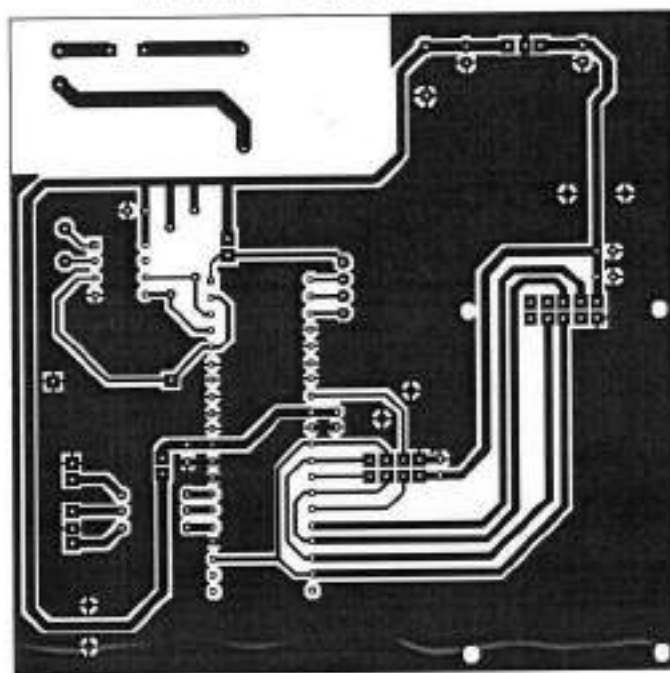
dos módulos e a decisão da prioridade sobre o uso do SPI cabem ao software embarcado.

O microcontrolador utilizado é o PIC 18F4525, que, como já foi falado, possui memória interna utilizada para a configuração do sistema. Nessa placa foram utilizados dois LEDs para monitorar o estado do microcontrolador, sendo um deles, um LED bicolor.

Por fim temos o RTC, o DS1307 ligado da maneira apropriada, com um cristal, uma bateria (para não deixar o chip sem alimentação e perder a contagem) e dois resistores de "pull-up" para fazer a conexão com o microcontrolador. A bateria é conectada no canal 0 do conversor A/D, pois na configuração dos pinos do microcontrolador, é necessário configurar todas as entradas dos canais anteriores ao utilizado, incluindo o canal em questão, como entradas analógicas. Para evitar que esse procedimento seja necessário, o que poderia ocasionar em perda de utilidade de alguns pinos do microcontrolador, procurou-se utilizar o canal próximo do zero possível. O propósito de ligar a voltagem da bateria em um canal do conversor analógico digital é monitorar o nível de tensão da bateria e baseado nisso decidir se é recomendável a troca da mesma.

6.2.2 Layout da Central

Figura 17 - Layout da Central



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 17 representa o layout da placa de circuito impresso da central. Na sua parte superior estão, da direita para a esquerda, a entrada da alimentação, o fusível de proteção e o varistor de proteção, seguido pela fonte de alimentação e o regulador de tensão, bem como seus capacitores de carga.

Abaixo da fonte de alimentação está localizado o microcontrolador, que, assim como na tomada, possui alguns pinos ligados ao terra afim de aumentar o plano de terra. À sua esquerda estão os pinos de programação do ICSP, mais para a esquerda está o conector do módulo Ethernet e, abaixo, o conector do módulo transceptor. À direita do PIC encontra-se o DS1307, o "real time clock" e o circuito necessário ao seu redor, o cristal, as resistências e, logo abaixo do relógio, o conector da bateria utilizada. Abaixo do conector da bateria estão os LEDs para indicar o estado da central.

Próximo a todas as entradas de energia, foram utilizados capacitores de by-pass. Ainda temos dois jumpers na placa para isolar a alimentação do microcontrolador, quando for feita programação através do ICSP.

A dimensão real da placa é de dez por dez centímetros.

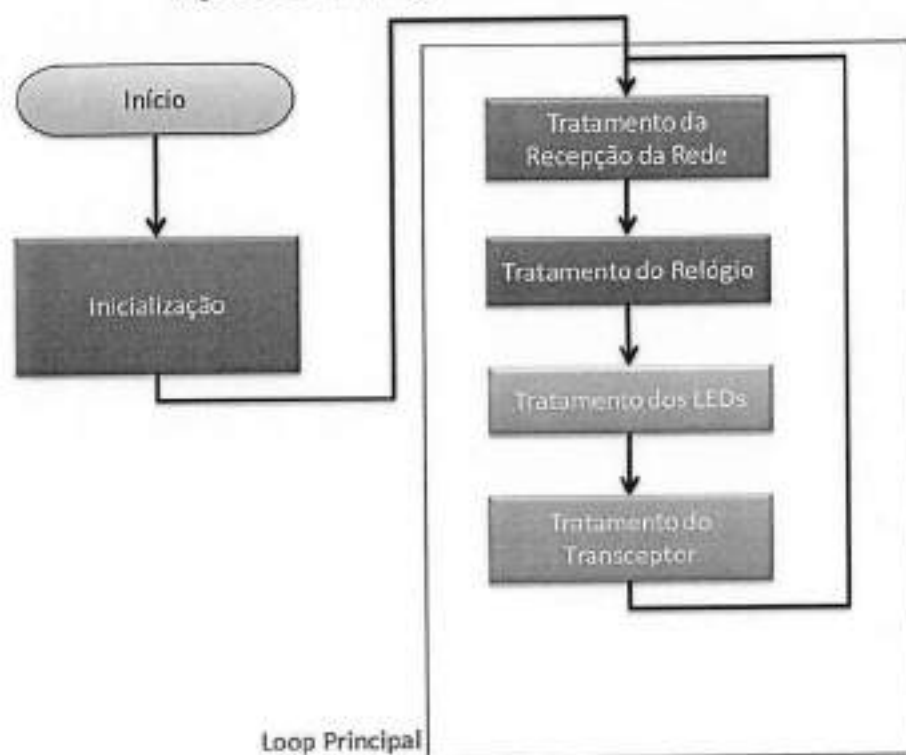
6.2.3 Firmware da Central

A figura 18 demonstra o funcionamento geral da central. Cada bloco é detalhado posteriormente.

Logo que o programa começa a ser executado, uma etapa de inicialização é feita para configurar os diferentes módulos que compõe o sistema. Depois, o programa entra em um loop infinito.

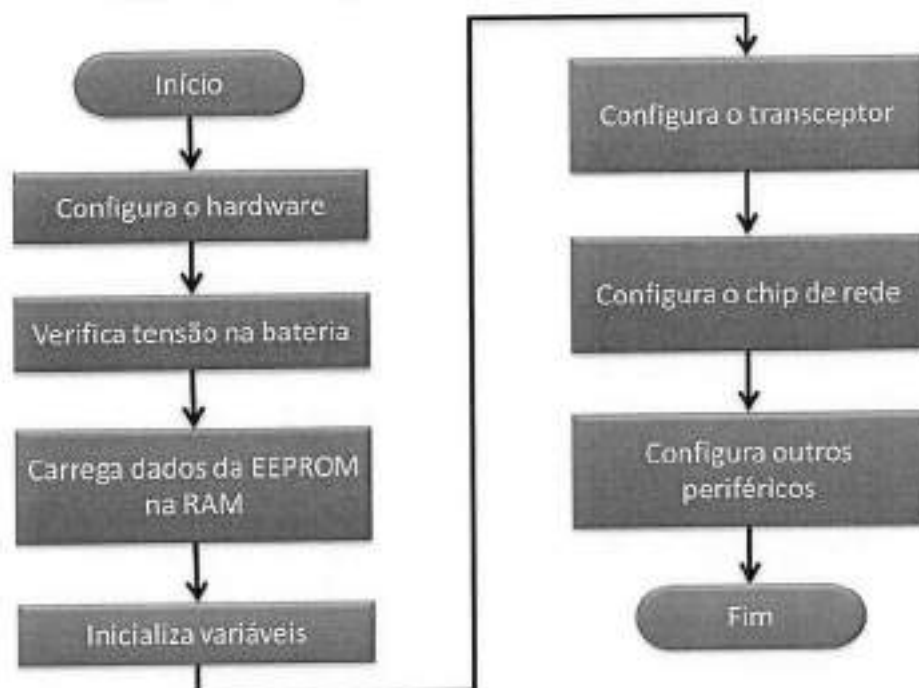
Para o funcionamento desse programa, existe a fila (estrutura de memória FIFO – First In, First Out) do transceptor. A fila do transceptor é usada para armazenar pedidos de comunicação com as tomadas. Por exemplo, durante o tratamento do relógio, descobre-se que a tomada 3 deve ser energizada. Nesse caso, esse tratamento coloca na fila do transceptor uma mensagem para energizar a tomada 3. Dessa maneira, todos os tratamentos que precisam se comunicar com uma tomada possuem uma interface única para fazê-lo. A rotina de tratamento do transceptor executa uma requisição por vez. Ao terminar o tratamento, essa requisição é removida da fila e a próxima é tratada.

Figura 18 - Fluxograma Geral da Central



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 19 - Fluxograma da Inicialização da Central



Fonte: Elaborado pelos autores

Durante a inicialização, cujo fluxo está na figura 19, a primeira tarefa executada pelo processador é configurar o hardware, ou seja, desligar periféricos não utilizados (como a comunicação serial, os contadores, entre outros), configurar os periféricos usados e configurar as portas do microcontrolador.

A seguir, o programa verifica a tensão na bateria que alimenta o relógio interno. Caso esteja abaixo do valor mínimo, uma flag recebe o valor 1, para indicar tensão baixa na bateria.

Depois, o programa carrega os dados armazenados na memória EEPROM. Entre os dados carregados, estão o endereço IP, o endereço e o canal do transceptor, as tomadas sincronizadas e as regras.

Após carregar os dados, o programa inicializa variáveis utilizadas na execução do programa.

Em seguida, o transceptor é configurado. Nessa operação, o endereço e o canal, armazenados na EEPROM, são escritos nos registradores do NRF24L01+.

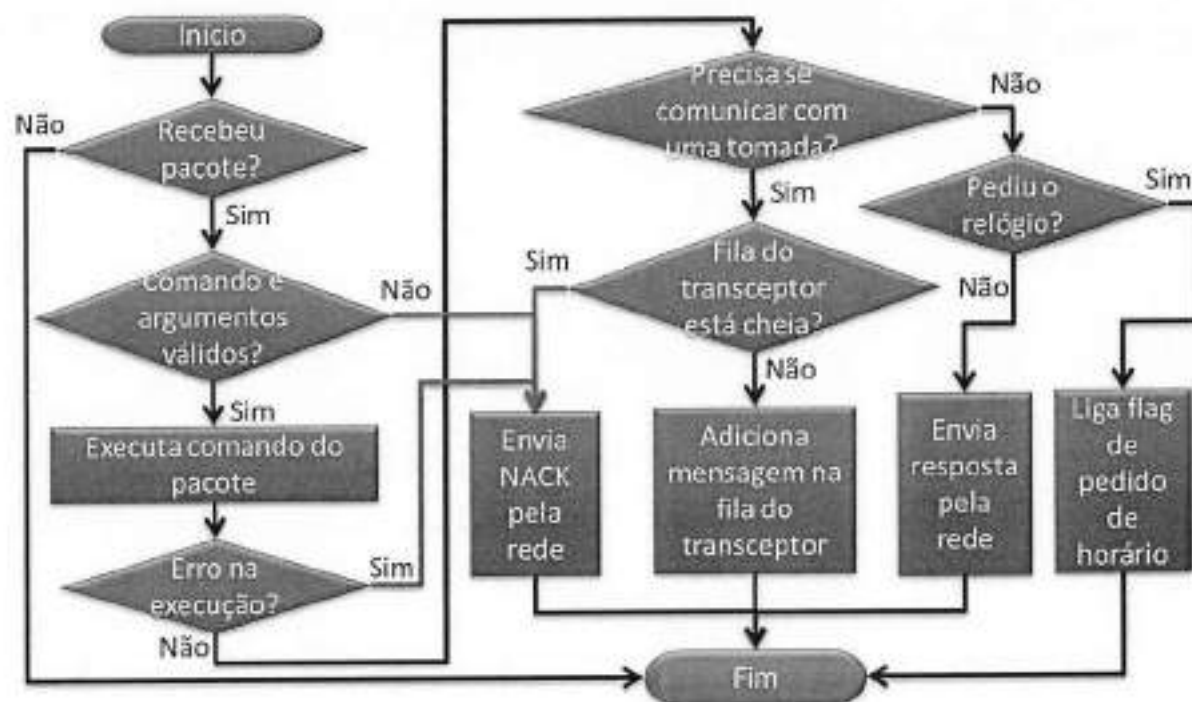
A próxima operação feita é a configuração do chip de rede, o ENC28J60. Essa configuração é feita pelo driver do chip, que é fornecido pela própria Microchip.

Finalmente, outros periféricos (como o relógio DS1307) são inicializados.

Após a inicialização, o programa entra no loop principal, executando o código indefinidamente. O loop principal foi dividido em quatro tratamentos, cada um relacionado com um periférico presente na placa. Cada passagem no loop demora menos de 1 milissegundo, em geral. No entanto, entre cada execução do loop, existe uma rotina chamada somente para gerar um "delay" (atraso). Assim, cada passagem do loop é feita a cada 20 milissegundos, em média. A exceção é o tratamento do transceptor, que é executado a cada 1 milissegundo para evitar que o buffer de recepção se encha antes que ele possa ler as mensagens recebidas.

O primeiro tratamento feito é o do módulo de ethernet. Seu fluxograma está apresentado na figura 20.

Figura 20 - Fluxograma do Tratamento da Rede

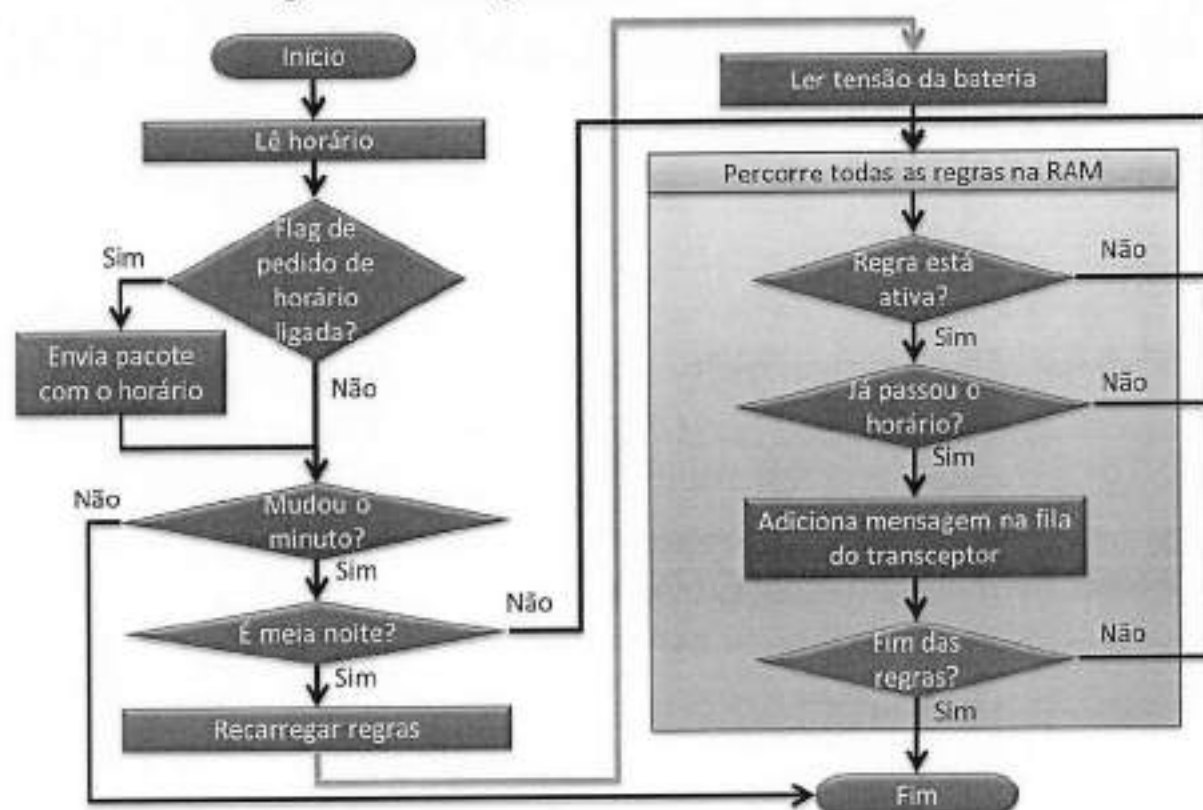


Fonte: Elaborado pelos autores

Durante esse tratamento, verifica-se se algum pacote foi recebido. Caso o comando seja validado (comando e argumentos reconhecidos pelo programa), a operação indicada pelo pacote é executada. Se o comando necessita comunicação com uma tomada, uma mensagem é colocada na fila do transceptor. Nesse caso, a resposta só será enviada após a comunicação com a tomada terminar. Se o comando pediu o relógio, então uma flag é ligada para que o horário seja enviado logo após a próxima leitura do relógio. Caso não precise de comunicação com a tomada e nem o horário, a resposta é enviada pela rede.

Caso exista algum erro no pacote, erro na execução do comando ou caso a fila do transceptor esteja cheia, uma mensagem de erro (NACK) é colocada na fila de transmissão da rede.

Figura 21 - Fluxograma do Tratamento do Relógio



Fonte: Elaborado pelos autores

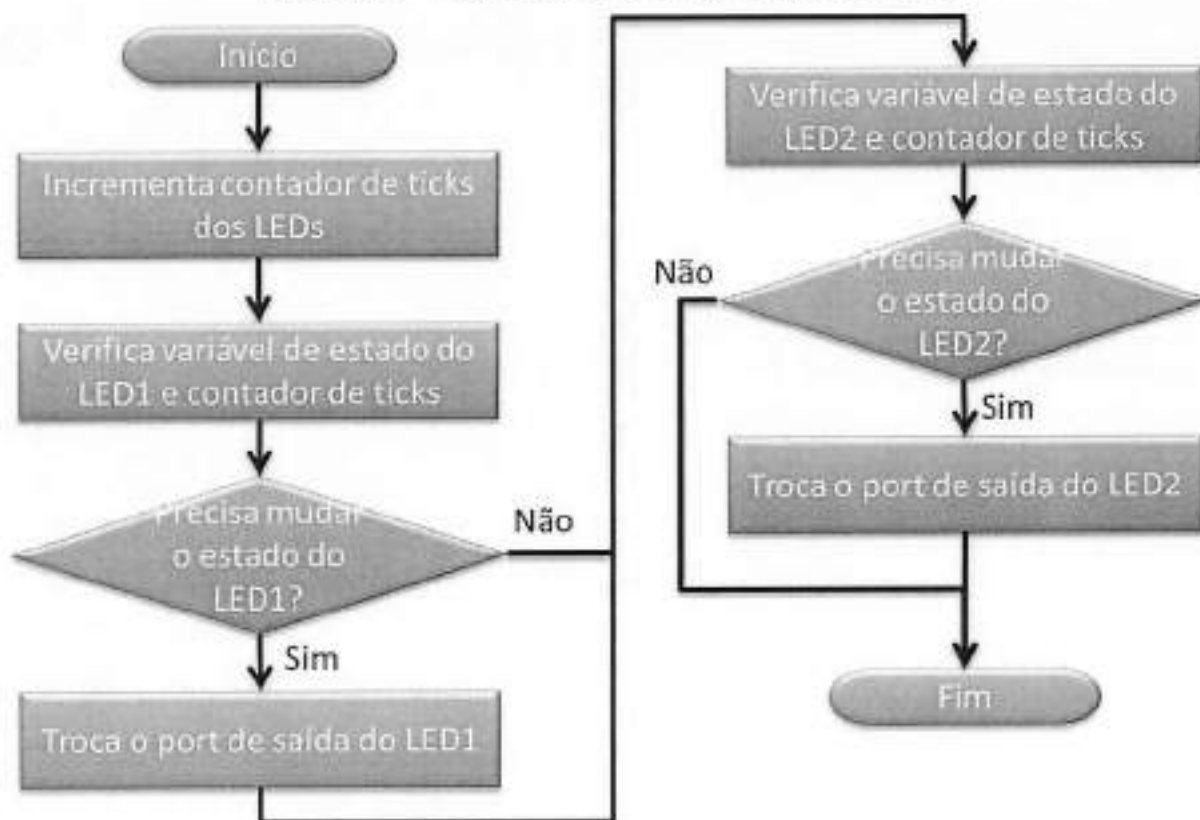
O tratamento do relógio é responsável por verificar o horário armazenado pelo DS1307 e, dependendo do horário, executar alguma função.

Caso uma mensagem pedindo o horário da central tenha sido recebida, então logo após ler o relógio, uma mensagem com o horário é enviada pela rede.

A cada minuto, a rotina percorre todas as regras armazenadas na memória RAM. Caso a regra esteja ativa e o horário de ativação já passou, então uma mensagem é adicionada à fila do transceptor. Uma vez que a regra é atendida (ou seja, a tomada correspondente recebeu o comando e enviou um ACK), a regra é desativada.

Caso seja meia noite, o programa lê novamente todas as regras armazenadas na memória EEPROM e carrega-as na RAM. Nesse momento, o programa decide se a regra está ativa ou não. Também verifica a tensão da bateria que alimenta o DS1307.

Figura 22 - Fluxograma do Tratamento dos LEDs

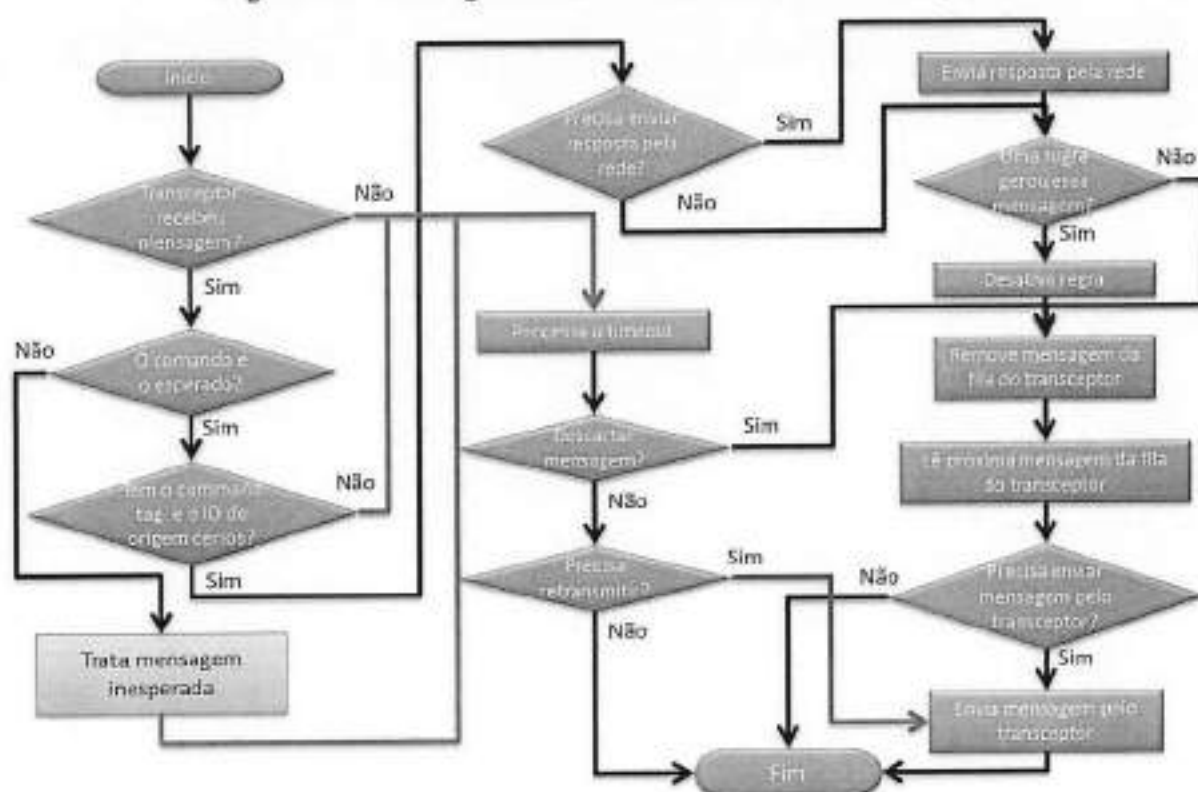


Fonte: Elaborado pelos autores

Existem dois LEDs na central. O LED1 possui duas cores, enquanto o LED2 só possui uma cor. Para controlá-los, existem dois registradores para cada LED. Um deles, o registrador de estado, indica o modo de operação do LED, definindo se ele deve ficar aceso, apagado ou piscar em uma certa frequência. O outro registrador é o contador de "ticks". Um tick é incrementado toda vez que a rotina é chamada, ou seja, uma vez a cada ciclo do loop principal do programa.

Assim, o tratamento dos LEDs verifica os registradores de estado e o contador de ticks. Dependendo dos valores em cada um desses registradores, o programa muda a porta de saída do LED.

Figura 23 - Fluxograma do Tratamento do Transceptor



Fonte: Elaborado pelos autores

O tratamento do transceptor é responsável por tratar as mensagens recebidas, enviar mensagens e controlar os "timeouts" das mensagens.

Caso o transceptor receba uma mensagem, verifica-se se o comando é o esperado. O comando esperado é definido na estrutura armazenada na fila do transceptor. Se o comando, o command tag e o ID de origem estão certos, então verifica-se se essa transmissão foi gerada por uma mensagem de rede ou se foi por uma regra. Caso tenha sido uma mensagem de rede, a resposta é enviada pela rede. Caso tenha sido uma regra, esse regra é desativada (ou seja, a flag que indica se ela está ativa é zerada).

Em seguida, a mensagem é removida da fila do transceptor e a próxima mensagem da fila é lida. Se a fila não está vazia (ou seja, se existe uma mensagem esperando), então essa próxima mensagem é enviada pelo transceptor.

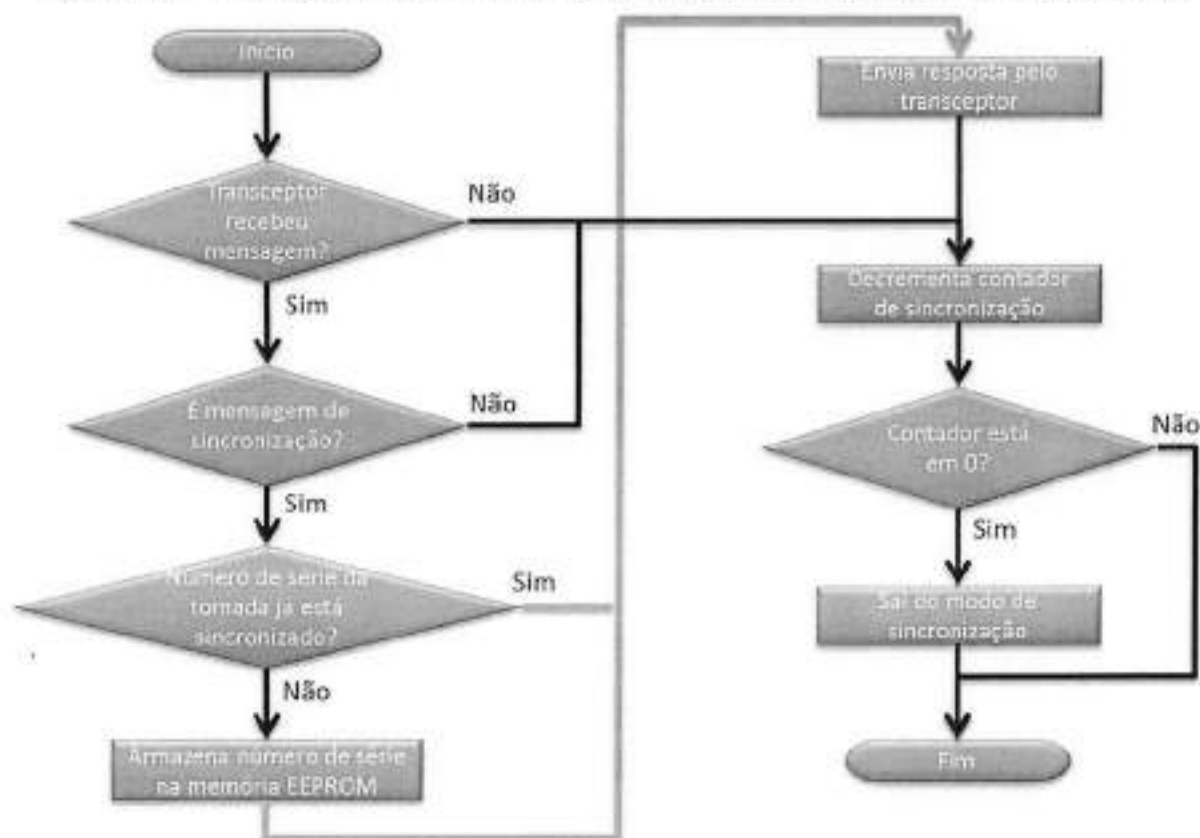
Caso o transceptor não tenha recebido mensagens, ou caso a mensagem recebida não esteja correta, o valor do "Timeout restante" na estrutura da mensagem é decrementado. Caso chegue a zero, o valor de "Retransmissões Restantes" é

decrementado e a mensagem é retransmitida. Se esse valor também chegar a 0, a mensagem é descartada.

Caso a central tenha recebido um comando para entrar no modo de sincronização, uma flag recebe o valor 1, para indicar que foi requisitado que a central entrasse no modo de sincronização.

Se uma mensagem está sendo tratada (aguardando resposta), então o programa aguarda o fim do tratamento para entrar nesse modo. Ao entrar, o canal e o ID do transceptor são alterados para o canal 1 e o endereço [00h 53h 59h 4Eh 43h] (caracteres ASCII: S Y N C). O tratamento do transceptor é diferente nesse modo.

Figura 24 - Fluxograma do Tratamento do Transceptor no modo de Sincronismo



Fonte: Elaborado pelos autores

No modo de sincronização, o programa aguarda o recebimento de uma mensagem pedindo para sincronizar, vindo de uma tomada. Nessa mensagem, é enviado o número de série da tomada de origem. Caso essa tomada nunca tenha sido sincronizada com essa central, o número de série da tomada é armazenado na

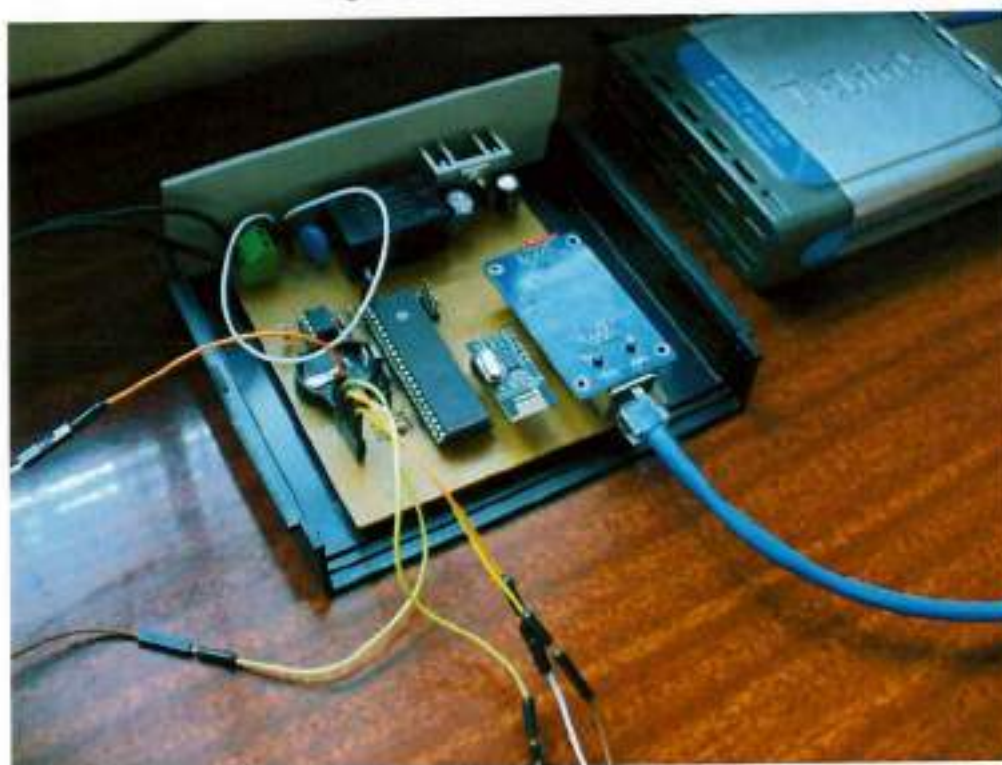
memória EEPROM. Depois, uma mensagem com o ID atribuído à tomada, o canal do transceptor e endereço do transceptor é enviada para a tomada.

Toda vez que esse tratamento é executado, o valor de um contador de sincronização é decrementado. Ao chegar em 0, a central sai do modo de sincronização e reconfigura o transceptor para o canal e endereço normais (armazenados na EEPROM).

6.2.4 Protótipo da Central

A central montada está exibida na figura 25. Na figura, é possível observar com facilidade cada um dos componentes principais da placa. Do lado direito, na parte de baixo, está o módulo ethernet, com um cabo de rede conectado nele. Do seu lado esquerdo, está o transceptor. Mais à esquerda está o PIC, de 40 pinos. Do lado esquerdo da placa, há um soquete para bateria do tipo botão, usado pelo RTC. Esse relógio está logo encima do soquete. Os fios abaixo do soquete da pilha estão ligados nos LEDs. Na parte de cima, é possível observar a fonte (bloco grande preto) e, do seu lado direito, o LM3940, que gera 3.3V, com um grande dissipador.

Figura 25 - Foto da Central



Fonte: Elaborado pelos autores

O dissipador foi necessário porque o módulo ethernet consome uma corrente capaz de superaquecer o LM3940 (em torno de 200 mA).

Para alojar o circuito, foi comprada uma caixa de plástico. A caixa não poderia ser metálica porque isso poderia degradar muito o canal de comunicação do transceptor, impossibilitando a comunicação entre a central e as tomadas.

6.2.5 Custo da Central

Os custos do circuito da central estão indicados no quadro 7. Assim, a placa da central custou em torno de 100 reais. A caixa comprada para a central custou 20 reais. Isso resulta em um total de 120 reais para o protótipo da central.

Quadro 7 - Custos do Circuito da Central

Componente	Custo
Fenolite	R\$ 2,00
Resistores em geral	R\$ 2,00
Capacitores em geral	R\$ 4,00
Cabos em geral	R\$ 5,00
NRF24L01+	R\$ 9,00
RAC01-055C	R\$ 30,00
Varistor	R\$ 1,00
PIC18F4525	R\$ 21,00
Soquete de 40 pinos	R\$ 2,30
LEDs	R\$ 0,50
40x Pinos	R\$ 1,00
2x Jumper	R\$ 0,20
ENC28J60	R\$ 13,50
DS1307	R\$ 4,80
LM3940	R\$ 4,80
Soquete para Pilha	R\$ 0,60
Cristal 32768 Hz	R\$ 0,50
TOTAL	R\$ 102,20

6.3 SOFTWARE

O programa consiste basicamente em diversas telas, com as quais o usuário controla a central e as tomadas, e uma thread (processo do sistema operacional) que cuida da comunicação com a rede.

A interface gráfica foi desenvolvida pelo editor de layout integrado no Eclipse. A tela inicial faz a conexão com a central, mostrada na figura 26. Ao apertar o botão, o programa envia um "broadcast" pela rede. A central, ouvindo essa mensagem, envia uma resposta para o programa.

Figura 26 - Tela inicial



Fonte: Elaborado pelos autores

Depois da conexão, aparece a tela principal, com informações da central e uma lista de tomadas, mostrada na figura 27. Nessa tela, é possível modificar o IP da central, ajustar o relógio da central e acessar a tela de uma das tomadas. Também é possível fazer com que a central entre no modo de sincronização. O horário exibido na tela é lido da central a cada 1 segundo. Quando o botão de ajustar o relógio é pressionado, o programa pega o horário do celular e envia-o para a central.

Figura 27 - Tela Principal



Fonte: Elaborado pelos autores

Na tela da tomada da figura 28, mostra-se a corrente instantânea e o estado da tomada (ligada ou desligada). Também é possível mudar o estado e modificar as regras daquela tomada. A tela que altera as regras é ilustrada na figura 29. Nela, é possível modificar os parâmetros da regra, mudar o tipo de regra e apagá-la. Cada tipo de regra possui campos diferentes que podem ser editados.

Figura 28 - Tela da Tomada



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 29 - Tela de Edição de Regras



Fonte: Elaborado pelos autores

Para fazer a comunicação por Wi-Fi, o programa roda uma máquina de estados, responsável por enviar e receber pacotes da rede. Essa tarefa sempre roda enquanto o programa está funcionando. Isso foi feito porque o Android não permite que rotinas de comunicação de rede sejam executadas na tarefa que cuida da interface gráfica. Por isso, existe sempre duas tarefas em execução: uma que controla a interface gráfica, tratando as ações do usuário, e outra que cuida da comunicação da rede, enviando pacotes, recebendo pacotes e controlando os "timeouts" para descobrir se a central parou de responder.

7 TESTES DO PROTÓTIPO

Os testes do sistema foram definidos de acordo com o modelo "V" de desenvolvimento de projetos. Assim, existem os testes individuais de cada módulo, o teste de integração e o teste de validação.

7.1 PLANO DE TESTES DA TOMADA

7.1.1 Testes das fonte de alimentação

- 5 Volts

No circuito da tomada, o PIC e o ACS712 são alimentados com 5 volts. Assim, é necessário testar se essa tensão realmente está chegando nos pinos de alimentação dos mesmos. Os pinos do PIC são o 1 (Vdd) e o 20 (Vss) e os pinos do ACS são o 1 (Vcc) e o 3 (GND).

Resultado – A diferença de tensão medida entre os pinos de alimentação tanto do PIC, quanto do ACS estão na faixa de $5V \pm 10\%$.

- 3.3 Volts

O transceptor é alimentado com 3.3 volts. Por isso, testa-se se essa tensão está chegando nos pinos de alimentação do mesmo, no caso os pinos 1 (3.3V) e 8 (GND).

Resultado – A diferença de tensão medida entre os pinos de alimentação do transceptor está na faixa de $3.3V \pm 10\%$.

7.1.2 Testes dos módulos

- Comunicação PIC – Transceptor

Nesse teste, é verificada a comunicação entre o PIC e o transceptor NRF24L01+. Isso é feito por firmware durante a inicialização.

Resultado – O LED da tomada piscou quatro vezes no total quando a tomada foi conectada ao ponto de energia, indicando que a inicialização foi concluída com sucesso. Lembrando-se que o LED pisca duas vezes quando a tomada é ligada e pisca mais duas vezes quando a inicialização, onde há a configuração do transceptor, com troca de mensagens, é concluída.

- o Leitura do Sensor de Corrente

O sensor de corrente impõe no pino 2 uma tensão equivalente à corrente que passa pelo mesmo. Assim, testa-se se a tensão nesse pino é proporcional à carga ligada e se essa tensão chega até o pino 17 do PIC.

Resultado – Medindo a tensão no pino 17 do PIC com o auxílio de um osciloscópio, percebe-se que o valor de pico a pico da tensão é proporcional à corrente que atravessa o sensor de corrente.

7.1.3 Testes funcionais

- o Chaveamento

A tomada deve ser capaz de energizar e desenergizar uma carga ligada nela. Assim, testa-se se o funcionamento dos TRIACs verificando se a corrente na carga é interrompida.

Resultado – É possível notar que a tomada responde corretamente aos comandos de energizar e desenergizar a carga ligada na mesma. Atestando não apenas o correto funcionamento do TRIAC quanto de outros componentes do sistema, como o firmware do PIC, o protocolo de comunicação e o transceptor.

- o Programação

O PIC da tomada deve ser programado sem ser removido da placa. Para isso, foram colocados pinos para programação. Assim, é necessário testar se a programação é feita corretamente por esses pinos.

Resultado – O IDE MPLAB X acusou que o microcontrolador foi corretamente programado, quando utilizado os pinos de programação na própria aplicação para aplicação do método ICSP (*In Circuit Serial Programming*).

- o Botão

Existe um botão na placa para acionar o modo de sincronização. Por isso, testa-se se a tensão no pino 9 do PIC varia de acordo com o estado do botão.

Resultado – Com o auxílio de um osciloscópio atestou-se a mudança de nível lógica no pino 9 ao colocar jumper a fim de simular o comportamento de um botão. O botão

não foi utilizado, pois a sincronização automática entre tomada e central não foi implementada.

7.2 PLANO DE TESTES DA CENTRAL

7.2.1 Testes das fonte de alimentação

o 5 Volts

No circuito da central, o PIC e o DS1307 são alimentados com 5 volts. Assim, é necessário testar se essa tensão realmente está chegando nos pinos de alimentação dos mesmos. O PIC possui duas entradas de alimentação, entre os pinos 11(Vdd) e 12(Vss) e entre os pinos 32 (Vdd) e 31 (Vss). No DS2307, a alimentação fica entre os pinos 4 (Vcc) e o 8 (GND).

Resultado – Assim como na tomada, as diferenças de tensões auferidas entre os pinos de alimentação do PIC e do DS2307 estão na faixa de $5V \pm 10\%$.

o 3.3 Volts

O transceptor e o módulo ethernet são alimentados com 3.3 volts. Por isso, testa-se se essa tensão está chegando nos pinos de alimentação deles, no caso os pinos 1 (3.3V) e 8 (GND) do transceptor e os pinos 1 (3.3V) e 10 (GND) do módulo ethernet.

Resultado – As diferenças de tensões nas alimentações do transceptor e do módulo ethernet não ultrapassam a faixa de $3.3V \pm 10\%$.

7.2.2 Testes dos módulos

o Comunicação PIC – Transceptor

Nesse teste, é verificada a comunicação entre o PIC e o transceptor NRF24L01+. Isso é feito por firmware durante a inicialização.

Resultado – Na central existem dois LEDs, um tradicional e um bicolor, que piscam alternadamente na inicialização da central. A sequencia começa com a verificação da tensão da bateria conectada com o RTC, em seguida o LED bicolor verde pisca uma vez, depois são carregados os dados da EEPROM, então o LED tradicional piscando uma única vez, as variáveis são carregadas e o LED bicolor vermelho pisca uma vez, o transceptor é configurado e o LED tradicional pisca mais uma vez.

Ao observar essa sequencia alternada dos LEDs piscando até esse ponto, então houve uma comunicação bem sucedida dentre o PIC e o transceptor, como foi observado no teste.

- o Comunicação PIC – Módulo Ethernet

Nesse teste, é verificada a comunicação entre o PIC e o módulo ethernet ENC28J60. Isso é feito por firmware durante a inicialização.

Resultado – A sequencia de inicialização apresentada no item anterior continua após a configuração do transceptor e pisca do LED tradicional, com a configuração do módulo ethernet e termina com o LED bicolor piscando uma vez na cor verde.

Ao se atestar que a sequencia de piscas foi completada então presume-se que a comunicação entre o PIC e o módulo ethernet também ocorreu com sucesso.

- o Comunicação PIC – RTC

Nesse teste, é verificada a comunicação entre o PIC e o RTC (real time clock) DS1307. Para isso, o software que comanda a central deve ajustar o relógio e depois pedir para a central enviar o horário. Caso o horário esteja correto, a comunicação entre o PIC e o RTC está funcionando corretamente.

Resultado – Executando os comandos de ajuste do relógio e leitura do relógio, respectivamente mensagens 23h e 21h, verificou-se que os horários eram iguais, portanto a comunicação entre o PIC e o RTC está assegurada.

7.2.3 Testes funcionais

- o Atraso do Relógio

Para verificar se o relógio da central atrasa significativamente, nesse teste, o relógio é ajustado e depois de 48 horas, o horário é verificado. Para comparação, é conveniente usar um relógio preciso.

Resultado – Os relógios foram comparados depois de 48 horas e não houve atraso significativo, o atraso observado foi de apenas dois segundos.

Horário sincronizado: 16h21min32seg do dia 14/11/2013

Horário lido: 16h21min30seg do dia 16/11/2013

- o Bateria para o RTC

O relógio da central deve permanecer contando o tempo mesmo quando a energia acaba. Para isso, existe uma bateria na placa. O DS1307 possui um sistema que troca automaticamente a alimentação para a bateria quando a tensão da fonte cai abaixo de 3.75 volts aproximadamente. Assim, nesse teste, é necessário ajustar o relógio, desligar a central e depois de uma hora, religar o sistema e verificar se o relógio ainda está com o horário certo.

Resultado – Depois de uma hora desligada, a central foi religada e o horário foi requerido. O retorno da função representou a hora sincronizada com um relógio externo sem atraso considerável, ou seja, menor que um segundo.

Horário sincronizado: 16h32min14seg

Horário lido: 17h32min14seg

- o EEPROM do PIC

O PIC utiliza sua memória EEPROM interna para armazenar dados, como o endereço IP, as tomadas sincronizadas e as regras. Para testar se o acesso à memória está funcionando corretamente, basta enviar um comando para a central gravar dados na memória e depois ler os dados gravados.

Resultado – Utilizando as mensagens 28h e 26h, para escrever regras na EEPROM e ler regras da EEPROM, respectivamente, foi atestado o funcionamento da EEPROM do microcontrolador.

7.3 PLANO DE TESTES DE INTEGRAÇÃO

7.3.1 Testes de comunicação

- o Comunicação Software – Central

Para testar a comunicação entre o software e a central, é necessário que o software envie cada um dos comandos do PCSC. Assim, basta verificar se as respostas estão corretas.

Resultado – Todos os 24 tipos de mensagem que podem ser utilizados pelo PCSC foram utilizados através de 15 comandos pedidos pelo software e analisando suas respectivas respostas constatou-se o bom funcionamento da comunicação entre o Software e a Central.

- Comunicação Software – Tomada

Para testar a comunicação entre o software e a tomada, é necessário que o software envie comandos para a central de forma que esta envie mensagens do PCTC para a tomada. Assim, se houver erro na comunicação entre a central e a tomada, a central informa ao software.

Resultado – Dentre os 15 comandos do Software para com a central, 6 mensagens envolvem ações diretas da tomada, que foram respondidas apropriadamente, atestando o correto funcionamento da comunicação Central – Tomada. A sincronização da tomada com a central não foi implementada e, portanto não foi testada.

- Destino da Comunicação

As mensagens do PCTC possuem um byte que indica a tomada de destino. Para testar se a mensagem só é executada pela tomada de destino, é necessário ter duas tomadas com IDs diferentes e verificar se somente a tomada de destino responde ao comando.

Resultado – Foram feitas duas tomadas e foi atestado o funcionamento independente das tomadas na comunicação com a central.

- Retransmissão

Para testar se a retransmissão funciona corretamente, basta ligar uma tomada distante da central de forma que eles não consigam se comunicar. Depois, coloca-se outra tomada entre eles, a uma distância que essa tomada possa se comunicar tanto com a primeira tomada como com a central. Nessa condição, o software deve enviar um comando para a tomada distante. Caso haja resposta, a retransmissão funciona corretamente.

Resultados – Com as duas tomadas do protótipo montadas foi possível atestar o funcionamento da retransmissão, nas condições descritas no teste e a resposta foi moderadamente satisfatória.

7.3.2 Testes funcionais

- Comando Direto

Nesse teste, é verificado se um comando enviado pelo software consegue energizar e desenergizar a carga ligada em uma tomada. Assim, o software envia um comando para a central, que envia um comando para a tomada, a qual deve atuar sobre a carga.

Resultado – A tomada atua sobre a carga respondendo corretamente o comando do software.

- o Regra Repetível

Nesse teste, o software deve gravar na central uma regra repetível em certo horário e dias da semana. Depois, basta verificar se nesses dias da semana, a carga é acionada no horário definido. Idealmente seria necessário testar todos os dias da semana.

Resultado – Foi testado para dois dias da semana, obtendo resultados positivos. Como o protótipo passou nos testes envolvendo a precisão e comunicação com o RTC, acredita-se que o resultado é repetível para qualquer dia e hora da semana.

- o Regra Única

Nesse teste, o software deve gravar na central uma regra única em certo dia e horário. Depois, basta verificar se no dia especificado, a carga é acionada no horário definido.

Resultado – A resposta a essa regra foi positiva, ativando a carga no dia e horário especificados.

- o Regra de Duração

Nesse teste, o software deve gravar na central uma regra de duração em certos dias da semana. Depois, basta verificar se nesses dias da semana, a carga é desenergizada depois de ter passado certo tempo consumindo uma corrente maior do que o limiar. Assim, é necessário deixar a carga desligada durante alguns períodos de tempo para verificar de fato o limiar de corrente é obedecido. Também é necessário deixar a carga ligada em outros dias da semana para verificar se a regra é acionada.

Resultado – Esse teste foi realizado uma única vez, verificando que a carga é desligada depois de um curto período consumindo uma corrente acima de um limiar pré-estabelecido.

7.4 PLANO DE TESTES DE VALIDAÇÃO

7.4.1 Testes dos limites de operação

- o Tensão de operação

A tomada e a central deve aguentar funcionar normalmente quando conectada a uma tensão de 140 V RMS, ou 200 V de pico. Para realizar esse teste, os sistemas devem ser conectados a uma fonte alternada de 200 V de pico, a 60 Hz. Nessa condição, seu funcionamento deve permanecer normal. Depois de 1 hora nessa condição, o sistema é testado novamente.

Resultado – A tomada foi colocada em um ponto de energia de 220 V RMS e foi atestado seu correto funcionamento por aproximadamente 15 minutos. Depois a tomada foi colocada em um ponto de energia de 110 V RMS e ela continuou a funcionar corretamente. Acreditamos que em uma fonte de 140 V RMS a tomada também deve funcionar adequadamente.

- o Corrente de Operação

Quando a tomada está energizada, a corrente passa por dentro do circuito. Assim, o módulo da tomada deve aguentar até 10 A RMS de corrente (ou aproximadamente 15 A de pico). Nesse teste, uma carga de 10 A deve ser ligada em uma tomada. A princípio, ela deve aguentar essa corrente por tempo indeterminado, mas nesse teste o sistema só ficará ligado por uma hora.

Resultado – A tomada é capaz de medir uma carga de 10 A, porém nessa condição o TRIAC passa a esquentar demasiadamente, podendo, se ligado por um longo período gerar degradações do protótipo.

7.4.2 Testes de aquisição da corrente

- o Precisão

A precisão do sistema deve ser de 0.3 A. Assim, para uma mesma corrente no sistema, as leituras devem variar dentro dessa faixa de 0.3 A. Para realizar esse teste, uma certa carga que consome uma corrente constante será ligada no sistema. Nessa condição, os valores medidos de corrente serão comparados para certificar que a precisão desejada foi atingida.

Resultado – Nos testes de precisão a corrente constante quase não se observa variação no valor obtido. No entanto, ao tentar reproduzir o teste, as variações de corrente podem chegar até 300 mA.

- Acurácia

A acurácia do sistema deve ser de 0.3 A. Assim, o valor de corrente lido pela tomada é comparado com o valor lido por um instrumento de medição calibrado e a leitura deve estar dentro da faixa de 0.3 A. Para o teste, o sistema deve ser ligado em diferentes cargas. As correntes medidas serão: 0 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A e 10 A.

Resultado – O teste de acurácia não foi feito com a desejada precisão devido a falta de um instrumento capaz de medir correntes grandes com elevada acurácia, mas pode-se notar que a variação entre as medidas gira em torno de 250 mA.

7.4.3 Testes funcionais

- Alcance da comunicação

A comunicação entre a central e a tomada deve funcionar a até 8 metros de distância, com uma parede entre eles. Assim, nesse teste, a central será posicionada a 8 metros da tomada, com uma parede de concreto entre elas. A comunicação deve funcionar normalmente.

Resultado – A comunicação foi testada com uma parede de concreto entre a central e a tomada e com uma distância estimada em 10 metros.

- Chaveamento por comando direto

A tomada possui um atuador para energizar e desenergizar a tomada. Assim, ela é capaz de ligar e desligar equipamentos ligados nela. Para testar essa funcionalidade, basta ligar uma carga no sistema e enviar um comando para que a tomada seja desenergizada e depois energizada. A carga deve desligar e ligar conforme o comando enviado.

Resultado – A tomada responde corretamente aos comandos de energizar e desenergizar gerados pelo software.

- Chaveamento baseado no horário

A central possui um relógio interno e uma memória não-volátil para armazenar "regras" que determinam o horário em que uma tomada deve ser energizada ou desenergizada. Para testar essa funcionalidade, basta programar uma tomada para desenergizar em certo horário e depois para energizar em outro horário. A carga ligada na tomada deve desligar e ligar conforme o horário.

Resultado – A tomada apresenta bom desempenho nas respostas às regras definidas para resposta ao horário.

- Chaveamento baseado no consumo

A central também é capaz de determinar o tempo, em minutos, durante o qual uma tomada consumiu uma corrente maior do que um certo limiar. Assim, para testar essa função, basta programar para que uma tomada seja desenergizada após um período de tempo consumindo uma corrente "elevada" (depende da carga). Depois, a carga deve ser ligada consumindo a corrente normal de operação. Após o período de tempo determinado passar, a carga deve ser desligada.

Resultados – A tomada é capaz de desligar-se automaticamente ao verificar um excesso de corrente num determinado período, o que é controlado pelas regras definidas.

7.4.4 Requisitos mecânicos

- Tamanho

O tamanho máximo da tomada especificado é de 10 cm de altura, 10 cm de largura e 8 cm de profundidade, desconsiderando os conectores de energia. Nesse teste, basta medir o tamanho da tomada obtida.

Resultado – A tomada medida apresenta as seguintes dimensões: 5,5 cm de altura, 5,5 cm de largura e 4 cm de profundidade.

- Peso

O peso máximo especificado foi de 500 g. Nesse teste, basta pesar a tomada obtida.
Resultado – O peso aproximado da tomada é de 300 gramas.

7.5 RESUMO DOS TESTES

Os quadros 8, 9, 10 e 11 resumem os testes efetuados, utilizando a seguinte métrica avaliada pelos próprios autores como PASSOU, PASSOU* (com ressalvas) ou NÃO PASSOU.

Quadro 8 – Resultado dos testes da Tomada

	Teste	Descrição	Ponto de Teste	Obtido/Passou
1	Alimentação 5V	Testar se todos os componentes alimentados com 5V tem essa tensão	Tensão entre os pinos 1 e 20 do PIC	4.92
2	Alimentação 3.3V	Testar se todos os componentes alimentados com 3.3V tem essa tensão	Tensão entre os pinos 1 e 3 do ACS	4.92
3	Comunicação PIC - Transceptor	Testar se o transceptor obedece os comandos enviados pelo PIC	Tensão entre os pinos 1 e 8 do conector do transceptor	3.25
4	Leitura do sensor de corrente	Testar se a tensão de saída do sensor de corrente varia com a carga	Verificação feita por firmware	PASSOU
5	Chaveamento	Testar se os TRIACS conseguem ligar e desligar a carga	Tensão no pino 2 do ACS	PASSOU
6	Programação	Testar se é possível programar o PIC usando os pinos da placa	Conector de saída da rede da placa	PASSOU
7	Botão	Testar se o sinal proveniente do botão chega no terminal do PIC	Pinos de programação da placa	PASSOU
			Pino 9 do PIC	PASSOU

Fonte: Elaborada pelos autores

Quadro 9 – Resultado dos testes da Central

	Teste	Descrição	Ponto de Teste	Obtido/Passou
1	Alimentação 5V	Testar se todos os componentes alimentados com 5V tem essa tensão	Tensão entre os pinos 11 e 12 e os pinos 32 e 31 do PIC	4.96
			Tensão entre os pinos 4 e 8 do DS1307	4.96
2	Alimentação 3.3V	Testar se todos os componentes alimentados com 3.3V tem essa tensão	Tensão entre os pinos 1 e 10 do conector do módulo ethernet	3.28
			Tensão entre os pinos 1 e 8 do conector do transceptor	3.28
3	Comunicação PIC - Transceptor	Testar se o transceptor obedece os comandos enviados pelo PIC	Verificação feita por firmware	PASSOU
4	Comunicação PIC - Módulo Ethernet	Testar se o módulo ethernet obedece os comandos enviados pelo PIC	Verificação feita por firmware	PASSOU
5	Comunicação PIC - RTC	Testar se o RTC (Real Time Clock) obedece os comandos enviados pelo PIC	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
6	Atraso do relógio	Testar se o RTC apresenta um atraso significativo	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
7	Bateria para o RTC	Testar se o RTC continua contando o tempo depois que a energia da central foi desligada	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
8	EEPROM do PIC	Testar se a escrita e leitura da memória EEPROM do PIC estão funcionando corretamente	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU

Fonte: Elaborada pelos autores

Quadro 10 – Resultado dos testes de Integração

Teste	Descrição	Ponto de Teste	Obtido/Passou
1 Comunicação Software - Central	Testar se todos os comandos do protocolo PCSC são respondidos corretamente	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
2 Comunicação Software - Tomada	Testar se todos os comandos do protocolo PCTC são respondidos corretamente	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU*
3 Destino da Comunicação	Testar se um comando enviado é obedecido somente pela tomada de destino	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
4 Retransmissão	Testar se uma tomada consegue se comunicar com a central usando a retransmissão de uma outra tomada	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU*
5 Comando Direto	Testar se a carga é ligada e desligada a partir do comando do software	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
6 Regra Repetível	Testar se o software consegue escrever uma regra repetível na central e se a central envia corretamente o comando no horário e dias da semana definidos	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
7 Regra Única	Testar se o software consegue escrever uma regra única na central e se a central envia corretamente o comando no horário e data definidos	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU
8 Regra de Duração	Testar se o software consegue escrever uma regra de duração na central e se a central envia corretamente o comando de desenergizar após a carga consumir corrente durante o tempo especificado	Verificação feita pelo software de controle	PASSOU

*Apresentam algumas ressalvas quanto às condições do teste

Fonte: Elaborada pelos autores

Quadro 11 – Resultados dos testes de Validação

	Teste	Descrição	Projetado	Obtido/Passou
1	Tensão de operação	Testar se o sistema funciona na faixa de tensão especificada	200 V pico	PASSOU*
2	Corrente de operação	Testar se o sistema funciona na faixa de corrente especificada	15 A pico	PASSOU*
3	Precisão	Testar se um mesmo valor de corrente gera leituras dentro da faixa de precisão	0.3 A	0.3 A*
4	Acurácia	Testar se o valor lido está dentro da faixa de acurácia	0.3 A	0.25 A*
5	Alcance da comunicação	Testar qual o alcance máximo da comunicação com a central	8 m com 1 parede	PASSOU
6	Chaveamento por comando direto	Testar se o sistema consegue ligar/desligar cargas	-	PASSOU
7	Chaveamento baseado no horário	Testar se o sistema liga/desliga cargas dependendo do horário	-	PASSOU
8	Chaveamento baseado no consumo	Testar se o sistema liga/desliga cargas dependendo do consumo de corrente	-	PASSOU
9	Peso	Verificar o peso do sistema	500 g	300 g
10	Tamanho	Verificar o tamanho do sistema	10 x 10 x 8 cm	5.5 x 5.5 x 4cm

*Apresentam algumas ressalvas quanto às condições do teste

Fonte: Elaborada pelos autores

8 CONCLUSÃO

Acreditamos que o trabalho desenvolvido ao longo do ano e transcrito nessa monografia representa um projeto completo na área de engenharia eletrônica.

Ele envolveu todas as principais etapas de elaboração de um projeto real de engenharia, como a interpretação de um problema real, a busca de uma possível solução, pesquisa e compra de componentes eletrônicos, elaboração do circuito de integração, desenvolvimento de firmware e software do produto e testes do protótipo.

Também é importante ressaltar as ações de gerenciamento de projeto empregadas durante a execução desse trabalho, como a elaboração de cronogramas, de pautas de reuniões e de documentos de acompanhamento do projeto a fim de garantir a qualidade e o prazo do protótipo final, que não estão diretamente expressos na redação dessa monografia por não fazer parte direta do escopo da mesma.

No entanto, é importante ressaltar as lições aprendidas durante esse período nas disciplinas de projeto de formatura e sobre a orientação do professor José Vieira, como a importância do acompanhamento de um projeto através da criação de um caderno de engenharia, aplicar os critérios de decisão para a escolha da melhor alternativa de solução e a importância de dividir o tempo de execução do projeto e de reservar um tempo para maturação e criação de novas alternativas, que muitas vezes podem corrigir o escopo do projeto em direção a um melhor projeto.

No aspecto técnico também houve um enorme número de novos aprendizados, originados principalmente dos erros no projeto, como os erros iniciais na programação da tomada que não utilizavam média móvel, devolvendo valores muito sensíveis ao ruído.

Sabemos que apesar do enorme esforço dos autores no projeto, ele ainda está longe de seu estágio final, ou seja, na forma de um produto. Portanto algumas melhorias que podem ser futuramente implementadas visando atingir um nível de produto final ou de melhorar o protótipo estão resumidas no quadro 12.

Quadro 12 – Possíveis melhorias

ID	Área	Descrição	Benefícios	Trade Off
1	Hardware	Trocar a fonte uma de 110V	Mais barato	Não funcionará com 220V
2	Hardware	Usar o chip ACS712 direto na placa (sem o módulo)	Ocupa menos espaço Pode-se limitar a banda para reduzir o ruído	É preciso redesenhar o layout das PCI
3	Hardware	Trocar os componentes da placa para SMD	Ocupa menos espaço	É preciso redesenhar o layout das PCI
4	Firmware	Trocar a lógica de comunicação	Deixar os módulos dormindo esporadicamente, consumindo menos corrente	Aumenta o tempo de resposta
5	Hardware	Trocar os processadores	Podem ser mais adequados e mais baratos	É preciso redesenhar o circuito e adequar a programação
6	Hardware	Trocar a comunicação para Power Line Communication	Pode ser mais confiável e consumir menos	Gera ruído na rede elétrica
7	Hardware	Utilizar um módulo wi-fi	Dispensaria a conexão da central por cabo ethernet	Aumenta o consumo e o custo
8	Hardware	Colocar um cartão de memória na central	Gravar os dados de corrente para traçar um perfil de consumo	Aumento de custo
9	Firmware	Desenvolver uma interface HTML na central	Dispensaria o desenvolvimento de programas específicos para cada sistema (android, iOS, Windows, etc)	Tempo de implementação
10	Hardware	Medir a tensão da rede	Permite calcular a potência aparente. Mediando sincronizadamente, permite calcular o fator de potência	Necessidade de um reprojeto incremental
11	Software	Desenvolver interface mais intuitiva e simples	Melhorar a edição das regras das tomadas	Redequear os códigos do Software
12	Hardware	Trocar alguns componentes para suportar 20A	Permite o uso em qualquer tomada	Componentes mais caros e difíceis de encontrar
13	Sistema	Usar um servidor para controle da central via Internet	Permite visualizar o consumo e controlar em qualquer lugar do mundo	Implementação mais cara
14	Hardware	Trocar os TRIACS por relés biestáveis (latching relay)	Relés não consomem potência (só na transição)	Grandes e caros para altas tensões
15	Design	Criar um modelo de envoltório para a tomada	Encerrar os componentes e PCI em um recipiente dentro das normas da ABNT	Tempo de implementação

Fonte: Elaborado pelos autores

REFERÊNCIAS

- ...: DK – INSTEON ::..., **Biltech**. Disponível em:
<<http://www.insteonautomacao.com.br/#>>. Acesso em: 12 jun. 2013
- CALDEIRA, J. S.; FERNANDES, P. G. G. **Sistema distribuído de medição de consumo e monitoramento da rede elétrica**. BR n. PI 0804960-2 A2, 17 nov. 2008.
- iMeter Solo – INSTEON Power Meter (Plug-in) – Smarthome, **SMARTHOME**. Disponível em: <<http://www.smarthome.com/2423A1/iMeter-Solo-INSTEON-Power-Meter-Plug-In/p.aspx>>. Acesso em: 12 jun. 2013
- INSTEON Hub, **INSTEON**. Disponível em: <<http://www.insteon.com/2242-222-insteon-hub.html>>. Acesso em: 12 jun. 2013
- INTEON Hub – Smarthome, **SMARTHOME**. Disponível em:
<<http://www.smarthome.com/2242-222/INSTEON-Hub/p.aspx>>. Acesso em: 12 jun. 2013
- MeterPlug | Measure the electricity your appliances use at home, **MeterPlug**. Disponível em: <<http://meterplug.com/>>. Acesso em: 12 jun. 2013
- MeterPlug.Lower your ElectricBill.Measure real Electric cost | Indiegogo, **Indiegogo**. Disponível em: <http://www.indiegogo.com/projects/meterplug-lower-your-electricbill-measure-real-electric-cost?website_name=meterplug>. Acesso em: 7 abr. 2013.
- Sony desenvolve tomada inteligente que cobra pela energia consumida, **OLHAR DIGITAL**, 16 mar 2012. Disponível em:
<http://olhardigital.uol.com.br/produtos/digital_news/noticias/sony-desenvolve-tomada-inteligente>. Acesso em: 7 abr. 2013.
- Standby Power : Data, **Lawrence Berkeley National Laboratory**. Disponível em:
<<http://standby.lbl.gov/summary-table.html>>. Acesso em: 12 jun. 2013
- TESLUK, G. J.; TRZECIAK, J. N. **Controle remoto para ajuste de intensidade luminosa e acionamento de equipamentos eletrodomésticos**. BR n. PI 0200700-2 A2, 28 fev. 2002.

GLOSSÁRIO

ACS – Abreviação de ACS712 da Allegro, um medidor de corrente baseado em efeito Hall.

Bluetooth – Tecnologia de comunicação sem fio.

Domótica – Termo usado para se referir à automação residencial de uma casa.

ENC – Abreviação de ENC28J60 da Microchip, um controlador de comunicação compatível com a arquitetura Ethernet.

Ethernet – Uma arquitetura de interconexão para redes locais baseada no envio de pacotes.

Firmware – Conjunto de instruções operacionais programadas diretamente no hardware de um equipamento eletrônico.

Hardware – Parte física de um equipamento eletrônico.

ICSP (In Circuit Serial Programming) – Consiste em um método de programação do microcontrolador na própria placa da aplicação.

IDE – Programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software com o objetivo de agilizar este processo.

LED (Light-Emitting Diode) – Diodo semiconductor (junção P-N) que quando é energizado emite luz visível.

Memória EEPROM – Memória lenta e não volátil.

Memória RAM – Memória rápida e volátil.

Periféricos – Componentes ligados ao microcontrolador que atuam como escravos, ou seja, recebem ordens do mesmo.

PIC – Termo usado para se referir a uma família, ou a um representante, dessa família de microcontroladores da Microchip.

PWM (Pulse-Width Modulation) – Modulação do fator de trabalho de um sinal.

RMS (Root Mean Square) – Valor eficaz de um sinal em uma unidade específica.

RTC (Real Time Clock) – Componente eletrônico que permite manter o controle do tempo presente.

Software – Parte lógica composta por um conjunto de instruções que rodam sobre um sistema operacional.

SPI (Serial Peripheral Interface) - Protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com seus periféricos.

Stand by – Expressão em inglês que se refere ao modo de espera de eletrodomésticos, usada para inicialização rápida.

TCP/IP - Conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede.

Transceptor – Componente eletrônico responsável pelo envio de mensagens através de ondas eletromagnéticas.

Varistor – Componente eletrônico cujo valor de resistência elétrica é uma função inversa da tensão aplicada nos seus terminais utilizados como elemento de proteção contra transientes de tensão em circuitos.

Zigbee – Tecnologia de comunicação sem fio.

APÊNDICE A – Protocolo de Comunicação Tomada-Central

A central e as tomadas se comunicam usando o protocolo PCTC. A princípio, toda comunicação começa com uma mensagem enviada pela central. Toda mensagem enviada pela central exige uma resposta da tomada de destino, para confirmar o recebimento da mesma.

As mensagens são trocadas em um certo canal e endereço, comum para as tomadas e a central de um certo sistema. Assim, diferentes sistemas podem funcionar em locais próximos sem que exista conflito nas informações, desde que tenham canais e/ou endereços diferentes.

Para isso, é necessário que seja feita uma sincronização entre uma tomada nova e a central. Essa sincronização utiliza mensagens especiais de sincronização, que são enviadas em um canal e um endereço diferentes do que são normalmente usados pela central. Assim, quando a tomada ou a central entra no modo de sincronização, ela usa o **canal 1** e o **endereço [00h 53h 59h 4Eh 43h]** (caracteres ASCII: S Y N C). Isso possibilita que a tomada receba da central o canal e o endereço usados normalmente na comunicação, além de um ID. Uma vez sincronizada, a tomada pode se comunicar normalmente.

➤ Formato Geral da Mensagem:

1	2		3	4	5 a 11
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	Comando	Argumentos

O número na primeira linha indica o número do byte.

ID Destino – Número de identificação do equipamento que deve receber a mensagem. O valor 0 é reservado para a central e o valor FFh é reservado para indicar Broadcast.

TTL (Time To Live) – indica o número de vezes que essa mensagem pode ser retransmitida. Cada retransmissão decrementa esse valor em 1. Ao chegar em 0, não é mais retransmitida. Usa os 4 bits mais significativos do segundo byte.

Command Tag – Número incrementado a cada mensagem enviada para diferenciar mensagens iguais. Sempre que a central enviar um comando, o valor colocado no Command Tag é incrementado em 1. A resposta ao comando deve conter o mesmo valor da mensagem recebida. Dessa maneira, a central sabe se a resposta recebida foi gerada por seu último comando (ou se é a resposta a uma mensagem antiga).

ID Origem – Número de identificação do equipamento que gerou a mensagem. O valor 0 é reservado para a central e o valor FFh é reservado para indicar Broadcast.

Comando – Número do comando enviado. Dependendo do comando, pode conter até 7 argumentos.

Argumentos – Argumentos do comando. Variam de acordo com o comando, detalhados a seguir. O tamanho máximo da mensagem é de 11 bytes (definido pelo tamanho da maior mensagem. Os buffers do transceptor NRF24L01+ são de 32 bytes).

➤ Mensagem: Ligar Tomada (01h)

1	2		3	4
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	01h

Essa mensagem é usada para energizar a tomada. Não possui argumentos. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Desligar Tomada (02h)

1	2		3	4
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	02h

Essa mensagem é usada para desenergizar a tomada. Não possui argumentos. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Pedido da Corrente (03h)

1	2		3	4
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	03h

Essa mensagem é usada para pedir a corrente que está passando atualmente na tomada. Não possui argumentos. A resposta dessa mensagem é Corrente Lida (04h).

➤ Mensagem: Corrente Lida (04h)

1	2		3	4	5	6
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	04h	Corrente Lida	

Essa mensagem é usada na resposta à mensagem Pedir Corrente. O primeiro argumento é preenchido com um valor correspondente à corrente lida, em 16 bits. Esse valor deve ser posteriormente convertido para corrente.

➤ Mensagem: Acknowledge – ACK (05h)

1	2		3	4	5
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	05h	Comando Recebido

Essa mensagem é usada como resposta de vários comandos para garantir que a mensagem enviada foi efetivamente recebida pelo destino. O primeiro argumento armazena o comando recebido.

➤ Mensagem: Not Acknowledge – NACK (06h)

1	2		3	4	5
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	06h	Comando Recebido

6
Erro

Essa mensagem é usada como resposta de vários comandos para indicar que a mensagem enviada não foi recebida corretamente pelo destino. O primeiro argumento armazena o comando recebido. O segundo argumento indica o erro que ocorreu (veja o Quadro 2: Codificação dos Erros).

➤ Mensagem: Pedido de Estado da Tomada (07h)

1	2		3	4
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	07h

Essa mensagem é usada para saber se a tomada está energizada ou não. Não possui argumentos. A resposta dessa mensagem é a Estado Atual da Tomada (08h).

➤ Mensagem: Estado Atual da Tomada (08h)

1	2		3	4	5
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	08h	Estado

Essa mensagem é usada para informar se a tomada está energizada ou não. O primeiro argumento armazena o estado lido (0 = desenergizado, 1 = energizado).

➤ Mensagem: Verificação de Link (09h)

1	2		3	4
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	09h

Essa mensagem é usada pela central para verificar o estado da conexão com a tomada, ou seja, para verificar se a comunicação está funcionando. Exige um ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Piscar LED da Tomada (0Ah)

1	2		3	4	5
ID Destino	TTL	Command Tag	ID Origem	0Ah	Modo do LED

Essa mensagem é usada para que a tomada pisque seu LED. O primeiro argumento armazena como o LED deve piscar, segundo o Quadro 1: Modos do LED. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

Quadro 1: Modos do LED

Modo	Ação
01h	Pisca o LED por 5 segundos
02h	Pisca o LED por 3 segundos

➤ Mensagem: Pedido de Sincronização – SYNC (10h)

1	2		3	4
0	0	0	0	10h

5	6	7	8
Num. Série[3]	Num. Série[2]	Num. Série[1]	Num. Série[0]

Essa mensagem é usada durante a sincronização entre uma tomada e a central. Essa mensagem, diferentemente das outras, é enviada em um canal e um endereço específico. Quando uma tomada entra no modo de sincronização, é selecionado o canal 1 e o endereço [53h 59h 4Eh 43h]. Essa mensagem sempre tem como destino o ID 0 (central). A resposta dessa mensagem é a Resposta de Sincronização (11h). O argumento transmitido é o número de série do equipamento, para que a central não sincronize a mesma tomada várias vezes.

➤ Mensagem: Resposta de Sincronização - SYNCANS (11h)

1	2		3	4	5
FFh	0	0	0	11h	Canal

6	7	8	9	10	11
ID da Tomada	Endereço[4]	Endereço[3]	Endereço[2]	Endereço[1]	Endereço[0]

Essa mensagem é usada durante a sincronização de uma tomada com a central. O ID de destino usado é o FFh. Nessa mensagem, a central informa para a tomada o **canal** que deve ser usado na comunicação, o **ID** que será atribuído a ela e os 5 bytes do **endereço** usado na comunicação. Exige uma mensagem de ACK como resposta.

Quadro 2: Codificação dos Erros

Número	Significado
01h	Comando rejeitado
02h	Comando não reconhecido
03h	Argumento inválido
04h	Equipamento Ocupado (executando outra tarefa)

APÊNDICE B – Protocolo de Comunicação Tomada-Central

A central e o software se comunicam usando o protocolo PCSC. A princípio, toda comunicação começa com uma mensagem enviada pelo software. Toda mensagem enviada pelo software exige uma resposta da central, para confirmar o recebimento da mesma.

Em geral, as mensagens são trocadas com endereço de IP definido (tanto da central como do software), exceto pela mensagem de Pedido de Identificação da Central, que é enviado como Broadcast para que o software descubra quais centrais estão conectadas na rede.

A porta usada pelas centrais é a porta 33250 (escolhida aleatoriamente). A porta usada pelo software é alocada dinamicamente pelo programa, ou seja, não é fixa.

➤ Formato Geral da Mensagem:

1	2	3 a 204
Comando	Command Tag	Argumentos

O número na primeira linha indica o número do byte.

Comando – Número correspondente ao comando enviado.

Command Tag – Número incrementado a cada mensagem enviada para diferenciar mensagens iguais. Sempre que o software enviar um comando, o valor colocado no Command Tag é incrementado em 1. A resposta ao comando deve conter o mesmo valor da mensagem recebida. Dessa maneira, o software sabe se a resposta recebida foi gerada por seu último comando (ou se é a resposta à uma mensagem antiga).

Argumentos – Argumentos do comando. Variam de acordo com o comando, detalhados a seguir. O tamanho máximo da mensagem é de 204 bytes (tamanho da maior mensagem definida no protocolo. O limite de um frame Ethernet é muito maior).

➤ Mensagem: Ligar Tomada (01h)

1	2	3
01h	Command Tag	Número da Tomada

Essa mensagem é usada para energizar uma tomada. O argumento indica o número da tomada que será energizada. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Desligar Tomada (02h)

1	2	3
02h	Command Tag	Número da Tomada

Essa mensagem é usada para desenergizar uma tomada. O argumento indica o número da tomada que será desenergizada. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Pedido da Corrente (03h)

1	2	3
03h	Command Tag	Número da Tomada

Essa mensagem é usada para pedir a corrente que está passando atualmente em uma tomada. O argumento indica o número da tomada em que será feita a medida. Exige uma mensagem de Corrente Lida (04h) como resposta.

➤ Mensagem: Corrente Lida (04h)

1	2	3	4	5
04h	Command Tag	Número da Tomada	Corrente Lida	

Essa mensagem é usada como resposta ao pedido da corrente que está passando atualmente em uma tomada. O primeiro argumento indica o número da tomada em que foi feita a medida. O segundo argumento é preenchido com um valor correspondente à corrente lida, em 16 bits. Esse valor deve ser posteriormente convertido para corrente.

➤ Mensagem: Acknowledge – ACK (05h)

1	2	3
05h	Command Tag	Comando Recebido

Essa mensagem é usada como resposta de vários comandos para garantir que a mensagem enviada foi efetivamente recebida pelo destino. O primeiro argumento armazena o comando recebido.

➤ Mensagem: Not Acknowledge – NACK (06h)

1	2	3	4
06h	Command Tag	Comando Recebido	Erro

Essa mensagem é usada como resposta de vários comandos para indicar que a mensagem enviada não foi recebida corretamente pelo destino. O primeiro argumento armazena o comando recebido. O segundo argumento indica o erro que ocorreu (veja o Quadro 2: Codificação dos Erros).

➤ Mensagem: Pedido de Estado da Tomada (07h)

1	2	3
07h	Command Tag	Número da Tomada

Essa mensagem é usada para saber se a tomada está energizada ou não. O primeiro argumento indica o número da tomada sendo questionada. Exige uma mensagem de Estado Atual da Tomada (08h) como resposta.

➤ Mensagem: Estado Atual da Tomada (08h)

1	2	3	4
08h	Command Tag	Número da Tomada	Estado

Essa mensagem é usada para informar se a tomada está energizada ou não. O primeiro argumento indica o número da tomada que foi questionada. O segundo argumento armazena o estado lido (0 = desenergizado, 1 = energizado).

➤ Mensagem: Verificação de Link da Tomada (09h)

1	2	3
09h	Command Tag	Número da Tomada

Essa mensagem é usada para verificar o estado da conexão entre a central e a tomada, ou seja, para verificar se a comunicação está funcionando. O primeiro argumento indica o número da tomada sendo questionada. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Piscar LED da Tomada (0Ah)

1	2	3	4
0Ah	Command Tag	Número da Tomada	Modo do LED

Essa mensagem é usada para que a tomada pisque seu LED. O primeiro argumento indica o número da tomada que deve piscar o LED. O segundo argumento armazena como o LED deve piscar, segundo o Quadro 1: Modos do LED. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

Quadro 1: Modos do LED

Modo	Ação
01h	Pisca o LED por 5 segundos
02h	Pisca o LED por 3 segundos

➤ Mensagem: Pedido de Identificação da Central (11h)

1	2
11h	Command Tag

Essa mensagem é usada para saber se há alguma central na rede e, se houver, saber o endereço IP e o número de série. Não possui argumentos. Exige uma mensagem de Identificação de Central (12h) como resposta. Essa mensagem é enviada como Broadcast.

➤ Mensagem: Identificação da Central (12h)

1	2	3	4	5	6
12h	Command Tag	Num. Série[3]	Num. Série[2]	Num. Série[1]	Num. Série[0]

7
Status

Essa mensagem é usada para identificar uma central na rede. Os primeiros argumentos armazenam os quatro bytes de número de série do equipamento. O Status indica o estado da central. O valor desse campo é preenchido conforme o quadro a seguir.

Quadro 3: Byte de Status

Bit	Indicação
0	Operação normal (1) ou Falha(0)
1	Bateria interna descarregada
2-7	Reservado

➤ Mensagem: Pedido de Troca de Endereço IP (13h)

1	2	3	4	5	6
13h	Command Tag	Endereço IP[3]	Endereço IP[2]	Endereço IP[1]	Endereço IP[0]

Essa mensagem é usada quando o software identifica que existe mais de um equipamento com o mesmo endereço IP na rede. Assim, o software pede que a central mude seu IP para o endereço armazenado no argumento da mensagem. O formato é da forma: <Endereço IP[3]> . <Endereço IP[2]> . <Endereço IP[1]> . <Endereço IP[0]>. Por exemplo, um endereço IP 192.168.10.45 seria enviado com: Endereço IP[3]= 192, Endereço IP[2]=168, Endereço IP[1] = 10 e Endereço IP[0] = 45.

➤ Mensagem: Verificação de Link da Central (14h)

1	2
14h	Command Tag

Essa mensagem é usada para verificar o estado da conexão entre o software e a central, ou seja, para verificar se a comunicação está funcionando. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Pedido do Relógio (21h)

1	2
21h	Command Tag

Essa mensagem é usada para perguntar à central o horário atual indicado pelo relógio interno. Não possui argumentos. Exige uma mensagem de Leitura do Relógio (22h) como resposta.

➤ Mensagem: Leitura do Relógio (22h)

1	2	3	4	5	6	7
22h	Command Tag	Segundos	Minutos	Horas	Dia	Mês

8	9
Ano	Dia da Semana

Essa mensagem é usada informar o horário lido do relógio interno da central. Os argumentos armazenam o horário. As horas são informadas no formato de 24 horas. O ano informado é somente os dois últimos dígitos (por exemplo, no ano 2013 o valor do argumento Ano é 13). O dia da semana é um número sequencial, com o domingo sendo 0.

➤ Mensagem: Ajuste do Relógio (23h)

1	2	3	4	5	6	7
23h	Command Tag	Segundos	Minutos	Horas	Dia	Mês

8	9
Ano	Dia da Semana

Essa mensagem é usada ajustar o horário do relógio interno da central. Os argumentos armazenam o horário. As horas são informadas no formato de 24 horas. O ano informado é somente os dois últimos dígitos (por exemplo, no ano 2013 o valor do argumento Ano é 13). O dia da semana é um número sequencial, com o domingo sendo 0. Exige um ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Pedido de Tomadas Sincronizadas (24h)

1	2
24h	Command Tag

Essa mensagem é usada para descobrir quais são as tomadas sincronizadas com a central (o número de série delas). Exige uma mensagem de Tomadas Sincronizadas (25h) como resposta.

➤ Mensagem: Tomadas Sincronizadas (25h)

1	2	3	4*X	4*X+1	4*X+2	4*X+3
25h	Command Tag	Número de Tomadas Sinc.	Número de Série da tomada <X>			

Essa mensagem é usada para descobrir informar o número de série de todas as tomadas sincronizadas com a central. O primeiro argumento armazena o número de tomadas sincronizadas. Depois, estão armazenados os números de série de cada tomada, de 4 em 4 bytes. O tamanho da mensagem pode chegar a 203 bytes.

➤ Mensagem: Pedido das Regras (26h)

1	2	3
26h	Command Tag	Bloco

Essa mensagem é usada para ler as regras armazenadas na memória EEPROM da central. Para não criar mensagens excessivamente grandes, as regras foram divididas em quatro blocos, cada uma com 200 bytes, começando em 0. O primeiro argumento é o bloco de regras que se quer ler. Exige uma mensagem de Regras Armazenadas (27h) como resposta.

➤ Mensagem: Regras Armazenadas (27h)

1	2	3	4	5 - 204
27h	Command Tag	Bloco	Número de Regras	Regras

Essa mensagem devolve as regras armazenadas na memória EEPROM da central. O primeiro argumento indica o bloco que foi lido. O segundo argumento indica o número total de regras armazenadas na central. O terceiro argumento armazena as regras lidas. A estrutura das regras está definida no documento Especificação da Organização da EEPROM da Central.

➤ Mensagem: Escrever Regras (28h)

1	2	3	4	5 - 204
27h	Command Tag	Bloco	Número de Regras	Regras

Essa mensagem é usada para escrever as regras na memória EEPROM da central. O primeiro argumento indica o bloco que será escrito. O segundo argumento indica o número total de regras que serão escritas na central. O terceiro argumento armazena as regras que devem ser escritas. A estrutura das regras está definida no documento Especificação da Organização da EEPROM da Central. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: Entrar no Modo de Sincronização (31h)

1	2
31h	Command Tag

Essa mensagem é usada para que a central entre no modo de sincronização, trocando o canal e o endereço do transceptor. Exige uma mensagem de ACK (05h) como resposta.

➤ Mensagem: String de Debug (F1h)

1	2	3	4 - 203
F1h	0	Tamanho	Caracteres

Essa mensagem é usada para a central enviar strings de texto, em geral para debug. O valor do command tag é 0, pois nesse caso, não há mensagem de resposta. O primeiro parâmetro é o tamanho da string em caracteres. Os demais argumentos são os caracteres, terminados com 0.

Quadro 2: Codificação dos Erros

Número	Significado
01h	Comando rejeitado pela central
02h	Comando não reconhecido pela central
03h	Argumento inválido (Central)
04h	Central Ocupada (executando outra tarefa)
05h	Erro ao executar o comando
11h	Tomada não responde
12h	Comando rejeitado pela tomada
13h	Comando não reconhecido pela tomada
14h	Argumento inválido (Tomada)
15h	Tomada Ocupada (executando outra tarefa)

APÊNDICE C – Descrição das Regras

Uma regra é uma estrutura de dados que armazena sob que condições uma certa tomada deve ser ligada ou desligada. Existem três tipos de regras: Regras Repetíveis, Regras Únicas e Regras de Duração. Cada uma tem uma estrutura diferente da outra. Cada regra ocupa 5 bytes da memória, mesmo que não utilize os 5 bytes.

- Regras Repetíveis

Uma regra repetível é um tipo de regra que é ativada de acordo com o dia da semana. Assim, definem-se dias da semana em que a regra deve ser ativa e, quando chegar o horário, uma ação (energizar ou desenergizar uma tomada) é executada. A estrutura é apresentada a seguir.

Byte 1								Byte 2								
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	
1				E/D	Hora				Minuto							

Byte 3								Byte 4							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Dom Seg Ter Qua Qui Sex Sab								ID Tomada							

A estrutura de uma regra repetível utiliza 4 bytes (mas ocupa 5 na memória, para que todas as regras tenham o mesmo tamanho). Os primeiros 4 bits do primeiro byte armazena o valor **1**, usado para indicar que essa regra é do tipo repetível. Os bits sem identificação não são usados.

O bit E/D indica se a ação é energizar(1) ou desenergizar(0) a tomada. A hora é armazenada em 5 bits, no formato de 24 horas. Os minutos ocupam 6 bits. No terceiro byte, cada bit indica um dia da semana. Caso o valor seja 1, então a regra está ativa para aquele dia da semana. Finalmente, o quarto byte armazena o ID da tomada que deve receber a ação.

- Regras Únicas

Regras únicas são regras que tem um dia e horário para serem executadas e depois não são mais usadas (mas permanecem na memória EEPROM).

Byte 1								Byte 2							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
2		E/D		Hora				Minuto							

Byte 3								Byte 4							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Ano				Mês				Dia							

Byte 5							
7	6	5	4	3	2	1	0
ID Tomada							

A estrutura de uma regra única ocupa 5 bytes. Os primeiros 4 bits do primeiro byte armazena o valor **2**, usado para indicar que essa regra é do tipo único. Os bits sem identificação não são usados.

O bit E/D indica se a ação é energizar(1) ou desenergizar(0) a tomada. A hora é armazenada em 5 bits, no formato de 24 horas. Os minutos ocupam 6 bits. O ano armazena somente os últimos dois dígitos do ano (por exemplo, no caso do ano 2013, o valor armazenado seria **13**). O mês ocupa 4 bits e o dia ocupa 5 bits. Finalmente, o quinto byte armazena o ID da tomada que deve receber a ação.

- Regras de Duração

Regras de duração determinam um período de tempo máximo que a tomada permanece consumindo um valor mínimo de corrente. Passado esse valor, a tomada é desenergizada. Ela é automaticamente energizada a meia noite do dia seguinte. Também é possível definir dias da semana em que essa regra é ativada.

Byte 1								Byte 2							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
3				Minutos											

Byte 3								Byte 4							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
Dom Seg Ter Qua Qui Sex Sab								Limiar de Corrente							

Byte 5							
7	6	5	4	3	2	1	0
ID Tomada							

A estrutura de uma regra de duração ocupa 5 bytes. Os primeiros 4 bits do primeiro byte armazenam o valor 3, usado para indicar que essa regra é do tipo duração. Os bits sem identificação não são usados.

O campo Minutos armazena a quantidade de minutos que a tomada pode ficar energizada consumindo uma corrente acima da especificada. Ocupa 11 bits. No terceiro byte, cada bit indica um dia da semana. Caso o valor seja 1, então a regra está ativa para aquele dia da semana. O quarto byte armazena o valor de corrente (entre 0 e 255, quantizado de acordo com os valores lidos pelo A/D do microcontrolador) acima do qual considera-se que a tomada está sendo usada. Finalmente, o quinto byte armazena o ID da tomada que deve receber a ação.

ANEXO A – Especificações do Insteon

Central (INSTEON Hub)

Product Name	INSTEON Hub
Manufacturer	INSTEON
Product No.	2242-222
Regions	North America and other compatible countries
UPC	813922012934
Patent	Protected under U.S. and foreign patents (see www.insteon.com)
Warranty	2 years
In the box	INSTEON Hub
	AC cord
	Ethernet cable
	Quick start guide
Tools Needed	None
TCP/IP Network	
Network Interface	RJ45 Ethernet (10Mbps)
DHCP	Supported
User-Assigned IP	Supported
Dynamic DNS	Supported
Remote DNS Service	Provided automatically by connect.insteon.com
Ethernet Port Range Supported	Any of the standard 65k ports
Operation	
All Configuration	Via mobile apps
Installation / Setup Wizards	Yes, for each device type
	Embedded videos for most wizards
Troubleshooting wizards	Included
Mobile device synching	Automatic, via cloud service
Icons	Device types
	Room types
	Scene types
Maximum Devices	100+
Maximum Scenes	100+
Maximum Rooms	100+
Maximum Schedules / Timers	100+
Maximum Houses	1 (more soon)
Maximum Alerts	100+

Maximum Emails	100+
Maximum Texts/SMS	100+
Maximum Email Addresses Per Alert	10+
Maximum Text Numbers Per Aler	10+
Email Address Authentication	Yes
Text Number Authentication	Yes
Sunrise / Sunset Schedules / Timers	Yes
Sunrise / Sunset Celestial Clock	Automatic setup using location service on mobile device
Products Supported	All INSTEON compatible controllers and responders
	Devices with any of the 256 X10 addresses (device control and schedules only - no scene support)
	INSTEON / Smarthome cameras
Beep On Button Press	Yes, can be disabled
Manuals and Help Documentation	Embedded in apps plus online
	Context sensitive by device / product
INSTEON	
Powerline Mesh Repeater	Yes
INSTEON Controller	Yes
INSTEON Responder	Yes
Maximum Links	2,016
Hub as Controller Scenes, Max	256
Commands (Controller)	All
Commands (Responder)	All
Local Control	N/A
Software Configurable	Yes
User Interfaces	
iOS	INSTEON for Hub
Android	INSTEON for Hub
Web Browsers	Internet Explorer 8+ Mozilla Firefox 4+ Google Chrome 9+ Apple Safari 4+
Mechanical	
Mounting	Table top (or wall mount)
Set Button	Included, back panel
Plastic	UV stabilized plastic
	INSTEON White
Operating Conditions	Indoors, 32° F to 104° F, up to 85% relative humidity
Dimensions	7" H x 4" W x 1.5" D
Weight	5 oz

Beeper	Yes
Setup LED	1 - RGB
	Standby = Blue
	Blinks on traffic (can be disabled)
	Dimmable
Ethernet Jack LED	Two Ethernet traffic LEDs on jack, one green, one amber
Electrical	
Supply Voltage	100-240VAC $\hat{A}\pm 10\%$
Electrical Supply Frequency	50Hz or 60Hz $\hat{A}\pm 5\%$
Surge Protection	Over 1,000 Volts
Power Plug	2-pin polarized
Setup Memory	Non-volatile EEPROM
Power Consumption	2.25W
Certification	Safety tested for use in USA and Canada

Tomada (iMeter Solo)

General	
Brand:	INSTEON
Manufacturer Product No.:	2423A1, iMeter Solo - INSTEON Power Meter (Plug-In)
UPC:	718122389711
Patent No.:	U.S. Patent No. 7,345,998, International patents pending
Color:	White
Warranty:	2 years, limited
Operation	
Operating Environment:	Indoors
Operating Temperature Range:	32°F - 104°F
Operating Humidity Range:	0% - 85% relative humidity
INSTEON Features	
INSTEON Addresses:	1 hard-coded out of 16,777,216 possible
INSTEON Links:	25
INSTEON Power Line Frequency:	131.65 KHz
INSTEON Minimum Transmit Level:	3.2 Vpp into 5 Ohms
INSTEON Minimum Receive Level:	10 mV
INSTEON Messages Repeated:	Yes

Electrical	
Input Power Voltage:	120 Volts (+/- 10%)
Measurement Range:	10mA to 15Amps
Power Plug:	3-pin grounded
Monitored Outlet:	3-pin grounded
Certification:	Safety Tested for use in USA and Canada (ETL #3017581)
X10 Features	
X10 Support:	N/A

Sistema como um todo:

- Cada dispositivo contém 01 endereço fixo de 16.777.216 possíveis
- Frequência de funcionamento RF: 902 - 924 MHz
- Frequência de funcionamento PLC: 131,65 KHz
- Velocidade de transmissão: 13.135 bits por segundo
- Alcance entre dispositivos RF (antena): ± 35 metros
- Número máximo de cenas que um componente Insteon pode participar: 417 – Icon: 30
- Utiliza topologia de rede em malha para comunicação entre dispositivos.
- Faz a comunicação entre diferentes fases da residência
- Atua também como access point para dispositivos INSTEON RF
- Equipamento Dual-Band: retransmite os sinais PLC e RF simultaneamente