

COPIADOR DE CONTROLES INFRAVERMELHOS DE BAIXO CUSTO COM INTERFACE WEB

AZEVEDO, André V. M. de¹

RESUMO

Este artigo apresenta um projeto de um copiador de controles infravermelhos de baixo custo com interface web utilizando o microcontrolador ESP8266 por meio da placa de desenvolvimento NodeMCU. O projeto visou a construção e o teste da eficácia de um dispositivo para a substituição de um ou múltiplos controles remotos infravermelhos. Visando o baixo custo, além do microcontrolador, o projeto conta com pouquíssimos componentes externos: um LED infravermelho, um sensor infravermelho TSOP4838, um resistor e um transistor 2N3904, além de uma fonte de alimentação externa genérica de 5V com uma conexão micro USB e um par de resistores. Com isso é possível realizar a cópia dos sinais infravermelhos emitidos por controles de 38KHz de forma customizada, a fim de preservar a capacidade de operação de equipamentos no caso de perda dos controles originais ou a praticidade de utilizar uma mesma plataforma para controlar diversos equipamentos de maneira centralizada. A usabilidade do projeto se mostrou, com pequenas ressalvas, satisfatória, enquanto que a relação entre o custo e o benefício se mostrou boa apenas para casos específicos.

¹ Graduando em Engenharia da Computação pela Uninter. Email: isquicha@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Controles remotos que utilizam luz infravermelha (CRIV) são dispositivos bastante comuns no dia a dia das mais diversas famílias para o controle dos mais diversos aparelhos, como televisões, videogames, ares-condicionados, entre outros. Entretanto, como o CRIV geralmente é fornecido com o produto a ser controlado, possui codificação específica e que geralmente só funciona naquele aparelho em específico, o usuário se vê com dois problemas muito comuns: o excesso de CRIVs para os diversos aparelhos da casa e a dificuldade para encontrar CRIVs substitutos na ocorrência de quebra ou perda do original. Com o objetivo de minimizar ou extinguir estes problemas, este trabalho visou o projeto, desenvolvimento e testes de um dispositivo capaz de copiar os sinais infravermelhos utilizados para comandar os aparelhos do usuário e reproduzi-los quando for desejado, via interface web.

Para isso, foi necessário responder às seguintes questões: é possível e viável substituir numerosos CRIVs por um dispositivo centralizado com interface web para controle dos diversos aparelhos de um usuário doméstico, bem como é também interessante utilizar este dispositivo como uma segurança em casos de perda ou dano no CRIV original?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Construir e testar a eficácia de um dispositivo para a substituição de um ou múltiplos CRIVs.

1.1.2 Objetivos específicos

- Construir um dispositivo microcontrolado capaz de copiar e reproduzir códigos infravermelhos de um CRIV programaticamente com controle via interface web.
- Realizar testes e refletir sobre
 - Usabilidade do dispositivo
 - Valor agregado versus custo

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho se fundamenta em alguns pilares: a luz e seu comportamento; o uso da luz infravermelha por meio de emissores e receptores infravermelhos em produtos comerciais; sistemas microcontrolados para aplicações específicas; redes de comunicação de computadores; e por fim a web e suas ferramentas e linguagens.

2.1 LUZ E RADIAÇÃO

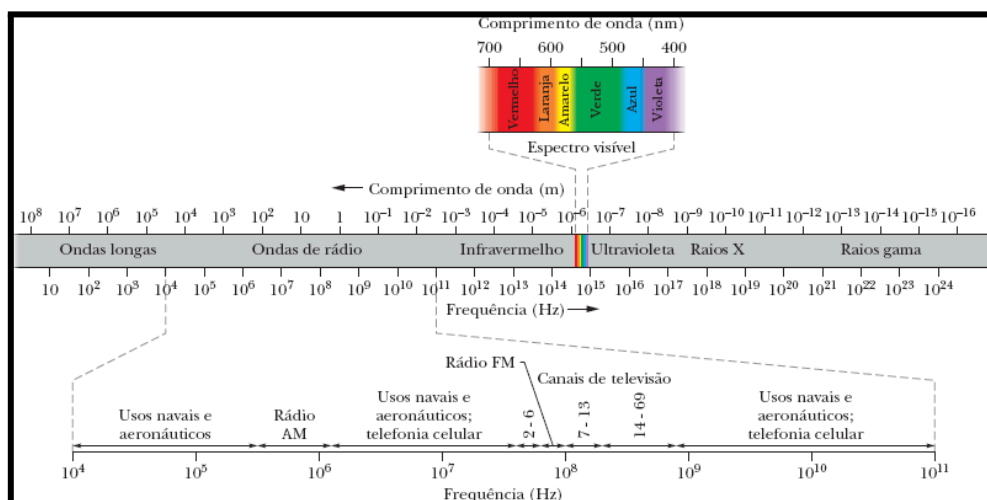
Alguns exemplos de uso de ondas eletromagnéticas são as ondas de rádio utilizadas em meios de comunicação e as micro-ondas utilizadas nos aparelhos homônimos para esquentar alimentos.

Graças a James Clerk Maxwell, hoje sabemos que a luz visível é basicamente a propagação no espaço de ondas eletromagnéticas que estão dentro de uma faixa específica de frequência/comprimento de onda (HALLIDAY et al. p. 38). Isto abre um leque de possibilidades no uso da luz em diversas aplicações, bastando para isto se aprofundar nos estudos da óptica. Com isso, passamos a poder utilizar ondas não visíveis em aplicações bastante interessantes. A principal destas aplicações é o uso do infravermelho em dispositivos de controle remoto de equipamentos eletroeletrônicos, tais como televisores, ar-condicionados, aparelhos de rádio, dentre outros.

2.2 DISPOSITIVOS INFRAVERMELHOS

Ondas infravermelhas são aquelas que possuem uma frequência menor (ou um comprimento de onda maior) que o limite da luz visível (mais especificamente a cor vermelha), conforme pode ser observado na figura 1:

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: HALLIDAY et al., p. 38

Utilizando componentes capazes de emitir e receber sinais infravermelhos, é possível realizar o controle de forma remota de diversos aparelhos eletrônicos. Para isto são comumente utilizados como emissor e receptor, respectivamente, um LED infravermelho (Figura 2a) e um fototransistor infravermelho (Figura 2b), ambos com uma construção física favorável à utilização como elementos de troca de mensagens remotas. Além disso, é comum no mercado uma versão do receptor que já venha com uma circuitaria apropriada para o tratamento do sinal recebido considerando características comuns em emissores encontrados no mercado (Figura 2c).

Figura 2a
LED IV (Emissor)

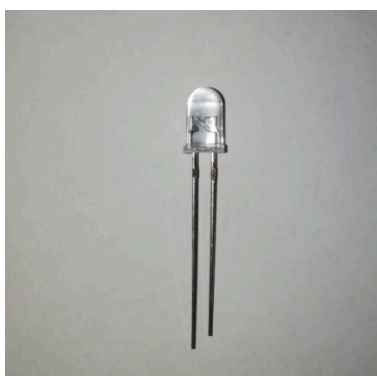


Figura 2b
Transistor IV (Receptor)

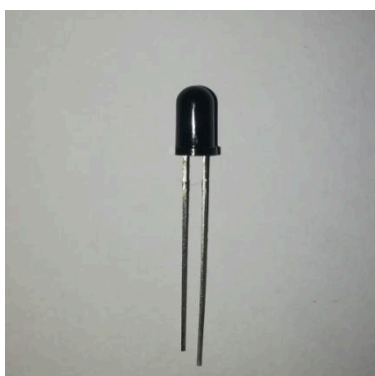


Figura 2c
Transistor IV (Receptor)



Fonte: Autor

Apesar de poderem ser utilizados em circuitos analógicos mais simples, tais como detectores de presença ou distância, geralmente estes dispositivos são utilizados em conjunto com microcontroladores, capazes de codificar e decodificar os

sinais de tensão que são aplicados/recebidos, de forma a transmitir mensagens relativamente longas e complexas.

Apesar do emissor poder trabalhar com uma circuitaria mais simplificada, basicamente transmitindo pulsos de tensão oriundos de, por exemplo, um oscilador com base em uma memória, isso não ocorre em aplicações comerciais. Ao apertar um botão de um controle remoto comercial, uma série de etapas acontece resultando em um valor “binário” na saída do LED infravermelho (LAYTON). Para isso é necessária uma capacidade de processamento, o que possibilita uma melhor codificação da mensagem, por exemplo adicionando bits de validação antes dela ser enviada.

Já o receptor necessita de uma boa capacidade de processamento, não só para receber, decodificar e validar o sinal no que diz respeito a níveis lógicos, como para interpretar esses níveis e transformá-los em uma informação útil para a aplicação. Para isso são comumente utilizados circuitos microcontrolados. É interessante ressaltar que a maioria das aplicações comerciais utiliza a emissão de pulsos infravermelhos (ao invés de simplesmente acender ou apagar o LED) com uma frequência de 38KHz (JOHNSON).

2.3 MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador é um “computador embutido” que gerencia os dispositivos e manipula a interface de usuário. São encontrados em diversos aparelhos, dentre eles: eletrodomésticos, aparelhos de comunicação, periféricos de computadores, etc. Eles possuem processador, memória e capacidade de interface com o mundo via dispositivos de entrada/saída (TANENBAUM e AUSTIN, p. 45). As entradas podem ser utilizadas para, dentre outras coisas, a leitura de botões e sensores, e as saídas podem ser utilizadas para, dentre outras coisas, acionar atuadores como relés e LEDs.

Outros elementos de E/S (Entrada/Saída) adicionais podem ser dispositivos de comunicação via rede ou até mesmo algum hardware específico para controle de dispositivos infravermelhos. Podemos encontrar ambos no microcontrolador ESP8266 da Espressif, conforme pode ser observado nos itens 3.4 e 4.8 de sua folha de dados (Espressif IoT Team, p. 15 e 22).

Para instruir o microcontrolador acerca de como ele deve se comportar, é necessário que seja escrito um programa, e que este seja enviado para a placa. No

caso do ESP8266, existem basicamente quatro frameworks de desenvolvimento: O ESP IDF, que é o kit de desenvolvimento oficial da Espressif utilizando a linguagem C; o Arduino, um dos mais famosos (se não o mais famoso) frameworks para desenvolvimento de software e hardware utilizando a linguagem C++, tendo uma biblioteca específica que integra o ESP8266 ao núcleo do framework (GROKHOVKOV); o MicroPython, cujas funcionalidades para o ESP8266 se encontram relativamente limitadas, e o nodemcu-firmware, que é escrito em C, mas utiliza como interface de controle do microcontrolador a linguagem Lua, que é uma linguagem leve e interpretada (NodeMCU team). Devido à variedade e a facilidade de uso de bibliotecas, em especial as de interface com dispositivos infravermelhos, o framework escolhido para controle do ESP8266 neste trabalho em específico foi o Arduino.

Uma placa de circuito impresso já com diversos componentes para a conexão e pleno funcionamento do ESP8266 foi criada e batizada com o mesmo nome do framework NodeMCU. Esta placa já possui um regulador de tensão, um circuito conversor USB para comunicação com o computador que irá programar a placa, pinos para a utilização das E/S de propósito geral, bem como diversos outros pequenos componentes com finalidades diversas, conforme pode ser observado na Figura 3. Este é o dispositivo a ser utilizado neste projeto, devido principalmente à facilidade de uso e o baixo custo.

Figura 3a
NodeMCU vista superior



Figura 3b
NodeMCU vista inferior



Figura 3c
NodeMCU vista lateral



Fonte: Autor

2.4 REDES

Redes de computadores são sistemas onde os trabalhos computacionais são realizados por computadores separados, mas interconectados (TANENBAUM e WETHERALL, p.19). As redes possibilitam que computadores (aqui incluídos smartphones, servidores, computadores de mesa, microcontroladores, dentre outros) se comuniquem entre si. São infraestruturas e protocolos que garantem que um computador A possa receber, decodificar e processar mensagens oriundas de um computador B e vice-versa.

Existem diversos meios físicos por onde é possível trafegar dados numa comunicação em rede, e o ar é um deles. A tecnologia Wi-Fi permitiu que diversos dispositivos possam se comunicar sem precisar estar conectados a cabos, fazendo com que seja possível que exista uma série de sistemas muito interessantes, como o que se pretende construir neste trabalho.

Os protocolos que garantem a possibilidade de uma rede mundial de computadores são o protocolo de internet (em inglês *Internet Protocol* ou simplesmente *IP*) e o protocolo de controle de transmissão (em inglês *Control Transmission Protocol* ou *TCP*). Com o *IP* podemos realizar o endereçamento de computadores em redes locais e mundiais; já com o *TCP* podemos garantir a entrega e a ordem dos pacotes enviados.

2.5 WEB

Graças às tecnologias e sistemas de redes e da internet, hoje em dia estão muito difundidos os sistemas web. Estes sistemas são compostos de páginas e dados que trafegam entre computadores pelo protocolo de transferência de hipertexto (em inglês *HyperText Transfer Protocol* ou *HTTP*). Geralmente há um computador denominado servidor, que serve páginas requisitadas por diversos computadores clientes. O cliente HTTP (geralmente um navegador de internet ou *browser*) faz uma requisição HTTP e o servidor lhe dá uma resposta, geralmente contendo uma página web.

As páginas web são compostas por, principalmente, três linguagens/tecnologias: HTML, CSS e JavaScript. Há ainda o JSON, que vem sendo bastante adotado ultimamente em aplicações que realizam requisições mais leves. De forma simplificada: HTML é a linguagem para criar páginas web; CSS é a

linguagem para estilizar páginas web; JavaScript é a linguagem para programar páginas web (Refsnes Data).

De forma mais detalhada, o HTML (*HyperText Markup Language* ou Linguagem de Marcação de Hipertexto) é a linguagem responsável pela estrutura da página, definição dos elementos da página e pela atribuição de um significado semântico a trechos de texto. CSS (*Cascading Style Sheets* ou Folhas de Estilo em Cascata) é a linguagem responsável pela forma como visualizamos a página, posicionando e estilizando os elementos criados em HTML. JavaScript é a linguagem de programação que move a web, sendo responsável por toda a interatividade de uma página, desde a criação dinâmica de elementos HTML, requisições assíncronas de dados a outros computadores, dentre outros. Já JSON (*JavaScript Object Notation* ou Notação de Objeto JavaScript) é uma linguagem simples utilizada para representar dados, geralmente escolhida para respostas de dados específicos quando não se deseja uma página HTML inteira, sendo considerada de fácil compreensão tanto por computadores quanto por seres humanos.

Graças a estas tecnologias, é possível criar páginas com as quais podemos interagir, onde cada parte do texto possui um significado e uma visualização customizada.

3 METODOLOGIA

O projeto consistiu no desenvolvimento de um dispositivo protótipo utilizando o kit de desenvolvimento NodeMCU capaz de decodificar, copiar e armazenar o sinal recebido por um receptor infravermelho e controlar um emissor infravermelho replicando os sinais copiados, sendo esse controle realizado de forma remota com o auxílio de redes sem fio, via interface web disponibilizada em rede local. A criação do protótipo se deu por meio das seguintes etapas:

1. Pesquisa e seleção dos materiais
 - a. Estimativa de custo aproximado do produto final com base na pesquisa do preço dos materiais utilizados
2. Construção do circuito a ser usado
3. Criação do software
 - a. Criação do copiador de sinais infravermelhos
 - b. Criação da interface web para controle do copiador

4. Testes práticos de funcionamento
5. Análise da relação entre custo e benefício

A escolha do microcontrolador foi feita de maneira instintiva, pois no momento da idealização do projeto, ele era popularmente conhecido por ser o mais barato e simples microcontrolador com tecnologia WiFi à venda no mercado, e, diferente de adaptadores de rede para outros microcontroladores mais baratos (que por muitas vezes utilizavam o próprio ESP8266 para isso), centralizava o desenvolvimento em um único microcontrolador.

A escolha da placa NodeMCU, um kit de desenvolvimento contendo o ESP8266, se deu por pesquisa de preços, popularidade e versatilidade de uso. O preço nacional aproximado praticado em outubro de 2025 demonstra que um módulo ESP8266 custa por volta de R\$20,00, enquanto que o NodeMCU custa aproximadamente R\$30,00. Em um primeiro momento 50% de aumento pode parecer um valor alto. Entretanto, o preço final absoluto do microcontrolador continua muito baixo, em especial se comparado a um controle de ar condicionado genérico (por volta de R\$30). Alia-se a isso o fato de o kit de desenvolvimento já vir com o chip que se comunica com o computador para a programação do mesmo (CH340) e com pinos para testes em protoboard e, mais importante, um conector micro USB e um regulador de tensão para a alimentação de todo o sistema, tornando a escolha perfeita para um produto protótipo com uma ótima relação entre custo e benefício. Por fim, a compra inicial das placas para prototipagem foi feita via importação em marketplaces chineses, onde o custo do frete tende a se destacar mais do que o do produto, fazendo com que a diferença de preço entre ambos para a compra de pequenas quantidades seja ainda mais irrisória.

Devido ao baixo custo, alguns receptores infravermelhos distintos foram comprados e testados para este projeto. Os primeiros a serem testados foram fototransistores infravermelhos, mas a quantidade de componentes necessária para o funcionamento do circuito completo era alta se comparado a alternativas testadas, ocasionando num aumento considerável e desnecessário da complexidade do projeto, fazendo com que a escolha de um componente autocontido fosse preferível. O receptor infravermelho escolhido foi o TSOP4838, custando nacionalmente cerca de R\$7,00 se comprado em lotes de pelo menos 4 unidades, em especial pela sua simplicidade: apenas 3 pinos, um de alimentação positiva, um de terra (comum) e

outro de sinal, já compatível com a tensão de alimentação. O produto comprado foi genérico, mas um exemplo de datasheet da Vishay Siliconix² informa que existem pelo menos 7 receptores infravermelhos TSOP48XX, variando a frequência de captação de 30KHz a 50KHz. O TSOP4838 foi escolhido dentre eles pelos seguintes motivos:

- É um dos principais que aparece em buscas genéricas em marketplaces de peças, o que indica que é bastante utilizado.
- Possui um preço absoluto acessível
- Opera na frequência de 38KHz
- Opera com tensões de 3,3V nativamente, sendo compatível com o microcontrolador escolhido

A escolha de um LED infravermelho se deu por pura pesquisa em marketplaces. Foi escolhido um LED genérico de 5mm, com o comprimento de onda de 940nm. Uma centena desses LEDs custa por volta dos R\$10,00, fazendo com que o preço unitário seja de apenas R\$0,10.

Para realizar o acionamento seguro do LED sem exceder a corrente máxima das portas lógicas do microcontrolador, um transistor NPN se fez necessário para servir como chave para o LED. O transistor específico foi escolhido aleatoriamente dentre diversos que foram comprados em kits de transistores, visto que para essa aplicação em específico, com baixas frequências³, dezenas de transistores diferentes poderiam ser utilizados sem maiores problemas. O transistor escolhido foi o 2N3904, cuja unidade custa, assim como o LED, por volta dos R\$0,10, se comprado em lotes de 100. Após a escolha, o datasheet foi consultado⁴ para reafirmar a compatibilidade com o projeto, em especial os seguintes parâmetros:

- Frequência mínima de transição de pelo menos 38KHz, onde o escolhido possui 250MHz
- Ganho mínimo de corrente de pelo menos 10, onde o escolhido possui, para a corrente de coletor entre 10mA e 50mA, entre 60 e 100 vezes

² <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/26656/VISHAY/TSOP4838.html>, acessado em outubro de 2025

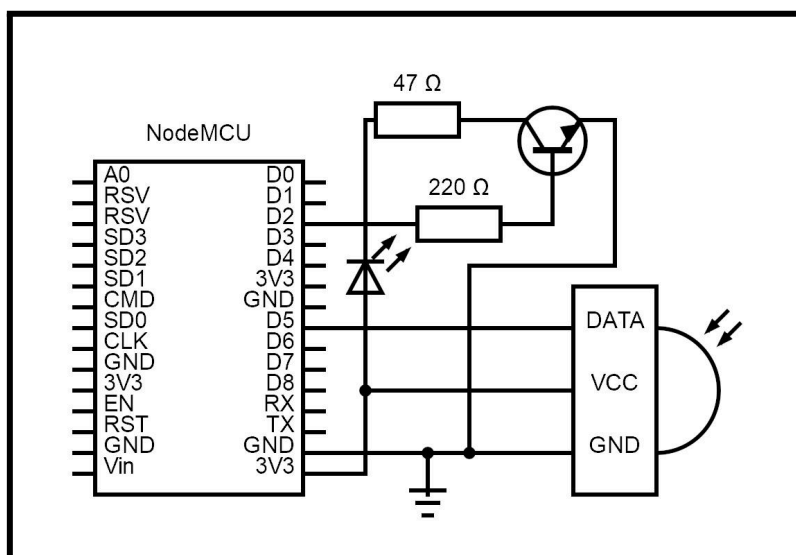
³ A maioria dos transistores de baixo custo PTH modernos possuem frequência de transição na casa dos MHz, enquanto que a frequência aplicada foi de 38KHz

⁴ <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/155897/STMICROELECTRONICS/2N3904.html>, acessado em outubro de 2025

- Corrente de coletor máxima de pelo menos 20mA (corrente típica de um LED 5mm), onde o escolhido possui 200mA
- Tensão máxima entre coletor e emissor, e entre coletor e base de pelo menos 3,3V (tensão de funcionamento do microcontrolador, com saída fornecida pelo regulador de tensão do kit NodeMCU), onde o escolhido possui 40V e 60V, respectivamente

Por fim, para a diminuição das correntes consumidas, dois resistores foram adicionados ao circuito, um entre a saída do microcontrolador e a base do transistor, e outro em série com o LED para limitar sua corrente máxima. O circuito final ficou tal como demonstrado na figura abaixo:

Figura 4 - Diagrama de circuito



Fonte: Autor

A montagem física do circuito acima foi feita em uma placa de prototipagem de circuitos (comumente chamada de *protoboard*), sendo este o protótipo final utilizado em todos os testes práticos. O preço da protoboard é desconsiderado, mas a confecção e importação de fábricas chinesas de uma placa de circuito impresso com conexões similares ao deste circuito custa por volta de R\$10,00 se comprada em quantidades acima de 10. O resultado final da montagem pode ser visto nas figuras abaixo:

Figura 5a
Protótipo montado em
protoboard

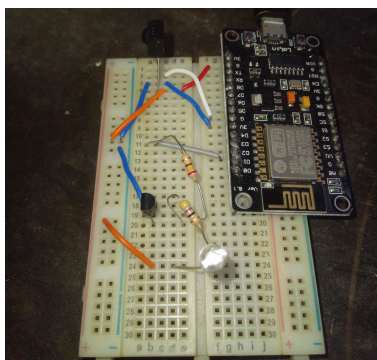


Figura 5b
Protótipo montado em
protoboard

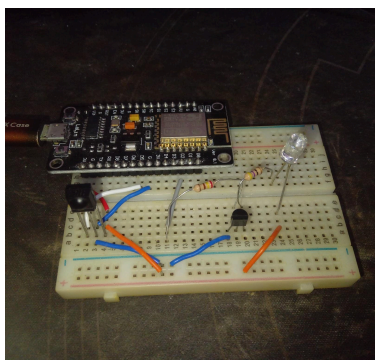
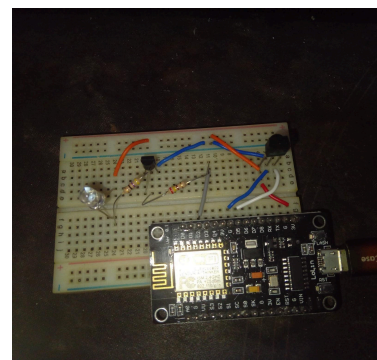


Figura 5c
Protótipo montado em
protoboard



Fonte: Autor

Com o circuito idealizado e montado, a atividade seguinte foi a confecção do código fonte⁵ para controle do microcontrolador. O código fonte consistiu em funções de controle dos dispositivos infravermelhos e de uma interface WEB para facilitar a criação, edição e uso do dispositivo por meio da criação de “controles remotos virtuais”, onde é possível ter diversos controles remotos, cada um com diversos botões, cada botão atrelado a um código específico emitido pelo controle original copiado. Além disso, o código se encarrega de utilizar a memória não volátil do microcontrolador para possibilitar que ele mantenha os dados dos controles entre os ciclos de energia, o que é muito útil não só para a economia de energia, como para os casos onde o copiator é utilizado como uma forma de salvar os dados de controles para ser usado somente no caso da ausência destes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado do projeto se divide em alguns aspectos a serem debatidos individualmente.

4.1 FUNCIONAMENTO DO COPIADOR

O primeiro dos resultados a ser debatido é o do funcionamento e do uso do sistema, bem como as limitações e problemas observados.

⁵ Disponível publicamente em https://github.com/isquicha/engcomp_tcc

Testes locais demonstraram a cópia perfeita de alguns comandos em um controle de ar condicionado. Foi constatado o pleno funcionamento do copiator em rede local, a uma distância de cerca de 1,5m do aparelho controlado e em uma sala iluminada por luz artificial. A interface WEB se mostrou simples de utilizar, e apesar de não possuir alguns recursos avançados, como cópia de estrutura de controle (recriando os mesmos botões, com os mesmos nomes, só que para um controle diferente) ou backup e restauração de controles entre dispositivos externos, se mostrou suficientemente satisfatória para um protótipo inicial.

A primeira limitação observada é que, apesar de ser a frequência mais comum, 38KHz não é a única frequência utilizada por controles infravermelhos, deixando o protótipo teoricamente incompatível com alguns controles. A segunda limitação observada é que há uma distância máxima de eficácia do LED, que pode ser inferior à de um controle remoto original, devido à qualidade do material utilizado e a possíveis erros de dimensionamento do circuito. Em especial por ser um protótipo, uma terceira limitação observada é a necessidade constante de uma fonte com conector micro USB com saída de 5V para alimentar o dispositivo. Também por ser um protótipo, as credenciais de acesso à rede local foram salvas em tempo de compilação de código, impossibilitando o uso de um mesmo exemplar em diversas redes (problema facilmente sanável com alteração de firmware para utilizar o WiFi do ESP8266 no modo *Acess Point* - ponto de acesso - na primeira conexão, fornecendo uma rede específica para que o usuário acesse e configure suas credenciais de rede doméstica). Uma outra limitação é que todo o protótipo precisa estar no ambiente físico do dispositivo a ser controlado, fazendo com que caso o papel do protótipo seja o de centralizador de controles, dispositivos em ambientes distintos precisem de outras unidades do protótipo, ou da movimentação da unidade entre os ambientes. Algo que não é exatamente uma limitação, mas precisa ser ressaltado pois impacta na utilidade do protótipo, é o fato de ser necessário que o controle original exista e funcione para que a cópia seja feita: se o controle original já foi perdido ou quebrado não é viável (apesar de não ser impossível) recriar os códigos customizados dos botões de maneira manual. Por fim, as últimas limitações são apresentadas pelo sistema de armazenamento em memória Flash do ESP8266, limitando em algumas centenas de controles e alguns milhares de botões, aproximadamente, bem como algumas centenas de milhares de alterações.

O único defeito técnico observado foi um delay ocasional de cerca de 2 a 10 segundos entre o pressionar do botão na interface web e o acionamento do aparelho. Esse delay por vezes foi imperceptível, o que sugere que o problema foi a qualidade da conexão do módulo ESP8266 com o roteador WiFi residencial.

4.2 ESTIMATIVA DE CUSTO BENEFÍCIO MERCADOLÓGICO

Em uma listagem inicial, o preço total de confecção do protótipo foi de cerca de R\$40,00 desconsiderando a fonte e o cabo e os terminais reutilizáveis para as conexões. Um produto real, produzido em escala e com uma placa de circuito feita sob medida, com o módulo ESP8266 original ao invés de um NodeMCU e um conector para pilhas de alimentação custaria por volta de R\$50,00 a R\$70,00, sem considerar a montagem, o que resulta em um produto final bem acessível, mas não tão barato o suficiente a ponto de ser comprado por qualquer usuário doméstico.

A situação se agrava ao constatar-se que nos últimos anos, algumas fabricantes, em especial de aparelhos televisores, estão trocando o infravermelho pela tecnologia bluetooth, que permite utilizar o controle mesmo que ele não esteja apontando diretamente para o dispositivo controlado, trazendo mais praticidade para o usuário comum, mas dificultando o uso em situações onde a garantia de uma cópia dos controles se faz necessária.

Dito isto, estima-se que a utilidade e a relação entre custo e benefício se torna melhor onde:

- Existem diversos dispositivos com controles infravermelhos diferentes e se quer um único controle para evitar o uso de vários, como por exemplo em um hotel com vários controles de ar condicionado diferentes, onde um funcionário pode alterar as definições em vários quartos de uma só vez mesmo quando algum controle foi danificado
- Um usuário doméstico possui diversos aparelhos em ambientes diferentes e quer ter um ponto central de controle total dos aparelhos (tal como o famoso aparelho *Amazon Alexa*, só que via infravermelho), o que exigiria uma breve, mas não muito difícil, alteração do protótipo

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos do projeto, é possível concluir que o protótipo se mostrou devidamente capaz de realizar a cópia de controles infravermelhos e em seguida controlar os dispositivos tal como os controles originais.

A usabilidade tanto da criação dos controles e botões, quanto do sistema de cópia, se mostrou satisfatória. A usabilidade do sistema de uso dos botões se mostrou quase satisfatória, com o único problema sendo um possível atraso de rede entre o pressionar do botão e a efetivação do comando.

Já a relação entre custo e benefício se mostrou satisfatória apenas em casos específicos, onde muitos controles são copiados, pois o custo de um único controle remoto específico tende a ser cerca de metade do custo estimado do produto final baseado no protótipo, bem como possuindo uma usabilidade mais simples (visto que é só utilizar normalmente, sem a necessidade de configurar via rede ou copiar manualmente os botões).

Trabalhos futuros podem explorar:

- A cópia de controles remotos tanto infravermelhos quanto bluetooth por meio do uso do ESP32
- A separação em diversos módulos com LEDs infravermelhos conectados a um único copiator, permitindo o uso de um mesmo copiator para centralizar o comando de diversos aparelhos em ambientes distintos
- A exposição por meio de uma interface de rede programática do controlador, como por exemplo uma API HTTP REST, visando possibilitar com que terceiros criem interfaces customizadas para atender às suas necessidades
- Realizar o download de códigos infravermelhos comuns de controles diversos de fabricantes diversos disponibilizados na internet, de forma a facilitar a criação de controles locais e até mesmo possibilitar o uso como substituto do controle original caso este tenha se perdido ou danificado antes mesmo da cópia manual ser realizada

REFERÊNCIAS

- Espressif IoT Team. **ESP8266EX Datasheet**. 6.6, 2020. *Espressif*,
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Acessado 11 05 2021.
- GROKHOTKOV, Ivan. “**ESP8266 Arduino Core.**” *ESP8266 Arduino Core Documentation*, 2017, https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/2.7.4_a/.
 Acessado 12 05 2021.
- HALLIDAY, David, et al. **Fundamentos de Física - Vol. 4 - Óptica e Física Moderna**. 10 ed., vol. 4, Rio de Janeiro, LTC, 2018.
- LAYTON, Julia. “**How Remote Controls Work.**” *How Stuff Works*, 11 02 2021,
<https://electronics.howstuffworks.com/remote-control.htm>. Acessado 11 05 2021.
- NodeMCU team. “**NodeMCU Documentation.**” *NodeMCU Documentation*,
<https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/>. Acessado 12 05 2021.
- Refsnes Data. “**W3Schools.**” *W3Schools*, 1999, <https://www.w3schools.com/>.
 Acessado 11 05 2021.
- JOHNSON, Brett. “**A deeper look inside common Consumer Infrared (CIR).**”
LIRC, <https://www.lirc.org/cir.html>. Acessado 27 10 2025.
- TANENBAUM, Andrew S., Todd AUSTIN. **Organização estruturada de computadores**. Traduzido por Daniel VIEIRA, 6 ed., São Paulo, Pearson, 2013.
- TANENBAUM, Andrew S., David WETHERALL. **Redes de Computadores**. Traduzido por Isaías LIMA, 5 ed., São Paulo, Pearson, 2011.