

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL DE GENOVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
RADIOFREQUÊNCIA PARA ENVIO E RECEPÇÃO DE
DADOS**

MONOGRAFIA (GRADUAÇÃO)

BAURU

2022

RAFAEL DE GENOVA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RADIOFREQUÊNCIA PARA ENVIO E RECEPÇÃO DE DADOS

Monografia (Graduação) apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 1 da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP Campus Bauru, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Rudolf Ribeiro Riehl

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

BAURU

2022

RESUMO

Em um ambiente industrial, ter que colocar muitos cabos e passá-los através de paredes, apresenta uma desvantagem considerável em termos de tempo e custo. Além disso, com a adição de cada novo dispositivo, é necessário um novo cabeamento. Para contornar estas desvantagens são utilizados dispositivos de comunicação sem fio. Este trabalho tem como intuito o desenvolvimento teórico e prático de um protótipo de um sistema de radiofrequência composto por um subsistema transmissor e um receptor. Cada subsistema será composto de um microcontrolador para controle dos dados, de um transmissor ou receptor para tratamento do sinal a ser enviado ou captado, e de uma antena para irradiar ou detectar o sinal contendo a mensagem desejada. A metodologia consiste na escolha de componentes, no projeto de duas placas de circuito impresso, na programação dos microcontroladores, no desenvolvimento de um programa para apresentação dos dados em um computador e por fim na implementação do sistema para teste de funcionamento onde será realizada uma análise dos dados recebidos.

Palavras-chave: Comunicação sem fio. Radiofrequência. Placa de Circuito Impresso.

LISTA DE FIGURAS

1	Sistema de transmissão	2
2	Programa Kicad	4
3	STM32F103C8T6	5
4	NRF905	6
5	Esquemático do NRF905 em 868/915 MHz conectado a antena de 50 Ω	7
6	Antena ANT-916-CW-RAH-ccc	8
7	Antena ANT-916-CW-QW	8
8	Antena patch monopolo	9
9	Bateria LiPo	10
10	Programador ST-LINK-V2	10
11	Conector SWD	11
12	Esquemático do conector SWD	11
13	Adaptador 20 para 10 pinos	11
14	STM32Cube IDE	12
15	STM32CubeMX	12
16	Microsoft Visual Studio	13

LISTA DE TABELAS

1	Frequências de operação configuráveis do NRF905	7
2	Cronograma de atividades	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRC *Design Rule Check*. 14, 15

ERC *Electrical Rule Check*. 14, 15

IDE *Integrated Development Environment*. 3, 12, 13

ISM *Industrial, Scientific and Medical*. 5, 6

PCB *Printed Circuit Board*. 3–5, 9, 11, 14, 15

SWD *Serial Wire Debug*. 3, 11

UHF *Ultra High Frequency*. 2

USB *Universal Serial Bus*. 3, 9

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω ohm

dBi decibel isotrópico

GHz gigahertz

mA miliampère

mAh miliampère-hora

MHz megahertz

V volt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1	COMPONENTES DE HARDWARE	4
3.1.1	PROGRAMA DE PROJETO ELETRÔNICO	4
3.1.2	MICROCONTROLADOR	5
3.1.3	TRANSMISSOR / RECEPTOR	5
3.1.4	ANTENA	7
3.1.5	ALIMENTAÇÃO	9
3.2	COMPONENTES DE FIRMWARE	10
3.2.1	PROGRAMADOR	10
3.2.2	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	12
3.3	COMPONENTES DE SOFTWARE	13
3.3.1	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	13
3.3.2	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	13
4	MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1	DESENVOLVIMENTO DE HARDWARE	14
4.2	DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE	14
4.3	DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE	14
4.4	IMPLEMENTAÇÃO PARA TESTE	14
5	CRONOGRAMA	15
	Referências	17
	Referências imagens	19

1 INTRODUÇÃO

A transmissão de ondas de rádio sem fio teve início em 1887. Para Sobot (2021), com a construção de um equipamento emissor de faíscas, o físico Heinrich Rudolf Hertz conseguiu provar de maneira experimental a existência de ondas eletromagnéticas como previsto pela teoria do físico James Clerk Maxwell em 1873. No entanto, ele não percebeu todas as implicações práticas de sua descoberta, e na época chegou a dizer:

“Não tem qualquer utilidade[...] esta é apenas uma experiência que prova que o Maestro Maxwell estava certo – existem essas ondas eletromagnéticas misteriosas que não podemos ver a olho nu. Mas elas estão lá” (SOBOT, 2021).

Em 1897, o inventor Nikola Tesla apresentou o primeiro sistema de comunicação por ondas de rádio. Tesla (1898) usou este sistema para controlar um modelo de barco com um transmissor e receptor sem fio. Neste momento ele inaugurou a era das comunicações sem fio práticas.

Avanços mais recentes nos sistemas de comunicação ocorreram em grande parte devido a uma das principais invenções da história, o transistor, que em 1948 foi apresentado por três cientistas, William Shockley, John Bardeen e Walter Brattain, no Bell Labs que é um laboratório de pesquisa que na época pertencia à empresa American Telephone and Telegraph. Foram aceitas duas patentes para diferentes partes desta invenção por Bardeen et al. (1950) e Shockley (1951).

Alguns anos mais tarde, em 1958, o engenheiro eletricitista Jack Kilby apresentou o primeiro circuito integrado enquanto trabalhava na empresa Texas Instruments, apresentando seu pedido de patente em 1959 de acordo com Kilby (1964). Alguns meses mais tarde, ainda em 1959, Robert Noyce inventou o primeiro circuito integrado monolítico que foi fabricado inteiramente em um único chip, e essa nova versão feita de silício poderia ser mais facilmente produzida em larga escala de acordo com Noyce (1961).

Graças às invenções citadas acima e muitas outras não mencionadas, os sistemas de comunicação sem fio revolucionaram o mundo e estão presentes no dia a dia de muitas pessoas. Uma vantagem poderosa das redes sem fio é que elas podem ser facilmente implantadas para transmitir dados para uma determinada área, eliminando a necessidade de configurar infraestruturas de cabos caras.

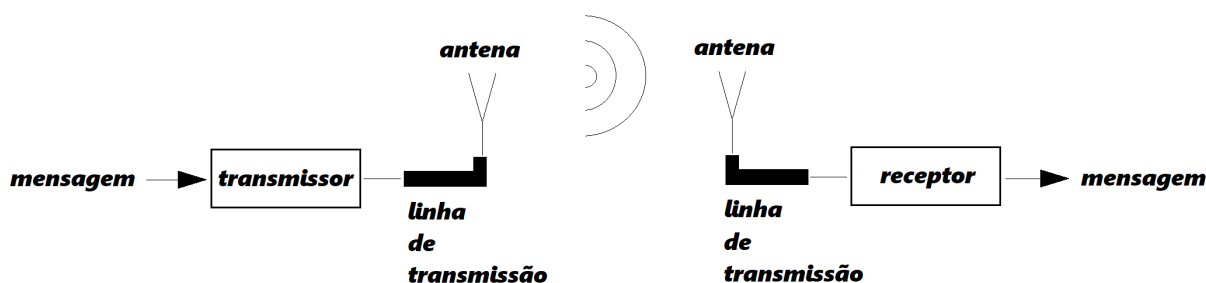
Essas redes usam sinais de radiofrequência para se comunicar. Para Steer (2019), um sinal de rádio é gerado e irradiado por uma antena transmissora, propagado pelo ar, coletado por uma antena receptora e então amplificado para que as informações sejam extraídas.

Hoje os rádios operam de 3 Hz (para comunicações submarinas) a 300 GHz (proposta

para comunicações celulares 6G). À medida que a frequência aumenta, o tamanho das antenas diminui e a capacidade de transportar informações aumenta. Um intervalo de frequências muito utilizado para comunicações móveis é o de UHF, 300 MHz a 4 GHz, onde as antenas são pequenas o suficiente e há uma boa capacidade de difratar objetos e até penetrar paredes de acordo com Steer (2019).

Para implementar tal sistema, podem ser utilizados dois subsistemas, cada um contendo os seguintes elementos principais: um microcontrolador, um transmissor ou receptor e uma antena, como apresentado na Figura 1.

Figura 1: Sistema de transmissão



Fonte: do próprio autor.

O microcontrolador é o elemento responsável por tomar as decisões de acordo com o firmware armazenado em sua memória. O transmissor é o elemento responsável por gerar um sinal de corrente alternada que oscila na frequência desejada para ser aplicado à antena. O receptor é responsável por realizar a conversão na direção oposta ao transmissor. Por fim, a antena é o elemento que quando excitado por este sinal de corrente alternada, deve irradiar ondas de rádio ou ser capaz de detectar estas ondas provenientes do meio.

Este trabalho desenvolverá um sistema de radiofrequência para enviar uma mensagem numérica e então capturar esta mensagem a uma certa distância utilizando os elementos descritos no parágrafo anterior. Será desenvolvido um sistema eletrônico de transmissão de dados e um sistema eletrônico de recebimento de dados. A mensagem será transmitida quando o usuário pressionar um botão na placa transmissora e deverá ser captada automaticamente pela placa receptora. Por fim, será desenvolvido um programa de desktop para apresentar a mensagem recebida na tela de um computador.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver duas PCBs capazes de estabelecer uma comunicação sem fio. Uma das placas será responsável por transmitir uma mensagem numérica que deverá ser captada pela segunda placa. A mensagem deverá ser transmitida quando o usuário pressionar um botão na placa transmissora e deverá ser captada automaticamente pela placa receptora. A seguir este sinal deve ser transmitido para um programa em um computador via conexão USB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma PCB com a função de transmitir informações de forma sem fio. Esta etapa inclui a programação do microcontrolador da PCB.
- Desenvolver uma PCB alimentada pela saída USB de um computador com a função de receber informações da placa transmissora e a seguir enviar estas informações para um computador. Essa etapa também inclui a programação do microcontrolador da PCB.
- Desenvolver um programa de computador com a função de receber as informações da placa conectada em uma de suas entradas USB e apresentar as informações recebidas em uma tela.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

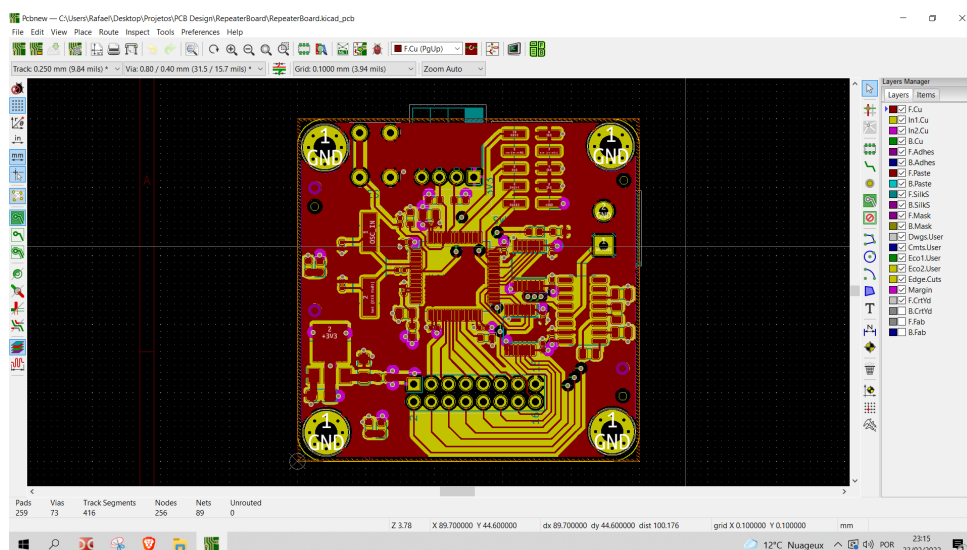
O desenvolvimento deste projeto é dividido em três categorias: hardware, firmware e software. Na categoria de hardware, todos os componentes eletrônicos devem ser escolhidos e é preferível que eles sejam componentes bastante conhecidos para que estejam disponíveis em estoque nas empresas que realizam a montagem das placas. Outra vantagem é que há vários projetos de referência com componentes conhecidos, o que facilita o desenvolvimento do projeto. Além dos componentes principais — microcontrolador, transmissor, receptor, antena — outros componentes que permitem o funcionamento das placas eletrônicas devem ser escolhidos, como capacitores, indutores, resistores, reguladores de tensão, cristais osciladores, entre outros. Neste momento, os *datasheets* dos componentes utilizados devem ser consultados. Na categoria de *firmware*, o ambiente de programação escolhido será utilizado para desenvolver e gravar o *firmware* na memória do microcontrolador e, desta forma, este software depende do microcontrolador escolhido. Por fim, na última categoria, a linguagem de programação escolhida será utilizada para desenvolver um programa no computador capaz de detectar a mensagem enviada pelo microcontrolador utilizando um ambiente de desenvolvimento compatível.

3.1 COMPONENTES DE HARDWARE

3.1.1 PROGRAMA DE PROJETO ELETRÔNICO

O esquemático, *layout* e o *gerber* das PCBs são gerados com um *software* de projeto eletrônico. Atualmente um dos programas gratuitos mais populares e usados profissionalmente é o Kicad como apontado por G2 (2022). Este *software* é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Programa Kicad



Fonte: do próprio autor.

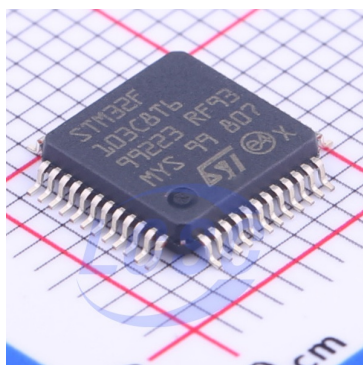
Há outros *softwares* melhores como o Altium Designer que apesar de ser pago, é o *software* preferido na indústria atualmente de acordo com G2 (2022). Ele é um programa mais avançado e apresenta um suporte técnico melhor porém para um projeto pequeno seu uso não é justificável considerando seu preço.

3.1.2 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador escolhido deve ser o mais simples desde que atenda as necessidades exigidas pelos outros componentes do projeto.

Um exemplo de componente bastante utilizado é o STM32F103C8T6 da empresa ST-Microelectronics mostrado na Figura 3.

Figura 3: STM32F103C8T6



Fonte: JLCPCB, 2022.

Outros componentes devem ser posicionados ao redor do microcontrolador para que ele se comporte corretamente e para isto é importante seguir as instruções na documentação do fabricante. Como exemplo há os diversos capacitores de desacoplamento, o cristal oscilador de quartzo, quando necessário o regulador de tensão, entre outros componentes.

Outros microcontroladores muito utilizados são o ATmega328P e o PIC18F4550, ambos fabricados pela empresa Microchip Technology Inc.

3.1.3 TRANSMISSOR / RECEPTOR

O transmissor ou receptor pode ser um *transceiver* programável que é um dispositivo capaz de transmitir ou receber informações dependendo da forma como ele é configurado. Consequentemente, as duas PCBs podem usar o mesmo componente, o que simplifica um pouco a escolha de componentes.

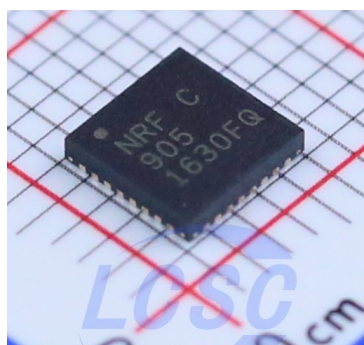
A escolha deste componente está relacionada com a frequência utilizada na comunicação. As bandas de frequência ISM são porções do espectro de frequência reservadas internaci-

onalmente para equipamentos ou aparelhos projetados para gerar e utilizar localmente energia de radiofrequência para fins industriais, científicos, médicos, domésticos ou semelhantes, excluindo aplicações no domínio das telecomunicações (MAZAR, 2016).

Apesar de não serem voltadas para o uso de aplicações de comunicação, há algumas frequências ISM muito utilizadas em dispositivos comunicantes de curto alcance, como exemplo 13,56 MHz, 433 MHz, 868 ou 915 MHz e 2,4 GHz. Estes valores de frequência são definidos em um regulamento que apresenta regras diferentes para cada região do planeta. No total há três regiões e o Brasil está na região número dois, onde utiliza-se a frequência de 915 MHz e não a de 868 MHz como apontado em Mazar (2016).

Um exemplo de *transceiver* bastante utilizado é o NRF905 da empresa Nordic Semiconductor mostrado na Figura 4.

Figura 4: NRF905



Fonte: JLCPCB, 2022.

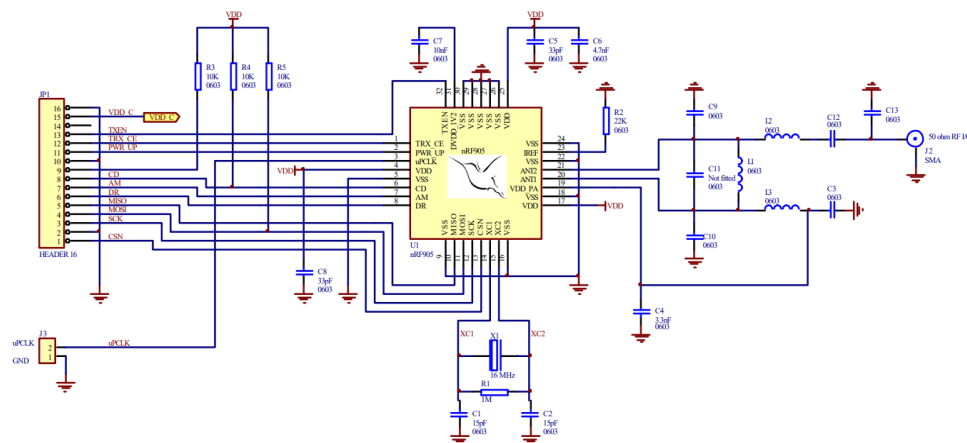
Este componente pode operar nas bandas de frequência ISM de 433 MHz, 868 MHz e 915 MHz de acordo com a configuração de seus registradores. As frequências disponíveis estão apresentadas na Tabela 1 e foram obtidas de seu *datasheet* Nordic Semiconductor (2004).

Para que este componente funcione corretamente é necessário adicionar capacitores de desacoplamento, um cristal oscilador de quartzo, resistores e um circuito de casamento de impedâncias, composto por indutores e capacitores, quando conectado a uma antena de extremidade única conforme apresentado na Figura 5. No caso apresentado foi considerada uma antena de impedância de 50Ω .

Tabela 1: Frequências de operação configuráveis do NRF905

Frequência de Operação
430.0 MHz
433.1 MHz
433.2 MHz
433.7 MHz
862.0 MHz
868.2 MHz
868.4 MHz
869.8 MHz
902.2 MHz
902.4 MHz
927.8 MHz

Fonte: Nordic Semiconductor, 2004.

Figura 5: Esquemático do NRF905 em 868/915 MHz conectado a antena de 50 Ω 

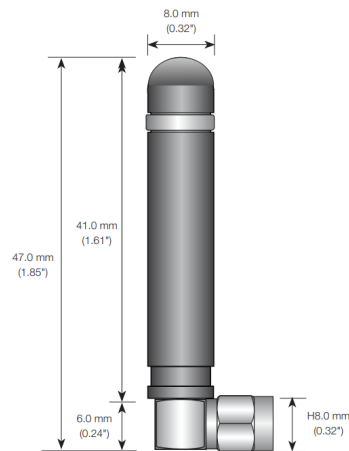
Fonte: Nordic Semiconductor, 2004.

Transceivers programáveis com performances e bandas de frequência diferentes também estão disponíveis. Um exemplo é o SPSGRFC-915 da STMicroelectronics para as frequências 433 MHz, 868MHz ou 915 MHz. Um outro exemplo é o AT86RF232-ZX da Microchip Technology Inc. para a frequência de 2,4 GHz.

3.1.4 ANTENA

Uma antena que pode ser utilizada na frequência 915 MHz é a ANT-916-CW-RAH-ccc da Linx Technologies. Ela é do tipo helicoidal de comprimento 1/4 de onda, ganho máximo de 2.2 dBi, impedância de 50 Ω e frequência central de 916 MHz de acordo com Linx Technologies (2013). Esta antena é mostrada na Figura 6.

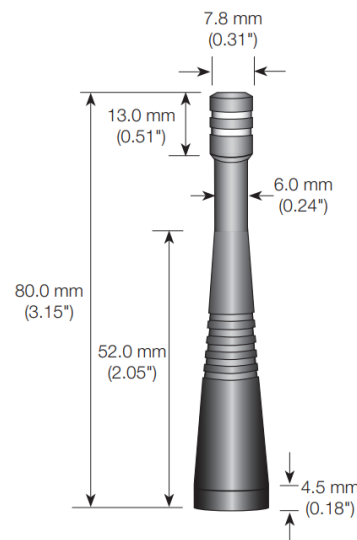
Figura 6: Antena ANT-916-CW-RAH-ccc



Fonte: Linx Technologies, 2013.

No kit de referência do NRF905 da Nordic Semiconductor (2006), é utilizada uma antena monopolo de comprimento de 1/4 de onda. Uma antena similar é apresentada na Figura 7.

Figura 7: Antena ANT-916-CW-QW



Fonte: Linx Technologies, 2013.

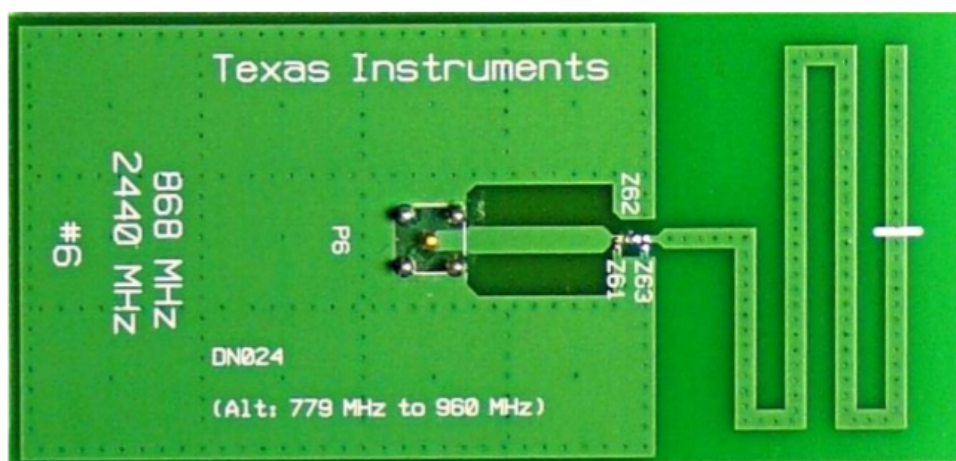
A antena da Figura 7 é do tipo monopolo de comprimento de 1/4 de onda, ganho máximo de 1.8 dBi, impedância de 50 Ω e frequência central de 916 MHz como apresentado em Linx Technologies (2013).

Uma antena helicoidal de comprimento de 1/4 de onda tem um tamanho menor porém ela apresenta uma performance diferente em relação a uma antena monopolo de comprimento de 1/4 de onda devido a sua polarização ser diferente. Esta é uma análise importante que deve ser realizada no momento da escolha da antena.

Em Nordic Semiconductor (2006), há uma nota explicando que os dois principais influenciadores da performance da antena são o ganho e o tamanho do ground da placa onde está a antena. Quanto maior o ganho e quanto maior o ground, melhor será o desempenho da antena monopolo conforme apontado no documento. No *datasheet* das duas antenas apresentadas, a placa contém um *ground* de 10,16 cm x 10,16 cm de área. É muito provável que na placa final a área de *ground* seja menor, já que o projeto deve ser compacto.

Um outro tipo de antena que pode ser utilizado é a antena *patch*, também chamada de antena de microlinha. A Figura 8 apresenta uma antena *patch* do tipo monopolo.

Figura 8: Antena patch monopolo



Fonte: Texas Instruments, 2013.

A antena da Figura 8 pode ser configurada para operar nas frequências centrais de 868 MHz, 915 MHz ou 920 MHz. Ela apresenta uma área total de placa de 3,8cm x 2,5 cm e ganho máximo variando de 3 à 5 dBi de acordo com Texas Instruments (2013). Além disso, nesta antena há a vantagem de não precisar soldar componentes.

Portanto, há diversos tipos de antena que podem ser utilizadas. Uma análise de performance versus custo versus praticidade de implementação devem ser realizadas no momento de sua escolha.

3.1.5 ALIMENTAÇÃO

Ambas as placas devem ser alimentadas por tensão de corrente contínua. A PCB com o receptor pode ser alimentada pela saída USB do computador. Se for usado o *transceiver* NRF905, quando operando como receptor o consumo típico de corrente é de 12,5 mA. Uma porta USB pode fornecer pelo menos 100 mA, portanto a alimentação seria suficiente.

A placa transmissora deve estar operando distante do computador. Uma possível solução é o uso de baterias de Polímero de Lítio, também chamadas de baterias LiPo. Um exemplo

deste tipo de bateria é apresentado na Figura 9.

Figura 9: Bateria LiPo



Fonte: Adafruit, 2022.

Esta bateria é fabricada pela empresa Shenzhen Pkcell Battery Co., Ltd e este modelo apresenta 1200 mAh de carga elétrica e tem 3,7 V em sua saída como apresentado em Adafruit (2022).

Uma outra solução seria o uso de uma fonte abaixadora de tensão, porém o sistema teria que estar sempre próximo de uma tomada.

3.2 COMPONENTES DE FIRMWARE

3.2.1 PROGRAMADOR

Para realizar a programação do microcontrolador será utilizado um dispositivo programador. No caso de um microcontrolador da STMicroelectronics será utilizado o programador ST-LINK-V2, apresentado na Figura 10.

Figura 10: Programador ST-LINK-V2



Fonte: Botland, 2022.

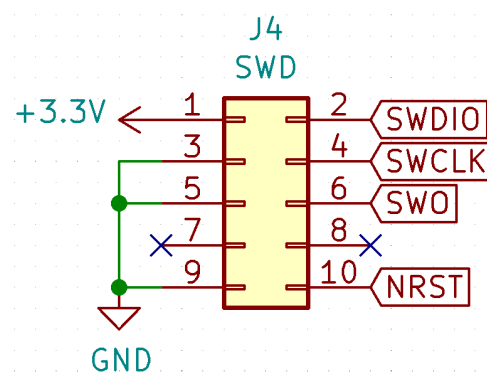
Em cada PCB, próximo ao microcontrolador, deve ser adicionado um conector macho de duas linhas e cinco colunas, mostrado na Figura 11. Na Figura 12 é apresentado o esquemático de como os pinos deste conector são usados.

Figura 11: Conector SWD



Fonte: Evil Mad Scientist, 2022.

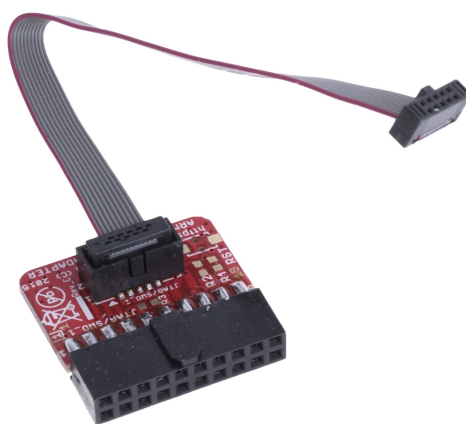
Figura 12: Esquemático do conector SWD



Fonte: do próprio autor.

Para que a programação possa ser realizada, deve ser utilizado um adaptador de 20 pinos do ST-LINK-V2 para 10 pinos do conector na PCB. Um exemplo de adaptador é o ARM-JTAG-20-10 da empresa Olimex Ltd. que está apresentado na Figura 13.

Figura 13: Adaptador 20 para 10 pinos



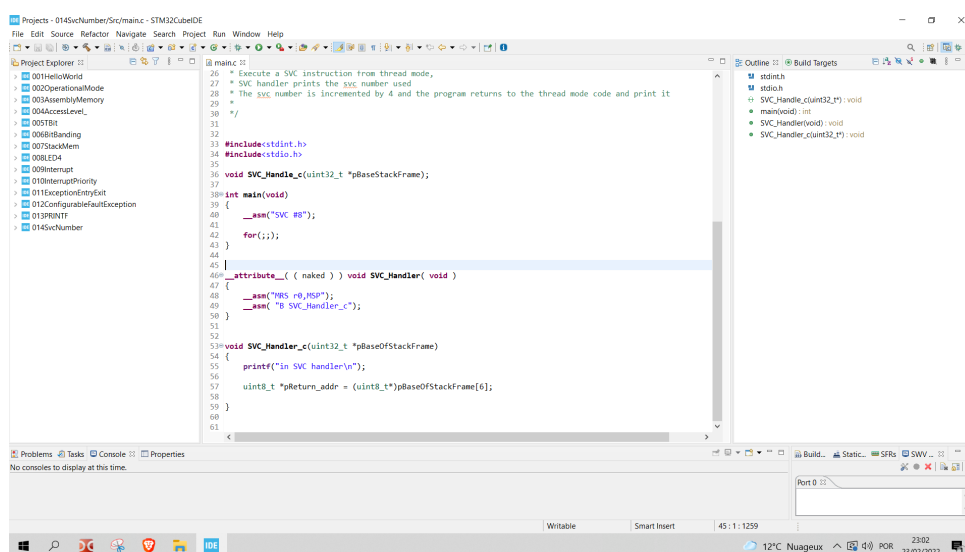
Fonte: RS Components, 2022.

Se um microcontrolador do tipo PIC18F4550 for escolhido, o dispositivo MPLAB® PICKit™ 4 pode ser utilizado. No caso de um microcontrolador ATmega328P pode ser utilizado o dispositivo ATMEL-ICE.

3.2.2 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

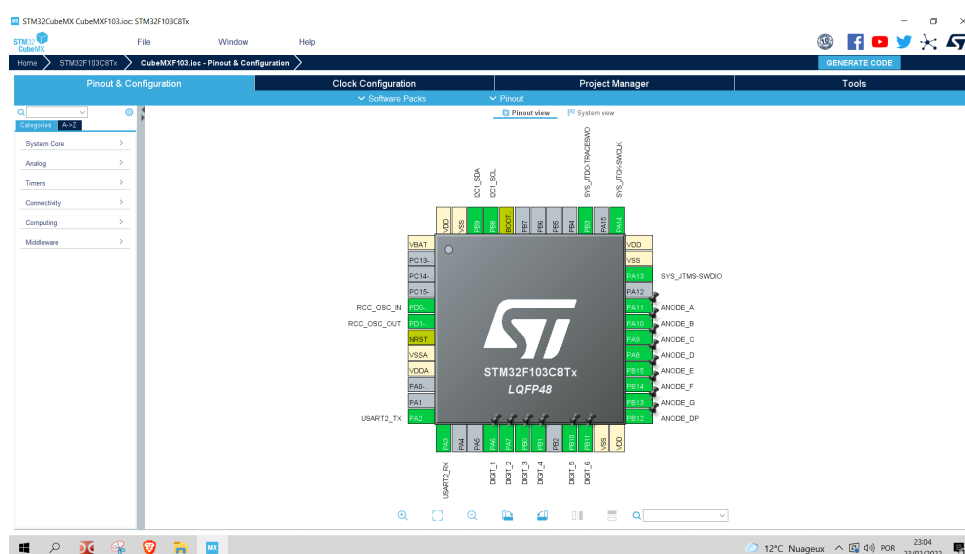
Para os microcontroladores do tipo STM32, o *software* utilizado para desenvolver o *firmware* pode ser o STM32CubeIDE. Além disso, o *software* STM32CubeMX pode ser utilizado para um bom planejamento do posicionamento e das funções dos pinos do microcontrolador. Uma figura de cada programa é apresentada nas Figuras 14 e 15.

Figura 14: STM32Cube IDE



Fonte: do próprio autor.

Figura 15: STM32CubeMX



Fonte: do próprio autor.

Se for usado um microcontrolador PIC ou ATmega, podem ser usados respectivamente os programas MPLAB® X IDE ou Atmel/Microchip Studio IDE.

3.3 COMPONENTES DE SOFTWARE

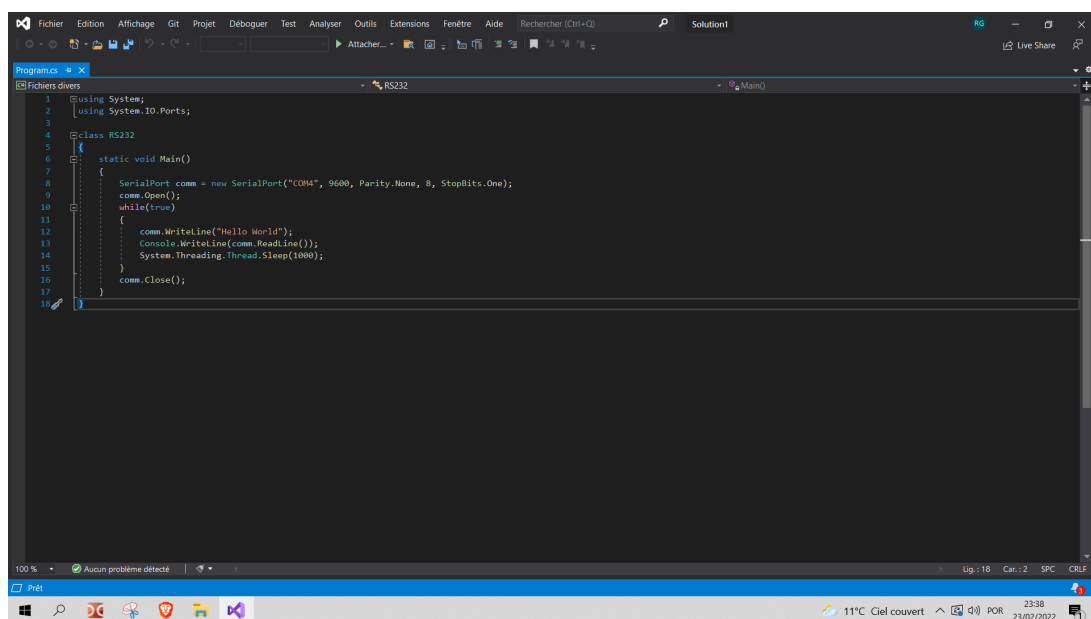
3.3.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

No desenvolvimento do programa responsável por apresentar os dados recebidos em um aplicativo de desktop no computador, a linguagem C# pode ser utilizada. Uma outra forma de desenvolver o aplicativo é utilizando a linguagem de programação Java.

3.3.2 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Para Slant (2022), o ambiente de programação Microsoft Visual Studio pode ser escolhido se for utilizada a linguagem C#. Na Figura 16 é apresentada uma foto deste ambiente de programação.

Figura 16: Microsoft Visual Studio



Fonte: do próprio autor.

Para a linguagem Java, um dos ambientes de desenvolvimento gratuitos mais utilizados é o Eclipse IDE de acordo com Educative (2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste projeto será dividida em quatro etapas de processo, organizadas em *hardware*, *firmware*, *software* e implementação para teste.

4.1 DESENVOLVIMENTO DE HARDWARE

A primeira parte desta etapa de projeto consiste na seleção do microcontrolador, do *transceiver* programável, da antena e na forma de alimentação da placa transmissora. Neste momento os componentes secundários compatíveis também devem ser selecionados, como capacitores de desacoplamento, cristais de quartzo, reguladores de tensão, diferentes indutores, entre outros. Ainda na primeira etapa, o projeto eletrônico da placa transmissora e receptora serão desenvolvidos. Inicialmente será desenvolvido o esquemático, processo que define a conectividade entre todos componentes da placa, e por fim realiza um teste de ERC. A seguir será desenvolvido o *layout* de cada placa, processo que inclui a definição do contorno da placa, o posicionamento dos componentes, a posição trilhas, além disso, deve ser realizada a verificação de DRC, geração de documentos para produção, entre outros. A seguir os arquivos de fabricação devem ser enviados para o fabricante escolhido.

4.2 DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE

Na segunda etapa, o *firmware* será desenvolvido e posteriormente armazenado na memória dos microcontroladores utilizando o programador e o ambiente de desenvolvimento integrado compatível com o microcontrolador escolhido. Esta etapa iniciará antes da chegada das PCBs.

4.3 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Na terceira etapa, o *software* que apresenta os dados da placa receptora será desenvolvido utilizando a linguagem de programação escolhida e o ambiente de desenvolvimento compatível. Este programa deve reconhecer a mensagem numérica enviada pela placa de acordo com o protocolo utilizado para o envio da mensagem.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO PARA TESTE

Na última etapa, será realizada a implementação do sistema completo. As duas placas com os programas armazenados serão alimentadas e a mensagem transmitida deverá ser apresentada no programa desenvolvido no computador.

5 CRONOGRAMA

O desenvolvimento deste trabalho se dará da seguinte forma:

1. **Definição dos componentes:** Nessa etapa, serão definidos o microcontrolador, o *transceiver* programável, a antena, a forma de alimentação da placa transmissora e todos os componentes secundários compatíveis.
2. **Desenvolvimento do esquemático:** Será desenvolvido o esquemático das duas PCBs utilizando o programa de projeto eletrônico Kicad. Neste processo será definida a conectividade entre todos componentes e será realizada a verificação de ERC.
3. **Desenvolvimento do *layout*:** Será desenvolvido o *layout* das duas PCBs utilizando o programa de projeto eletrônico Kicad. Neste processo será definido o contorno da placa, o posicionamento dos componentes, a posição trilhas, além disso, será realizada a verificação de DRC, geração de documentos para produção, entre outros.
4. **Desenvolvimento do *firmware*:** Nesse momento, serão desenvolvidos programas para os microcontroladores escolhidos, que deverão atender às necessidades do projeto utilizando o ambiente de programação compatível.
5. **Desenvolvimento do programa:** será desenvolvido o programa de computador que receberá os dados da placa receptora e os apresentará na tela.
6. **Implementação para teste:** Nesta etapa, será desenvolvido o protótipo físico completa e então serão realizados os testes no protótipo para verificar e validar seu funcionamento.
7. **Conclusão do Projeto:** Após a validação do funcionamento do protótipo, o texto do trabalho de graduação será finalizado e o projeto concluído.

A tabela 2 mostra o período previsto para as atividades propostas.

Tabela 2: Cronograma de atividades

Atividade	2022				
	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Referências

ANT-916-CW-RAH Data Sheet. Linx Technologies. Disponível em: <<https://linxtechnologies.com/wp/wp-content/uploads/ant-916-cw-rah.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2022.

ANT-916-CW-RAH Data Sheet. Linx Technologies. Disponível em: <<https://linxtechnologies.com/wp/wp-content/uploads/ant-916-cw-qw.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2022.

BARDEEN, J. et al., **Three-electrode circuit element utilizing semiconductive materials.** Depositante: Bell Telephone Laboratories. US n. 2,524,035. Depósito: 17 jun. 1948. Concessão: 3 out. 1950.

Best PCB Design Software. G2. Disponível em: <<https://www.g2.com/categories/pcb-design>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

Design Note DN024: Monopole PCB Antenna with Single or Dual Band Option. Texas Instruments. Disponível em: <<https://www.ti.com/lit/an/swra227e/swra227e.pdf?ts=1645919893093>>. Acesso em: 26 fev. 2022.

KILBY, J. **Miniaturized electronic circuits.** Depositante: Texas Instruments. US n. 3,138,743. Depósito: 6, fev. 1959. Concessão: 23, jun. 1964.

Lithium Ion Polymer Battery - 3.7v 1200mAh. Adafruit. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/258>>. Acesso em: 26 fev. 2022.

MAZAR, H. **Radio Spectrum Management: Policies, Regulations and Techniques:** 1. ed. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2016.

NOYCE, R. **Semiconductor device-and-lead structure.** Depositante: Fairchild Semiconductor Corporation. US n. 2,981,877. Depósito: 30, jul. 1959. Concessão: 25, abr. 1961.

nRF905 Evaluation Board. Nordic Semiconductor. Disponível em:
<https://www.avrfreaks.net/sites/default/files/nRF905-EVBOARD_rev1_1.pdf>. Acesso em:
26 fev. 2022.

SHOCKLEY, W. **Circuit element utilizing semiconductive material.** Depositante: Bell Telephone Laboratories. US n. 2,569, 347. Depósito: 26, jun. 1948. Concessão: 25, set. 1951.

Single chip 433/868/915 MHz Transceiver nRF905. Nordic Semiconductor. Disponível em:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/nRF905_rev1_1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

SOBOT, R. **Wireless Communication Electronics: Introduction to RF Circuits and Design Techniques:** 2. ed. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2021.

STEER, M. **Fundamentals of Microwave and RF Design:** 3. ed. NC State University, 2019.

TESLA, N. **Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or vehicles.** Depositante: Nikola Tesla. US n. 613,809. Depósito: 1 jul. 1898. Concessão: 8 nov. 1898.

Top 10 best Java IDEs for 2022. Educative. Disponível em:
<<https://www.educative.io/blog/best-java-ides-2021>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

What are the best C# IDEs?. Slant. Disponível em:
<<https://www.slant.co/topics/4118/~c-ides>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

Referências imagens

Figura 3: Disponível em:

<<https://jlcpcb.com/parts/componentSearch?isSearch=true&searchTxt=STM32F103C8T6>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 4: Disponível em:

<<https://jlcpcb.com/parts/componentSearch?isSearch=true&searchTxt=nrf905>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 5: Disponível em:

<https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/nRF905_rev1_1.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 6: Disponível em:

<<https://linxtechnologies.com/wp/wp-content/uploads/ant-916-cw-rah.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 7: Disponível em:

<<https://linxtechnologies.com/wp/wp-content/uploads/ant-916-cw-qw.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 8: Disponível em:

<<https://www.ti.com/lit/an/swra227e/swra227e.pdf?ts=1645927113060>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 9: Disponível em:

<<https://www.adafruit.com/product/258>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 10: Disponível em:

<<https://botland.store/programmers/14281-st-linkv2-in-circuit-debugger-programmer-for-stm8-and-stm32-5904422342432.html>>. Acesso em: 14 de mar. de 2021.

Figura 11: Disponível em:

<<https://shop.evilmadscientist.com/products/menu/284>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

Figura 13: Disponível em:

<https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/arm-jtag-20-10_145027.html>. Acesso em: 26 fev. 2021.