



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SIMÃO CRISTINO DE MENEZES

MEDIÇÕES DAS PROPRIEDADES BÁSICAS DO SOLO DE SISTEMAS
AGRÍCOLAS A PARTIR DE SISTEMAS REMOTOS

SOBRAL

2017

SIMÃO CRISTINO DE MENEZES

**MEDIÇÕES DAS PROPRIEDADES BÁSICAS DO SOLO DE SISTEMAS
AGRÍCULAS A PARTIR DE SISTEMAS REMOTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica,
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica. Área de
Concentração Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Rômulo Nunes de Carvalho
Almeida

SOBRAL

2017

SIMÃO CRISTINO DE MENEZES

**MEDIÇÕES DAS PROPRIEDADES BÁSICAS DO SOLO DE SISTEMAS
AGRÍCOLAS A PARTIR DE SISTEMAS REMOTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica,
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica. Área de
Concentração Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Rômulo Nunes, de Carvalho Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me, Jermana Lopes de Moraes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Sávio André Alves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Domingos e Maria do
Livramento.

Ao meu amigo Sávio André.

Aos meus irmãos e irmãs.

A minha esposa Mariana Ferreira.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Domingos Cristino e Maria do Livramento, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu irmão, João Batista, por proporcionar longas horas de discursões filosóficas proveitosas.

A Mariana Ferreira, pessoa com quem partilho os dias. Obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

Ao Prof. Dr. Romulo Nunes de Carvalho Almeida pela orientação, auxílio, paciência e elucidação, dado durante todo o desenvolvimento do trabalho de conclusão do curso.

Aos professores que contribuíram para a minha formação acadêmica, Vandilberto Pereira, Marcus Rogerio, Nilena Dias, Eber Diniz, André Lima, por toda a paciência e Elucidação tanto dentro como fora de aula.

Ao Curso do Engenharia Elétrica da UFC, e as pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho de teimoso.”

(Santos Dumont)

RESUMO

Sabe-se que a agricultura irrigada é responsável por uma grande demanda da água utilizada no mundo, portanto o desenvolvimento de soluções inovadoras que possam auxiliar a gestão eficiente deste recurso vital é de grande importância. O manejo automatizado da irrigação agrícola feita via sensoriamento da umidade, pH, resistência do solo, temperatura e luminosidade do ambiente pode resultar em até 80% de economia de água. Outras propriedades importantes como pH, salinidade, temperatura do solo e luminosidade também influenciam na produtividade agrícola. Assim, o trabalho objetivou-se em: (I) criar e calibrar os sensores de umidade, pH, resistência do solo, temperatura do solo e luminosidade do ambiente e (II) criar uma estação remota para enviar os dados sem fio. Para desenvolvimento do protótipo foi necessário efetuar a calibração de cada sensor separadamente. Para o sensor de umidade do solo utilizou-se o método chamado de gravimetria, necessitando, apenas, de amostras do solo e uma balança de precisão, onde a umidade é calculada em porcentagem de água por amostra de solo seco. Já o sensor de resistência do solo utiliza uma técnica conhecida como divisor de tensão, assim, conhecendo a tensão de entrada e a de saída e com uma resistência conhecida determina-se a resistência do solo. O sensor de pH usa as propriedades eletroquímicas dos metais para gerar uma tensão elétrica entre dois eletrodos feitos de metais diferentes, para isso usou-se duas soluções tampões de pH fixo. Já os sensores de temperatura do solo e luminosidade utiliza-se a função disponibilizada pelo fabricante. As funções de cada sensor são implementadas no atmega 328p que enviará remotamente leitura dos sensores para uma base coletora. Portanto, visando mais qualidade no controle da irrigação e, conseqüentemente a melhoria na produção com baixo investimento, este projeto irá possibilitar gerenciar e atuar com o devido tratamento especializado e fornecer o monitoramento necessário e suficiente para o manejo de água em sistemas de irrigação.

Palavras-chave: Automatizado. Eficiência hídrica. Irrigação. Medição. Sensor.

ABSTRACT

It is known that irrigated agriculture is responsible for a great demand of the water used in the world, so the development of innovative solutions that can help the efficient management of this vital resource is of great importance. The automated handling of agricultural irrigation made via sensing the humidity, pH, soil resistance, temperature and ambient light can result in up to 80% water savings. Other important properties such as pH, salinity, soil temperature and luminosity also influence agricultural productivity. Thus, the objective of this work was to: (i) create and calibrate the sensors for humidity, pH, soil resistance, soil temperature and ambient light, and (II) create a remote station to send wireless data. For the development of the prototype, it was necessary to calibrate each sensor separately. For the soil moisture sensor, the gravimetric method was used, requiring only soil samples and a precision scale, where the moisture is calculated as a percentage of water per dry soil sample. The soil resistance sensor uses a technique known as a voltage divider, thus knowing the input voltage and the output voltage and with a known resistance determines the resistance of the ground. The pH sensor uses the electrochemical properties of the metals to generate an electrical voltage between two electrodes made of different metals, for which two fixed pH buffers were used. Already the sensors of temperature of the ground and luminosity is used the function made available by the manufacturer. The functions of each sensor are implemented in the atmega 328p which will remotely send reading from the sensors to a collector base. Therefore, aiming at more quality in irrigation control and, consequently, the improvement in production with low investment, this project will allow to manage and to act with the appropriate specialized treatment and to provide the necessary and sufficient monitoring for the water management in irrigation systems.

Keywords: Measurement, Sensor, Remote, Humidity, pH, Resistance and Brightness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Rede de sensores com fio, acima esquerda, distribuição dos sensores, acima direta, sensor, abaixo, variabilidade espacial e temporal do potencial de água no solo.....	18
Figura 2:	Resultado obtido comparando o método desenvolvido pela Gomes com gravimétrico.....	18
Figura 3:	Mapa de umidade do solo em um momento arbitrário.....	19
Figura 4:	Software, Base coletora, o diagrama esquemático e o sensor de umidade desenvolvido por Vinícius no seu trabalho de conclusão de curso.....	20
Figura 5:	A Figura à esquerda é o diagrama elétrico do circuito e à direita o esquemático da placa com os componentes.....	20
Figura 6:	Pinos da modulo nRF24L01+ e suas funções.....	22
Figura 7:	Atuação do filtro GFSK.....	22
Figura 8:	Microcontrolador arduino nano.....	23
Figura 9:	Diagrama do bloco ESP8266.....	23
Figura 10:	Placa do módulo ESP8266.....	24
Figura 11:	Sensor de temperatura NTC.....	25
Figura 12:	Resistência em função da temperatura em termistor.....	26
Figura 13:	Sensor de luz LDR.....	26
Figura 14:	Gráfico da resistência em da luminosidade.....	27
Figura 15:	Diagrama de divisor de tensão com um LDR.....	28
Figura 16:	Solução tampão de pH.....	31
Figura 17:	Sensor de pH.....	32
Figura 18:	Montagem sistema com os turbos de ensaios e a solução tampão.....	33
Figura 19:	Representação do solo como circuito elétrico em que tensão de saída é em função da umidade.....	35
Figura 20:	Sensor de Umidade e Temperatura.....	36
Figura 21:	Medição da umidade pelo método de gravimetria.....	36
Figura 22:	Gráfico da umidade do solo.....	37
Figura 23:	Representação do solo como uma resistência.....	38

Figura 24: Sensor de resistência do solo.....	39
Figura 25: Hardware transmissor e hardware receptor.....	40
Figura 26: Circuito elétrico da base transmissora.....	41
Figura 27: Placa com a enumeração de cada componente.....	42
Figura 28 Representação completa do protótipo.....	43
Figura 29: Representação completa do protótipo detalhando o sensor de luminosidade....	44
Figura 30: Circuito elétrico da base receptora.....	45
Figura 31: Circuito elétrico da base receptora com os componentes.....	46
Figura 32: Interface de Desenvolvimento Arduino IDE.....	47
Figura 33: Organograma dos dois códigos, transmissor e receptor.....	50
Figura 34: Circuito do transmissor e receptor.....	50
Figura 35: Organograma do exemplo da biblioteca RF24 que analisa ruído nos canais....	51
Figura 36: Organograma dos algoritmos do sensor.....	52
Figura 37: Tabela dos dados medidos pelo sensor.....	53
Figura 38: Organograma receptor e transmissor.....	54
Figura 39: Medição da luminosidade com o Digital Lux Meter	55
Figura 40: A figura da esquerda mostra solo com pH 4,00 e a da direita um solo com pH 7,00.....	57
Figura 41: A figura mostra o sensor 4 em 1 medidor de pH do solo.....	58
Figura 42: Medição da precisão do sensor de umidade.....	59
Figura 43: Sensor analógico de umidade.....	60
Figura 44: Sensor 10HS Sensor de Umidade do solo.....	60
Figura 45: Sensor de resistência Wet-2 sensor.....	61
Figura 46: Gráfico da umidade em função do tempo.....	62
Figura 47: Gráfico da Temperatura em função do tempo.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pinos suas funções e descrições.....	21
Tabela 2: Potencial de Oxidação dos elementos químicos.....	29
Tabela 3: Leitura do pH obtido pelo sensor.....	33
Tabela 4: Leitura da tensão em função da umidade.....	37
Tabela 5: Lista de componentes e preços transmissor.....	40
Tabela 6: Lista de componentes e preços do receptor.....	44
Tabela 7: Funções básicas da biblioteca RF24.....	49
Tabela 8: Tabela dos valores da intensidade luminosa em Lux.....	56
Tabela 9: Leitura do pH obtido pelo sensor.....	57
Tabela 10: Leitura do pH obtido pelo sensor.....	58

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivo Geral.....	15
1.2.1	Objetivos Específicos.....	15
1.3	Estrutura do trabalho.....	16
2	Referencial teórico.....	17
2.1	Desenvolvimento de sensores para sistemas agrícolas.....	17
2.2	Módulo integrado para o componente nRF24L01+.....	20
2.3	Microcontrolador arduino nano.....	22
2.4	Módulo Integrado ESP8266.....	23
3	Materiais e métodos.....	25
3.1	Sensor de Temperatura NTC.....	25
3.2	Sensor de Luminosidade LDR.....	26
3.3	Sensor de PH.....	28
3.4	Sensor de Umidade.....	30
3.5	Sensor de Salinidade.....	34
3.6	Desenvolvimento do hardware.....	38
3.7	Desenvolvimento do sensor de transmissão dos parâmetros do solo agrícola.....	40
3.8	Desenvolvimento da base receptora.....	44
3.9	Desenvolvimento do software.....	47
3.10	IDE Arduino.....	47
3.11	Bibliotecas padrões para desenvolvimento software.....	48
3.11.1	Biblioteca RF24.....	48
3.11.2	Biblioteca SPI.....	48
3.11.3	Biblioteca NRF24L01. h.....	48
3.11.4	Comunicação entre dois transceptores nRF24L01P.....	48
3.12	Análise de ruído nos canais com um programa exemplo da biblioteca RF24.....	49
3.12.1	Programa que analisa os canais e escolhe o que não possui ruído.....	50
3.13	Algoritmo que envia e outro que recebe parâmetros do solo e armazena numa	51

	tabela Excel.....	
4	Resultado de ensaios realizados.....	55
4.1	Sensor de temperatura NTC.....	55
4.2	Sensor de Luminosidade.....	55
4.3	Sensor de PH.....	56
4.4	Sensor de umidade.....	59
4.5	Sensor de Salinidade.....	61
4.6	Gráficos da tabela de Excel.....	61
4.6.1	Gráfico da Umidade do solo.....	62
4.6.2	Gráfico da Temperatura do solo.....	62
5	Conclusão.....	63
	Referências.....	64
	Apêndice A – Código do programa plataforma arduino.....	67

1 Introdução

A água é um recurso de fundamental importância na manutenção da vida, suas funções vão além da simples necessidade dos seres vivos. Com a explosão do crescimento populacional mundial a necessidade de alimentos aumentou e com ela o consumo hídrico para irrigação das grandes lavouras.

Agricultura consome maior parte dos recursos hídricos, não é de se estranhar que também é a que mais desperdiça água, segundo FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) quase a metade desse montante é desperdiçada, a causa de desperdício está relacionada à falta de controle da umidade do solo, a não utilização de medidores de umidade, isso faz com que o agricultor ofereça mais água do que a lavoura necessita, ocasionando dois tipos de perdas: perdas hídricas e perda de produção, ou seja, além do desperdício de água o agricultor tem perdas na produção devido excesso de água.

Com as fontes de recursos hídricos cada vez mais escassas, devido a não diminuição do volume água, mas redução de fontes de água potável provocada pelo excesso de poluentes das indústrias e dos grandes centros urbanos, evitando desperdício de água na agricultura através do desenvolvimento de sensores que venha a medir e controlar a umidade do solo.

Para desenvolver um protótipo mais competitivo e completo, foram criados outros sensores para medir as propriedades básicas do solo, como por exemplo pH, Salinidade, Temperatura e Luminosidade, fatores que também influencia na produtividade agrícola.

1.1 Motivação

Décadas atrás, o Brasil era visto como um dos países com maiores reservatórios hídricos do planeta, porém, recentemente, alguns estados brasileiros vêm sofrendo uma significativa perda nos seus reservatórios, chegando alguns à beira do colapso, como por exemplo segundo portal de notícias G1, São Paulo em 2016, seu principal reservatório chegou a menos de 10% da sua capacidade.

Segundo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a causa destas perdas de água, é consequência da média dos volumes das chuvas que vem diminuindo nas últimas décadas e do aumento do consumo humano, agrícola e industrial, porém a maior parcela desse consumo, mais de 70%, vem da produção agrícola.

Diante deste quadro, teve-se o intuito de fazer uma intervenção no modelo logístico de distribuição e controle dos recursos hídricos propondo um sistema que venha a medir a umidade do solo e a partir dessa medição controlar a distribuição e o consumo de água no sistema agrícola monitoramento via rádio.

Pretende-se também desenvolver um produto mais competitivo acrescentando outros parâmetros igualmente importantes, como por exemplo, pH, salinidade do solo, temperatura e a luminosidade do ambiente.

1.2 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo que possa medir a umidade, pH, temperatura, salinidade do solo e luminosidade do ambiente e enviar remotamente os dados para uma base coletora de dados, que por sua vez disponibilizará as informações coletadas na WEB para serem acessados ou monitorados através da *internet*.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Priorizar o uso de *hardware* de baixo custo;
- Ampliar as possibilidades do uso do transceptor nRF24L01+ adaptando as necessidades do sensor a ser desenvolvido;
- Rastrear possíveis causas comuns de erro na comunicação e desenvolver estratégias para evitar as suas ocorrências;
- Desenvolver o sensor de pH, umidade, salinidade temperatura do solo e luminosidade do ambiente numa base de transmissão remota;
- Criar a programação para o sensor de transmissão;
- Desenvolver a base de recepção de dados;
- Criar a programação para a base de recepção de dados

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi dividido de forma a criar o passo a passo do desenvolvimento dispositivo remoto para sistema agrícola.

O capítulo 2 contém todos os referências teóricos pesquisado durante a execução do projeto.

O capítulo 3 encontra-se os matérias e métodos para construir os sensores que compõem o protótipo, elucida a criação do software e hardware que será implementado no microprocessador que executará a leitura e envio dos dados para base coletora.

O capítulo 4 contém todas as informações sobre os resultados encontrados após o desenvolvimento do sensor, precisão e a comparação com outros sensores já consolidados no mercado.

2 Referencial teórico

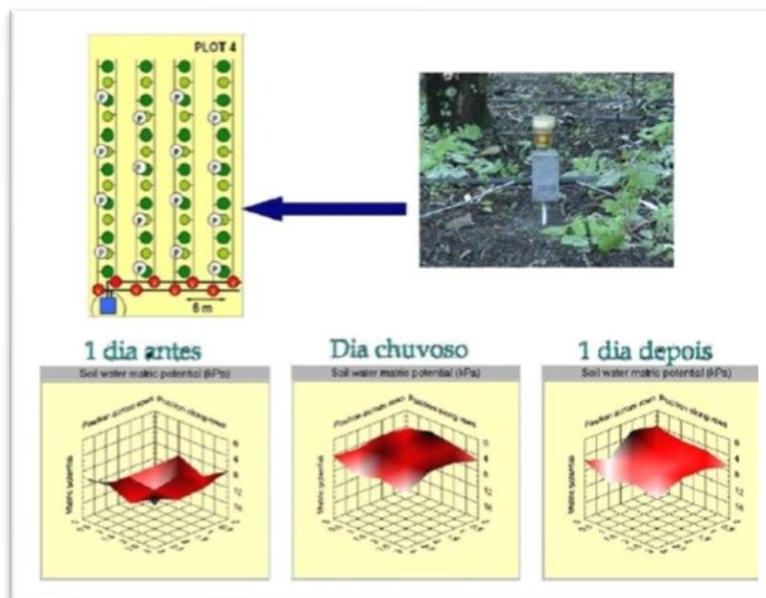
Neste capítulo são apresentados alguns trabalhos relacionados ao desenvolvimento do projeto de criação dos sensores de parâmetros básicos de solos agrícolas, utilizando a tecnologia de Rede de Sensores Sem Fio (**RSSF**).

2.1 Desenvolvimento de sensores para sistemas agrícolas

Com a popularização dos microprocessadores aliado ao baixo custo de produção e a necessidade de reduzir o consumo, incentivou-se as pesquisas e o desenvolvimento de sensores para sistemas agrícolas. Com o aprimoramento da eletrônica e da computação, os sistemas de controle, aquisição de dados, sensores e atuadores estão cada vez mais presentes na agricultura de precisão. De acordo com Torre Neto e Marcelino Ladislau et al (2007) desenvolvimento de sensores sem fio pode ser acompanhado através dos trabalhos de alguns pesquisadores como: “Schueller (1992); Auernhammer (1994); Balastriere (1994); Robert et al. (1995); Robert al. (1996); Stafford (1996); Molin (1997), Nielsen et al. (1996); e Schueller (1997)”.

Em 1996 Wall utilizou um sistema de processador inteligente usando a própria rede de alimentação dos motores para criar um sistema de controle de tempo real. A USDAARS desenvolveu um sistema com pivô central com chave para controlar o fluxo de água no solo na região sudoeste dos Estados Unidos. No Brasil, o primeiro sistema de sensores remotos foi realizado por Torre Neto et al (2001) no programa de pós-Doutorado realizado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), utilizava sensores inteligentes e válvulas automatizadas, o trabalho mostrou-se que mesmo numa pequena área a distribuição de água é irregular como mostra a figura 1.

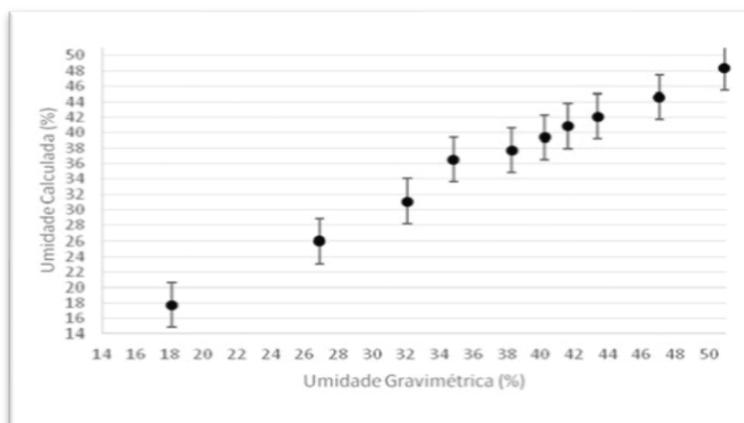
Figura 1: Rede de sensores com fio, acima esquerda, distribuição dos sensores, acima direita, sensor, abaixo, variabilidade espacial e temporal do potencial de água no solo



Fonte: Torre Neto e Marcelino Rabello, 2007

O trabalho de término de curso (TCC) da Isabelle Corcova Gomes do curso de Engenharia da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná desenvolveu para medir apenas a umidade do solo através de uma base transmissora que envia para uma base coletora dos dados, os resultados obtidos e publicados no seu trabalho, proporcionaram uma margem de erro de 3%, um resultado satisfatório considerando que utiliza o método do efeito capacitivo, como pode-se visualizar figura 2.

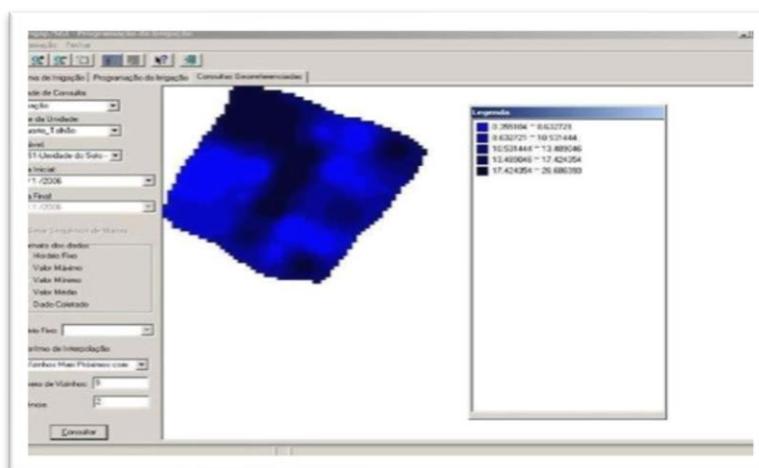
Figura 2: Resultado obtido comparando o método desenvolvido pela Gomes com gravimétrico



Fonte: Gomes, 2016, p. 43

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vem desenvolvendo vários trabalhos voltados para desenvolvimento de sensores para sistemas agrícola, desde mais simples para controlar a umidade, como exemplo do sensor Diédrico, desenvolvido pela Embrapa Instrumentação aos sensores mais complexos que utilizam a tecnologia de transmissão sem fio desenvolvido pelo professor Dr. Ladislau Marcelino Rabello e André Torre-Neto e publicado no artigo “REDES DE SENSORES SEM FIO PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO”. O projeto piloto aplicado na propriedade da Fischer S/A Agropecuária e os resultados podem ser encontrados na figura 3.

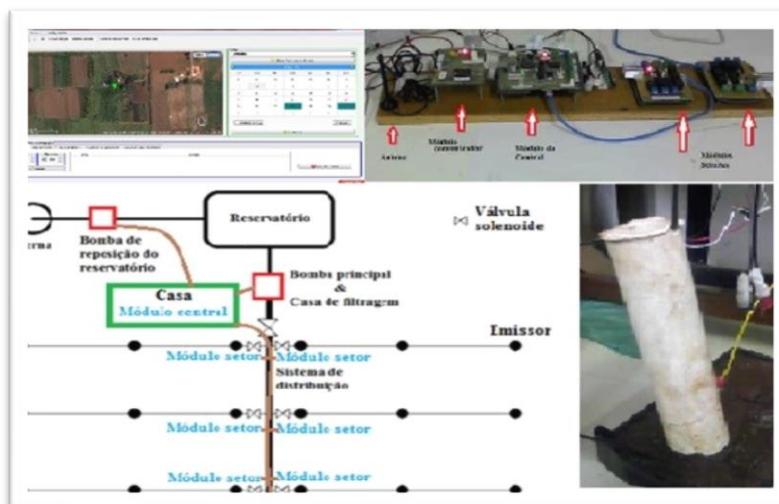
Figura 3: Mapa de umidade do solo em um momento arbitrário



Fonte: Torre Neto e Marcelino Rabello², 2007

Sem sombra de dúvida, esses sistemas foram pioneiros, porém os sensores desenvolvidos por Torre Neto, Guimarães, veem na figura 04 e Gomes medem somente a umidade do solo, excluído assim, outros parâmetros essenciais para bom desempenho e produtividade da lavoura como: sanidade, pH e luminosidade.

Figura 4: Software, Base coletora, o diagrama esquemático e o sensor de umidade desenvolvido por Vinícius no seu trabalho de conclusão de curso.



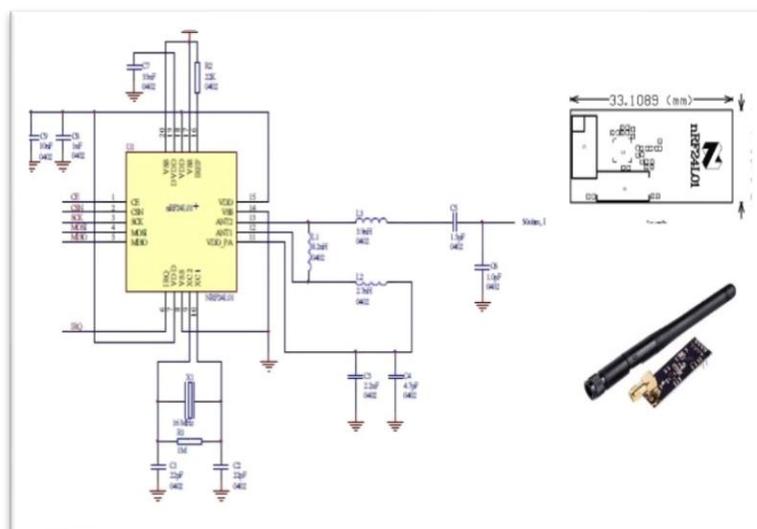
Fonte: Guimarães, 2011.

Os trabalhos citados desenvolveram sensores com intuito de controlar a umidade do solo, uma vez que ela é o fator mais impactante na produção e no custo do produto agrícola, por isso buscou-se desenvolver um sensor que não só medisse a umidade, como também outros parâmetros como: temperatura, pH, salinidade e luminosidade buscando sempre material de baixo custo e de boa eficiência.

2.2 Módulo integrado para o componente nRF24L01+

O módulo usado no projeto como base para transmissão de dados, consiste de um circuito integrado ativo nRF24L01+, produzido pela *Nordic Semiconductor* (Nordic,2016). Os módulos são encapsulados, uma antena, conectores e demais componentes passivos, tudo numa placa menor que 3.5cm de comprimento, como mostra a figura 5.

Figura 5: A Figura à esquerda é o diagrama elétrico do circuito e à direita o esquemático da placa com os componentes



Fonte: Nordic, 2017.

Único rádio transceptor que atua entre 2,4-2,5 GHz. O emissor-receptor é constituído por um sintetizador de frequência totalmente integrado, com um amplificador, um oscilador de cristal, um demodulador, modulador e um aprimorado mecanismo de protocolo *ShockBurst*. Potência de saída e canais de frequência são facilmente programais através da interfase SPI. A tabela 1 mostra as funções e as descrições de cada pino.

Tabela 1: Pinos suas funções e descrições.

Pino	Nome	Função	Descrição
1	CE	Entrada digital	Habilita e desabilita o modulo RX ou TX
2	CSN	Entrada digital	SPI Chip Select
3	SCK	Entrada digital	SPI Clock
4	MOSI	Entrada digital	Entrada de dados
5	MISO	Saída digital	Saída de dados
6	IRQ	Saída digital	Ativa interrupção
7	VDD	Alimentação	Fonte de alimentação (+ 3V DC)
8	VSS	Alimentação	Ground (0V)
9	XC2	Entrada analógica	Crystal Pino 2
10	XC1	Saída analógica	Crystal Pino 1
11	VDD-PA	Alimentação	Fonte de alimentação (+ 1.8V)
12	ANT1	RF	Interface da antena 1
13	ANT2	RF	Interface da antena 2
14	VSS	Alimentação	Ground (0V)
15	VDD	Alimentação	Fonte de alimentação (+ 3V DC)
16	IREF	Entrada analógica	Corrente de referência
17	VSS	Alimentação	Ground (0V)
18	VDD	Alimentação	Fonte de alimentação (+ 3V DC)

19	DVDD	Saída de Potência	Saída positiva de alimentação Digital
20	VSS	Alimentação	Ground (0V)

Fonte: Nordic, 2016.

A interface do módulo de rádio com o micro controlador são através de comandos pré-definidos enviados através de barramentos. A alimentação é de no máximo 3,3V, como pode-se ver na figura 6 os pinos de configuração do módulo e suas funções:

- Pino CE (Ativa o chip);
- Pinos SN, SCK, MOSI e MISO (Pinos padrão da interface SPI);
- Pino IRQ (Sinal que indica a ocorrência de três diferentes interrupções mascaráveis).

Figura 6: Pinos da modulo nRF24L01+ e suas funções.



Fonte: Brasil Sketch, 2017.

Segundo Karl e Willig (2005, apud, Miranda,2014, p.20), “as funções principais da camada física são a modulação e demodulação de dados digitais”. Para o módulo de rádio nRF24L01+ a camada física utilizada transmite os dados via ondas de rádios com modulação em frequência GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), também conhecida como modulação Gaussiana. Os impulsos passam por um filtro gaussiano antes dos impulsos entrarem no modulador, de modo a diminuir a largura espectral, como mostra a figura 7, assim a onda de rádio gerada é relativamente estreita, ideal para pequenas redes sem fio.

Figura 7: Atuação do filtro GFSK.



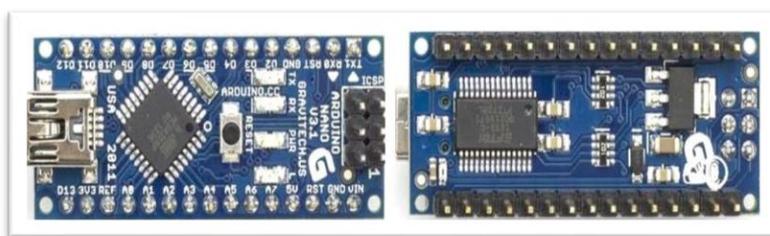
Fonte: Near Communications, 2017.

2.3 Microcontrolador arduino nano

É o microcontrolador com a versão bastante compacta que utiliza o processador Atmega 328p, o mesmo usado na plataforma do arduino uno, a alimentação recomendada oscila entre 7-12V chegando no máximo a 20V, possuem 14 pinos digitais de entradas e saídas (dos quais 6 podem ser usados como saída de PWM) e 8 pinos analógicos, cristal de 16MHz e uma memória EEPROM de 1KB, SRAM 2KB e a memória flash 16KB.

A escolha do modelo se deve pelo fato de ser compacto, ou seja, atente a condições do projeto além, é claro, de ser uma da plataforma do arduino de menor preço no mercado, portanto atende aos requisitos de redução de custo do projeto. A arduino nano pode ser visualizado na figura 8.

Figura 8:Microcontrolador arduino nano



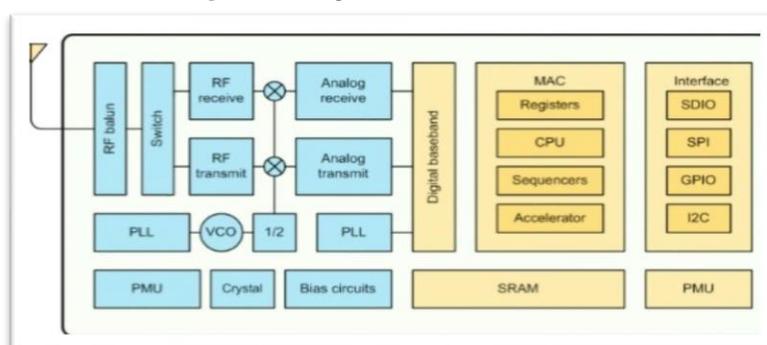
Fonte: Arduino, 2016.

2.4 Módulo Integrado ESP8266

O módulo ESP8266 oferece uma solução completa e autocontida de rede Wi-Fi, permitindo que ele hospede os aplicativos ou descarregue todas as funções de rede Wi-Fi através de outro aplicativo que possua um microprocessador.

Esse dispositivo foi originalmente criado pela Espressif, possui alto desempenho, alta interação wireless, foi desenvolvido para espaços pequenos com restrição ao de consumo de energia para plataformas móveis. Ele fornece a capacidade de incorporar Wi-Fi dentro de outros sistemas, podendo funcionar como aplicativo independente, com menor custo e com um mínimo de espaço. O diagrama de bloco do módulo pode ser observado na figura 9.

Figura 9: Diagrama do bloco ESP8266



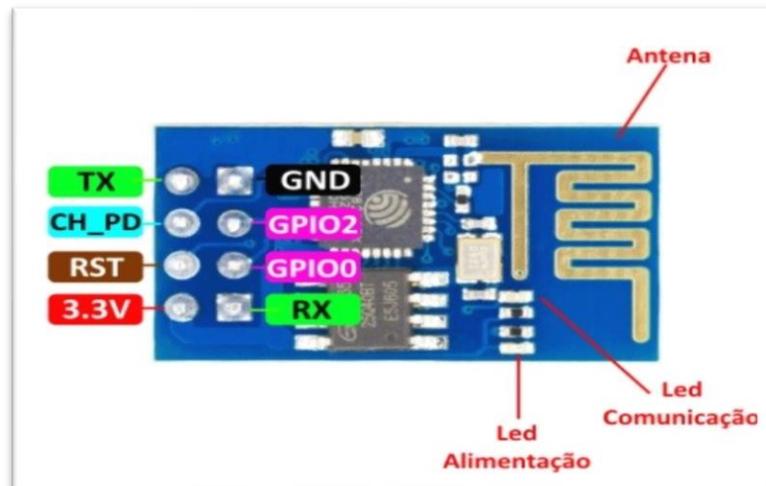
Fonte: ESPRESSIF¹⁰, 2016.

Foi projetado para funcionar em três modos de operação: o modo ativo, sono e modo de sono profundo. O ESP8266 consome menos de 12uA em modo de sono e menos de 1.0mW (DTIM = 3) ou inferior a 0,5 mW (DTIM = 10) para ficar conectado em modo de espera.

Quando em modo de sono, apenas o relógio de tempo real calibrado e *watchdog* permanece ativo. O relógio de tempo real pode ser programado para acordar o ESP8266 em qualquer intervalo desejado, outra forma é usar o comando SOCs do dispositivo ativando-o quando for necessário.

A interface do módulo de rádio com o microcontrolador são através de comandos pré-definidos enviados através de barramentos. A alimentação é de, no máximo 3,3V, pode-se observar na figura 10 os pinos de configuração do módulo e suas funções

Figura 10: Placa do módulo ESP8266



Fonte: Filipeflop, 2017.

- RX e TX (Comunicação Serial);
- GPIO0 e GPIO2 (Entrada e Saída de uso geral);
- CH-PD (Ativa ou desativa o Módulo);
- RST (Causa um reset no ESP8266).

3 Materiais e métodos

Nesta seção definirá as características dos dispositivos usados e dos meios em que eles atuam, buscando a melhor solução com o mais baixo custo.

3.1 Sensor de Temperatura NTC

Os termistores são dispositivos elétricos que têm a sua resistência elétrica alterada termicamente, isto é, apresentam um valor de resistência elétrica para cada valor de temperatura absoluta. Na figura 11 tem-se um típico sensor de temperatura NTC.

Figura 11: Sensor de temperatura NTC



Fonte: Aliexpress, 2017.

Os valores de temperatura e resistência é definido pela equação 1, conhecida como equação de Steinhart Hart.

$$\frac{1}{T} = A + B * \ln(R) + C * (\ln(R))^3 \quad (1)$$

- T: Temperatura absoluta em Kelvin;
- R: Resistencia elétrica e OHM;
- A, B e C: As constantes da equação de Steinhart Hart.

Para o projeto foi usado termistores de 10kΩ que possui os seguintes valores para as constantes: $A = 0.001129148$, $B = 0.000234125$ e $C = 0.0000000876741$. A figura 12 pode-se visualizar a resistência elétrica de um termistor em função, ão da temperatura.

Figura 12: Resistência em função da temperatura em termistor

Fonte: Mundo da elétrica, 2017.

3.2 Sensor de Luminosidade LDR

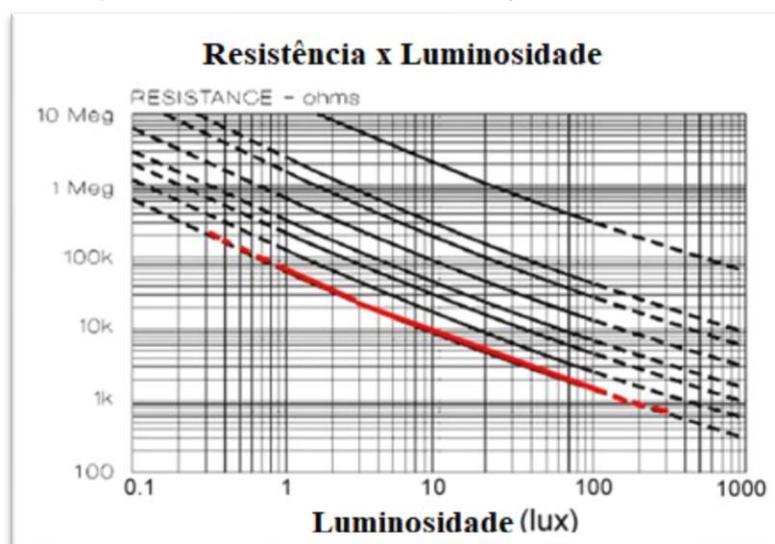
O LDR, sigla em inglês de *Light-Dependent Resistor*, que significa resistor dependente de luz. Tipicamente, quanto maior a luminosidade incidente nesse componente, menor será sua resistência. A figura 13 representa o modelo usado na construção do protótipo.

O LDR é constituído de um semicondutor de alta resistência, que ao receber uma grande quantidade de fótons oriundos da luz incidente, os elétrons do material absorvem energia, ao absorver energia eles se deslocam para órbitas mais externas, diminuindo a interação com núcleo e aumentando capacidade de se desprender do átomo, alterando as condições de condutibilidade do material. Pode-se analisar o gráfico da resistência em função da luminosidade na figura 13.

Figura 13: Sensor de luz LDR

Fonte: Instructables, 2017.

Figura 14 Gráfico da resistência em função da luminosidade



Fonte: Instructables, 2017.

Como se observa na figura 14 vê-se claramente que a resistência em função da luminosidade, forma-se uma função exponencial, assim pode-se determinar a equação que calculando a resistência em função da luminosidade. A equação 2 mostra-se a equação da exponencial que calcula a resistência em função da luminosidade.

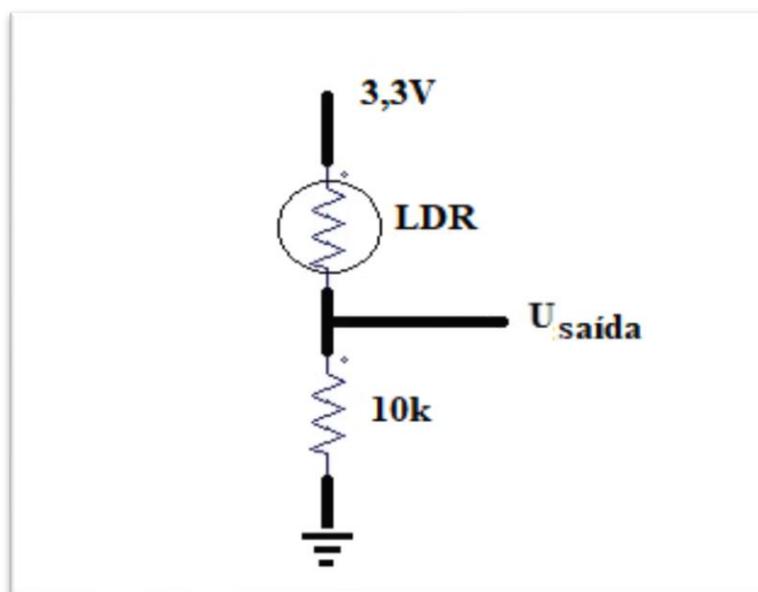
$$\log_{10}(lux) = -m \log_{10} R + b \quad (2)$$

- **R:** Resistencia em função da luminosidade;
- **lux:** Intensidade luminosa medido em lux;
- **m e b:** São constantes características de cada modelo de LDR.

Transformando a função logarítmica numa função exponencial de base 10 tem-se:

$$\begin{aligned} 10^{\log_{10}(lux)} &= 10^{m \times \log_{10}(R) + b} \\ 10^{\log_{10}(lux)} &= 10^{m \times \log_{10}(R)} \times 10^b \\ lux &= 10^b \times R^m \end{aligned} \quad (3)$$

A resistência será calculada usando como propriedade o divisor de tensão, que a partir de uma resistência conhecida pode-se determinar o valor da resistência desconhecida, como vê-se figura 15.

Figura 15: Diagrama de divisor de tensão com um LDR

Fonte: Autor, 2017.

$$I = \frac{U_{saida}}{10000} \quad (4)$$

$$U_{entrada} - U_{saida} = R * I \quad (5)$$

Substituindo a equação 4 na equação 5, tem-se:

$$R = \frac{U_{entrada} * 10000}{U_{saida}} - 10000 \quad (6)$$

De posse da equação 3 e da equação 6 pode-se implementar na programação do atmega para que o mesmo possa calcular a luminosidade em lux do ambiente onde se encontra o sensor.

3.3 Sensor de PH

Para calcular pH utilizou-se a propriedade eletroquímicas de dois metais diferentes (Chumbo e alumínio ou chumbo e inox). Utiliza-se a propriedade de oxidação-redução deste metais para produzir uma tensão proporcional ao pH do meio ao qual está inserindo o sensor.

Os elementos químicos possuem um potencial, para perder ou atrair elétrons. Este potencial é chamado de Potencial de Oxidação é medida em Volts (V). Na tabela 2 encontra os potencias dos elementos químicos mais comuns.

A equação de Nernst serve para visualizar o que efetivamente ocorre quando estamos fora das condições padrão que neste caso se encaixa nas condições do

desenvolvimento deste sensor. Como pode-se visualizar a equação 7 permite entender como o pH está relacionado com a tensão medida nos dois metais em meio aquoso.

Tabela 2: Potencial de Oxidação dos elementos químicos

Elementos Químicos	E0	Elementos Químicos	E0
Cs/Cs ⁺	+3.04V	Sn/Sn ²⁺	+0.14V
Li/Li ⁺	+3.04V	Pb/Pb ²⁺	+0.13V
Rb/Rb ⁺	+2.99V	Fe/Fe ³⁺	+0.04V
K/K ⁺	+2.92V	H ₂ /2H ⁺	0.00V
Ba/ Ba ²⁺	+2.90V	Sn ²⁺ /Sn ⁴⁺	-0.15V
Sr/Ba ²⁺	+2.89V	Bi/Bi ³⁺	-0.32V
Ca/Ca ²⁺	+2.87V	Cu/Cu ²⁺	-0.34V
Cu/Cu ²⁺	+2.71V	Cu/Cu ⁺	-0.52V
Mg/Mg ²⁺	+3.36V	2I/I ₂	-0.54V
Al/La ³⁺	+1.66V	Fe ²⁺ /Fe ³⁺	-0.77V
Mn/Mn ²⁺	+1.18V	Hg/Hg ⁺	-0.79V
Zn/Zn ²⁺	+0.76V	Ag/Ag ⁺	-0.80V
Cr/Cr ³⁺	+0.74	Hg/Hg ²⁺	-0.85V
S ₂ ⁻ /S	+0.48V	Br ⁻ /Br ₂	-1.07V
Fe/Fe ³⁺	+0.44V	2 * Cl ⁻ /Cl ₂	-1.83V
Cr ²⁺ /Cr ³⁺	+0.41V	Au/Au ³⁺	-1.42V
Cd/Cd ²⁺	+0.40V	Au/Au ⁺	-1.68V
Co/Co ²⁺	+0.28V	2Fe ⁻ /Fe ₂	-2.87V
Ni/Ni ²⁺	+0.28V	-	-

Fonte: Autor, 2016.

$$E = E^0 - \frac{R * T}{nF} * \ln(Q) \quad (7)$$

- E^0 : Potencial nas condições padrões;
- T: Temperatura em Kelvin;
- R: Constante universal dos gases: 8,31j/mol*k;
- F: Constante de Faraday: $9,65 * 10^4 \text{j/mol} * k$;
- Q: Quociente racional;
- n: Numero de elétrons envolvido nas sime-reação.

3.3.1 Equação de Nernst e pH

O sensor feito de chumbo e alumínio quando inserido em meio aquoso produz uma diferença de tensão que a partir da equação 7 pode-se obter a concentração de H^+ . O que está relacionado com Quociente racional como observa-se na equação 8.

$$Q = \frac{[H^+]^2}{[Pb^{2+}] * [Al^{3+}]} \quad (8)$$

- Pb^{2+} : Concentração Molar de íons de chumbo;
- Al^{3+} : Concentração Molar de íons de alumínio;
- H^+ : íons de hidrogênio em um meio aquoso.

A determinação do valor do pH (potencial Hidrogeniônico) é realizada por intermédio da concentração molar de hidrônios presentes no meio. Por se tratar de um valor muito pequeno determinou-se que o trabalho com os íons da solução seria realizado com o logaritmo. Como mostra a equação 9.

$$pH = -\log(H^+) \quad (9)$$

Substituindo a equação 8 na 9 tem-se a equação 10:

$$Q = \frac{[10^{-pH}]^2}{[Pb^{2+}] * [Al^{3+}]} \quad (10)$$

Substituindo a equação 7 na 10 tem-se a equação 11:

$$E = E^0 - \frac{R * T}{nF} * \ln\left(\frac{[10^{-pH}]^2}{[Pb^{2+}] * [Al^{3+}]}\right) \quad (11)$$

Para melhor analisar a equação substituir as constantes por outras variáveis da seguinte forma:

$$S = \frac{R * T}{nF}$$

$$k = E^0$$

$$y = Pb^{2+} * Al^{3+}$$

$$E = k - S * \ln\left(\frac{[10^{-pH}]^2}{y}\right) \quad (12)$$

Utilizando a propriedade logaritmo:

$$\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$$

$$E = k - S * [\ln([10^{-pH}]^2) - \ln(y)]$$

$$E = k + S * \ln(y) + S * [\ln([10^{-pH}]^2)]$$

Simplificando novamente a equação através de substituição de variável e constante, tem-se:

$$K = k + S * \ln(y)$$

$$X = \ln([10^{-pH}]^2)$$

Substituindo, tem-se:

$$E = K + S * X \quad (13)$$

Pode-se observar que a equação Nernst para este caso torna-se uma equação linear. Portanto é uma poderosa ferramenta para análise e desenvolvimento do sensor, pois a tensão cresce ou decresce linearmente com pH. Após o desenvolvimento do sensor iniciou-se a fase de teste, o princípio é bem simples para encontrar as constantes da equação da resta é necessário o conhecimento de dos valores de pH fixos, para isto utilizou-se duas soluções tampões de pH fixo, como pode-se visualizar na figura 16.

Figura 16: Solução tampão de pH.

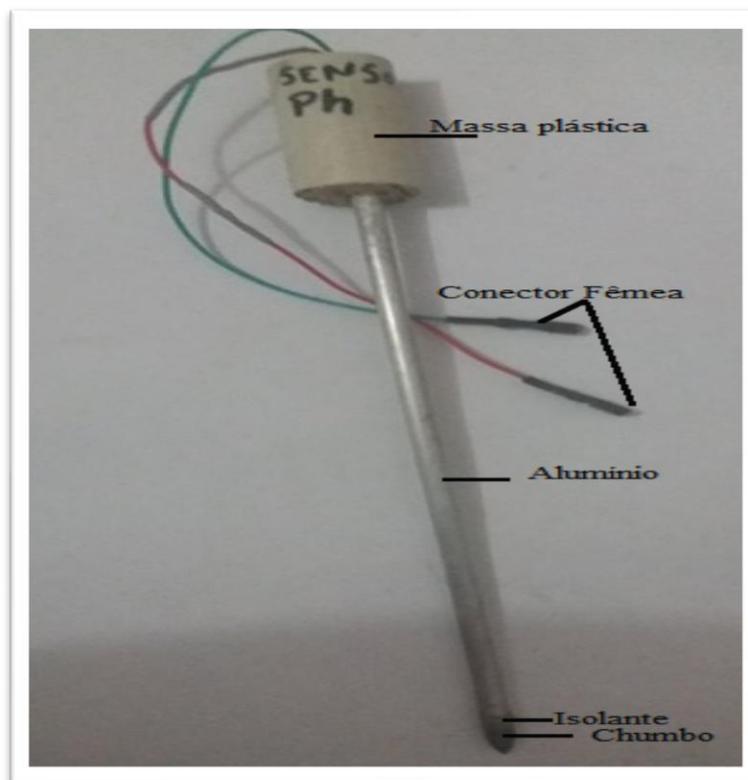


Fonte: Autor, 2017.

De posse dos dois valores conhecidos de pH iniciou-se a montagem do sistema para medir as tensões geradas pelos os tipos diferentes de pH. Após várias medições

percebeu-se que o sensor de alumínio e chumbo se mostrou mais estável, logo todos os sensores de pH utilizaram-se esses dois metais, como pode-se ver na figura 17.

Figura 17: Sensor de pH

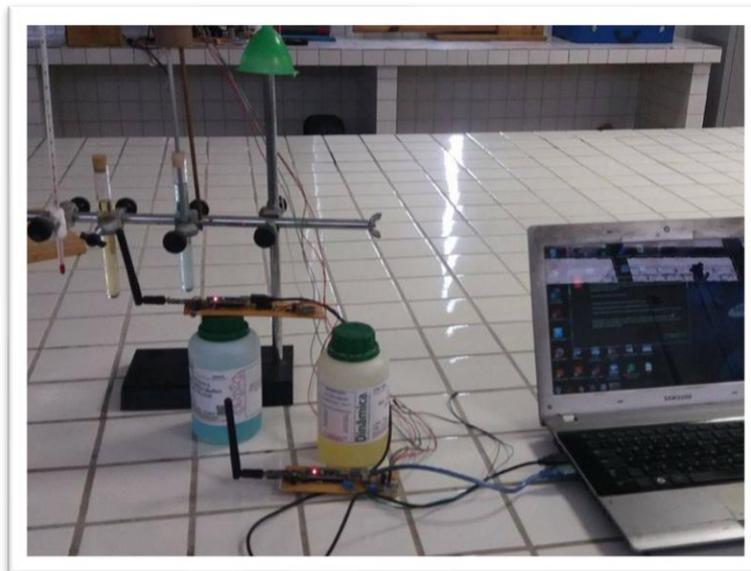


Fonte: Autor, 2017.

A massa plástica que foi fixado na parte de cima do sensor com ajuda de um molde de cano de pvc de 20mm e tem a função de isolar eletrodos e dá um melhor suporte para manuseá-lo, os conetores fêmeas foram usados para facilitar a conexão com a placa de processamento e o isolante entre o chumbo e alumínio foi usado para que fosse possível gerar diferença de potencial que será necessária para leitura do pH.

Para montar sistema de medições usou-se um suporte universal, um termômetro, turbos de ensaios e guaras. Após a montagem coloca-se a solução tampão dentro turbo de ensaio e o sensor de pH para fazer as medições, o sistema montado pode ser visualizado na figura 18.

Figura 18: Montagem sistema com os turbos de ensaios e a solução tampão



Fonte: Autor, 2017.

As leituras foram retiradas do pino analógico do atmega 328 configurado para uma resolução de 32 bits, sendo assim, o 0V corresponde aos 0 bits e 3,3V corresponde ao 1024, para facilitar os cálculos não houve a transformação para voltagem. A tabela 3 dispõe dos resultados obtidos.

Tabela 3: Leitura do pH obtido pelo sensor

pH	Tubo de ensaio 01	Tubo de ensaio 02
pH	4,00	7,00
Leitura do sensor	107,00	46,00

Fonte: Autor, 2017.

De posse dos dados da tabela 4 e da equação da reta 13 pode-se encontrar os coeficientes da mesma para que possa ser implementado no processador, como se mostra a seguir:

$$4,00 = 107a + b$$

$$7,00 = 46 + b.$$

Logo os valores de a e b são:

$$a = -0,04918$$

$$b = 9,2622.$$

Assim mantendo a equação tem-se:

$$pH = -0,04918 * (analogico(pH)) + 9,2622.$$

3.4 Sensor de Umidade

A umidade do solo é quantificada como a relação entre a massa ocupada pela água em uma amostra de solo num dado instante e a massa de sólidos da amostra. Para Libardi (2005 apud Silva,2013, p.13): “a umidade do solo é um índice básico para quantificar a água de amostras de solo e, tradicionalmente, tem sido expressa `a base de massa e `a base de volume”. Portanto pode ser medida em termos de porcentagem como mostra a equação 3.11.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (14)$$

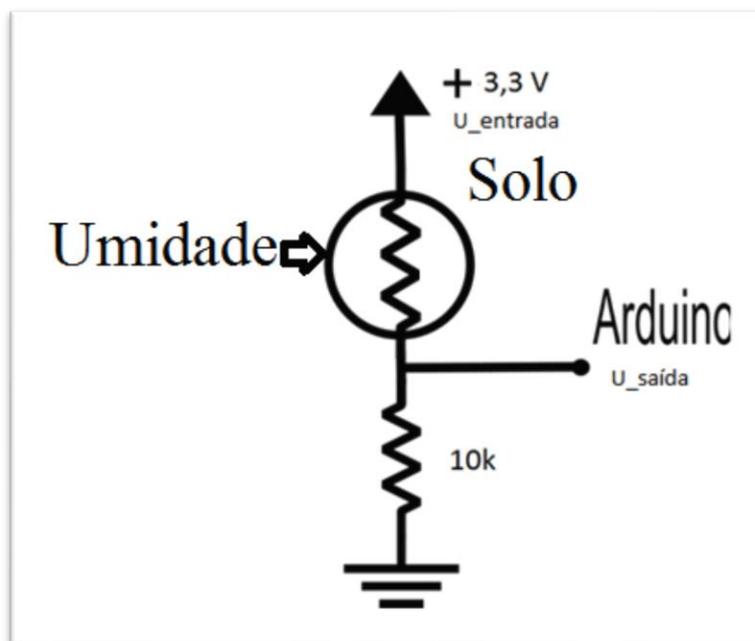
- M_u : Massa do solo úmido;
- M_s : Massa do solo seco;
- U: umidade do solo em porcentagem.

Os métodos usados para medição da umidade do solo são classificados em diretos e indiretos. O método direto é considerado um dos mais preciso, pois mede a diferença de massa de uma amostra de solo, obtida pela diferença entre o peso da amostra úmida e seca do solo. Porém, apresenta desvantagens por ser um método destrutivo e demorado, comparando-o com os métodos indiretos, segundo GILBERTO JUNIOR (2003 apud Silva,2013, p.14): “dificultando a sua aplicação nos casos em que o conhecimento da umidade do solo é exigido com maior frequência”.

Benedí e Umñoz-Carpena (2005 apud Silva,2013, p.14): classificam os métodos indiretos em “tensiométricos e volumétricos”. Dentre os métodos tensiométricos estão: bloco de gesso, sensor de dissipação de calor e psicrômetro. Porém os volumétricos são representados pelo reflectómetro no domínio do tempo TDR, reflectómetro no domínio da frequência FDR, reflectómetro no domínio da amplitude ADR, transmissão de fase e transmissão no domínio do tempo TDT. Estes métodos são usados para a obtenção do potencial matricial e o volume de água no solo.

O método indireto adotado neste trabalho utiliza a propriedade da variação de tensão a medida que a umidade do solo aumenta. A figura 19 mostras como ocorre esse processo:

Figura 19: Representação do solo como circuito elétrico em que tensão de saída é em função da umidade

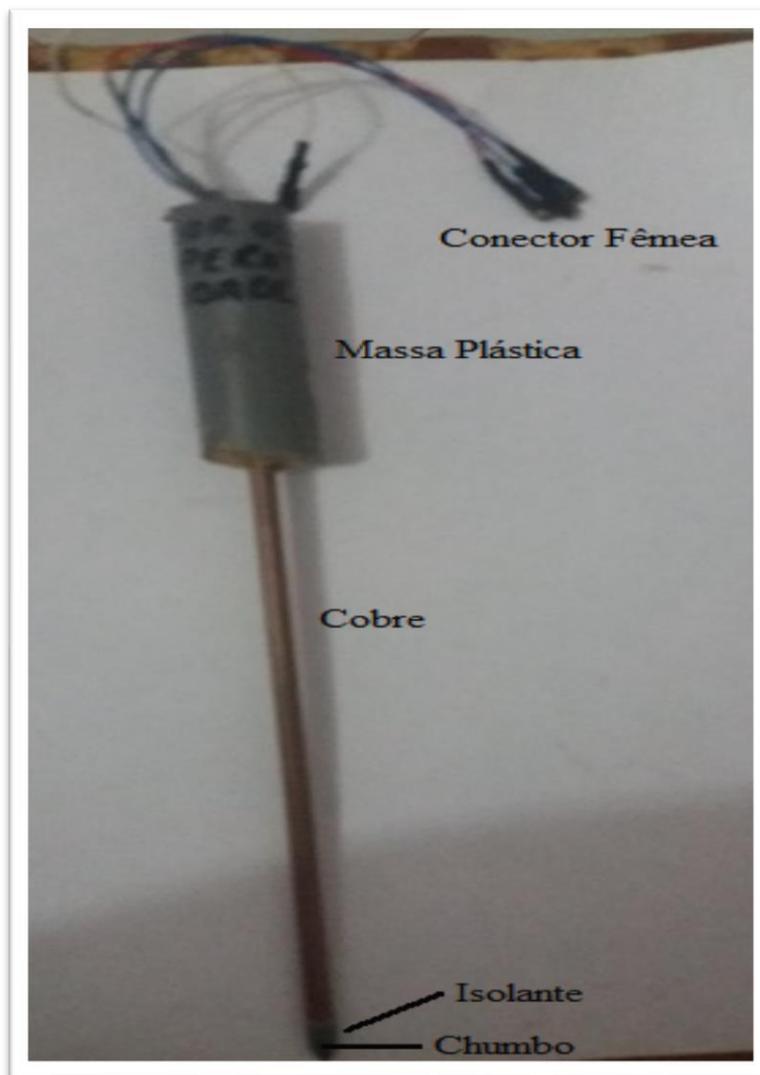


Fonte: Autor, 2017.

Considerando que a relação entre a tensão e a umidade seja linear pode-se através da equação da reta encontrar a equação da umidade em função da tensão de saída, como pode-se visualizar na equação 14.

$$U(\%) = a * U_{saída} + b \quad (15)$$

Usa-se os mesmos procedimentos adotados para construir o sensor de pH, as únicas diferenças estão no material usado, ou seja, o sensor de umidade é feito de cobre e chumbo e no fato de que o sensor de umidade abriga o sensor de temperatura. A figura 20 pode-se visualizar o sensor de umidade e temperatura.

Figura 20: Sensor de Umidade e Temperatura

Fonte: Autor, 2017.

De posse do sensor pronto pode-se inicializar a retirada da leitura do sensor, para calcular a umidade utilizou-se uma balança de precisão, os procedimentos podem ser visualizados na figura 21

Figura 21: Medição da umidade pelo método de gravimetria.

Fonte: Autor, 2017.

A umidade solo é calculada com base na medição da massa de solo seco e a partir daí vai-se acrescentando porcentagem de massa de água como mostra a figura 22, estas informações são retiradas e colocadas na tabela 4.

Tabela 4: Leitura da tensão em função da umidade

Massa de solo seco	Massa de água	Umidade (%)	Leitura do pino analógico
173g	0g	0%	28
173g	7.8g	4,508%	644
173g	18.3g	10.57%	736
173g	34,8g	20,11%	752

Fonte: Autor, 2017.

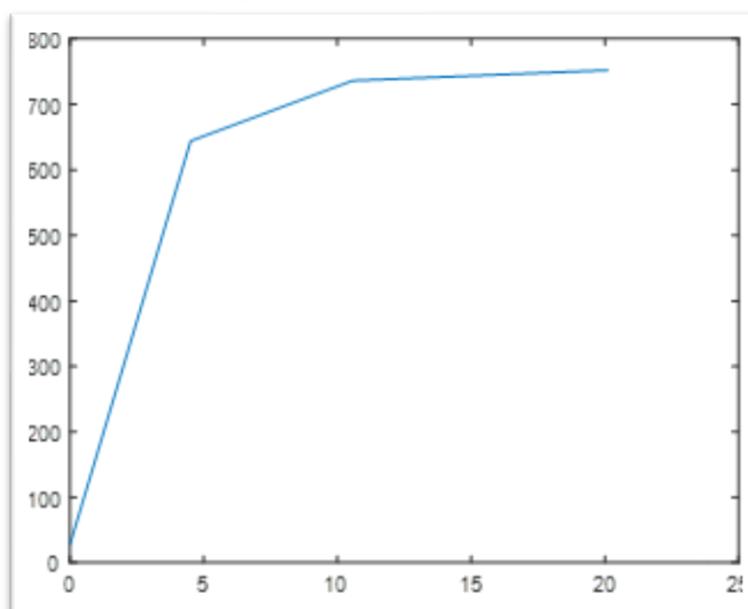
Plotando o gráfico pode-se observar que a tensão aumenta quase que exponencialmente com a umidade, devido à complexidade de se encontrar uma função exponencial que atenda as condições, dividiu-se a curva em três retas suas equações, uma de 0 até 4,508%, a outra de 4,508% a 10,57% e a outra de 10,57% a 20,11% como pode se observa no gráfico da figura 22.

$$U = 0,00731 * x - 0,204 \quad (16)$$

$$U = 0,06589 * x - 37,926 \quad (17)$$

$$U = 0,59625 * x - 428,27 \quad (18)$$

Figura 22: Gráfico da umidade do solo



Fonte: Autor, 2017.

3.5 Sensor de Salinidade

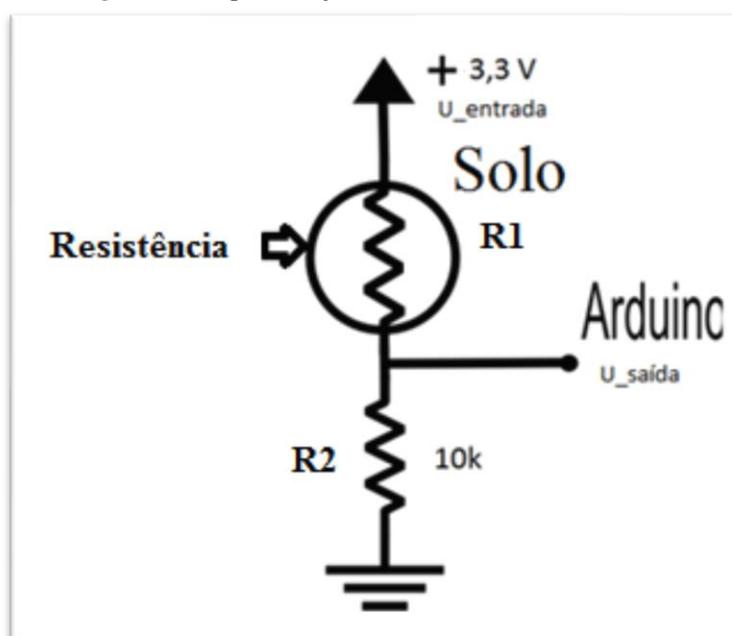
A salinização é um processo que conduz a um aumento da concentração de íons no solo devido a presença de sais solúveis (Na, Ca, Mg, K) para níveis prejudiciais às plantas, ocorre de duas maneiras: causas naturais (salinização primária) ou por manejo inadequado do solo e da água pela ação do homem (salinização secundária).

Estima-se que 19,5e2,1 (FAO, 2006). A salinidade do solo torna-se significativamente evidente em regiões de clima árido e semiárido, onde a precipitação pluvial é reduzida e mal distribuída as taxas de evapotranspiração propiciam um déficit hídrico durante quase todo o ano.

No Brasil, por possuir uma extensa área territorial, apresenta solos em condições diversas, desde os submetidos à excessiva lixiviação, até solos em que os sais se concentram em teores prejudiciais ao crescimento das plantas. Destaca-se nestas condições o Sertão Nordestino, abrangendo também outras áreas, como alguns locais na Região Amazônica e no Norte de Minas Gerais.

A salinidade pode ser medida através da potenciometria do solo, aplica-se uma tensão entre dois eletrodos e medindo-se a corrente elétrica pode-se calcular a resistência do solo e através de um divisor de tensão como que pode ser visualizado na figura 23 pode-se encontrar a equação 19.

Figura 23: Representação do solo como uma resistência



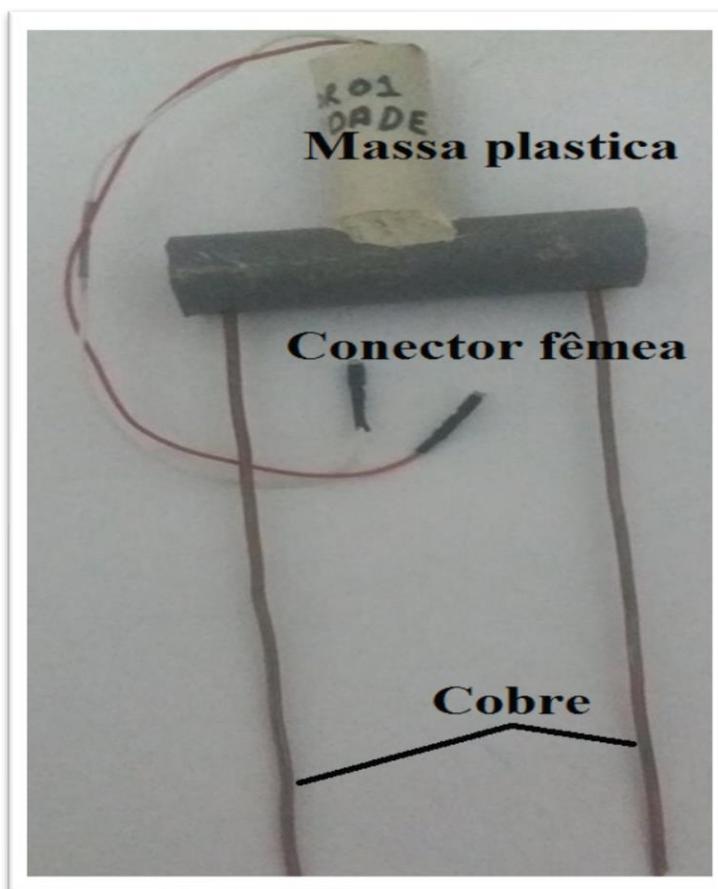
Fonte: Autor, 2017.

$$R = \frac{3,3 * 10k - 10k * U_{saída}}{U_{saída} * L} \quad (19)$$

- R_1 : Resistência do solo $\frac{\Omega}{cm}$;
- L : Distância entre os dois eletrodos.
- R_2 : Resistências do divisor de tensão de $10k\Omega$;

Para produzir o sensor de resistência utilizou-se um cano de pvc de 10cm que foi serrado no meio e fez-se dois furos a 7m de distância um do outro para colocar os dois eletrodos de cobre que em seguida revestiu-se de massa plástica como mostra a figura 24.

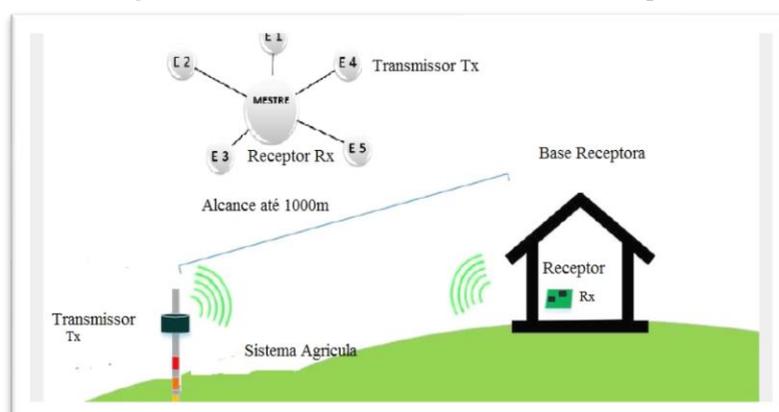
Figura 24: Sensor de resistência do solo



Fonte: Autor, 2017

3.6 Desenvolvimento do hardware

Existe basicamente dois tipos de *hardware*, o primeiro possui a função de receber os dados de todos outros sensores, atuando como mestre, determinando com quem deve-se comunicar por vez. Já segundo *hardware* foi desenvolvido para retirar os parâmetros do solo processar e enviar para o primeiro *hardware* (base receptora) e está configurado como escravo. Atuação de cada hardware é visualizado na figura 25.

Figura 25: Hardware transmissor e hardware receptor

Fonte: Autor, 2017.

3.7 Desenvolvimento do sensor de transmissão dos parâmetros do solo agrícola

O primeiro passo, foi elaborado, uma tabela com os materiais a serem utilizados durante a execução do protótipo com o preço individual e total dos equipamentos, como pode-se visualizar na tabela 5

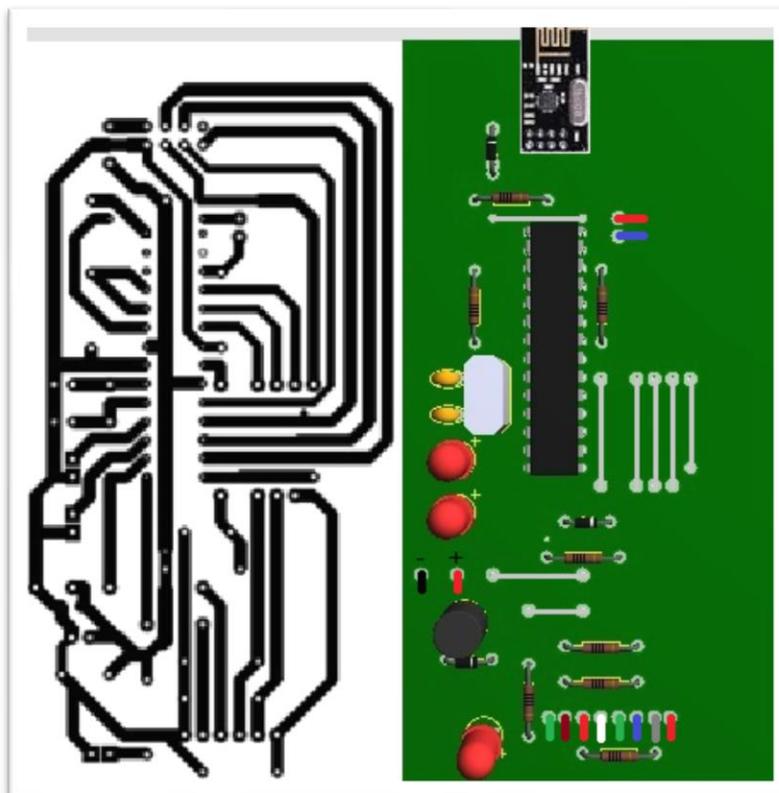
Tabela 5 Lista de componentes e preços transmissor.

Equipamento	Quantidade	Preço individual	Preço Total
Transdutor nRF24L01P+	4	24,00	96,00
Cristal de 21Mhz	4	2,00	8,00
LEDs	12	1,00	12,00
Resistores 10kΩ	24	0.10	4,10
Resistores 330Ω	6	0.10	0.60
Capacitor eletrolítico	6	1,00	6,00
Diodo Zener	8	1,00	8,00
Capacitor de poliéster	10	1,00	10,00
Solda	3m	1,00	3,00
Atmega 328p	4	5,00	20,00
Fios	30m	0.30	9,00
Conector (M/F) para fios	31	2,00	64,00
Soquetes para atmega	4	2,00	8,00
Fenolite	3	8,00	24,00
Percloroeto de ferro	1	14,00	14,00
Caixa de passagem	4	10,00	40,00
Bateria	4	-	Sucatas
Diodo (1n4007)	4	1.50	6,00
Chave L/D	4	2,00	8,00
LDRs	4	4,00	16,00
Custo total das 4 bases transmissoras			360,70R\$

Fonte: Autor,2017.

Após a compra dos materiais necessários pode-se dar início aos processos necessários para construção do protótipo. Várias foram as etapas até o processo final do protótipo e todas serão descritas. Para confeccionar as trilhas utiliza-se o Proteus 7.1, um programa de simulação de circuitos elétricos para confecção de trilhas e simulação projetos de circuitos elétricos. A figura 26 pode-se visualizar as trilhas do circuito da base transmissora e os seus componentes.

Figura 26: Circuito elétrico da base transmissora



Fonte: Autor,2017

A escolha do rádio nrf24l01 e do Atmega 328p, levou-se em consideração ao que já foi dito antes, as características e propriedades deste já foram apresentadas no capítulo 2.

O diodo D 01 tem a função diminuir a tensão, uma vez que o rádio nrf24l01 é alimentado com 3,3V e a bateria usada é de 3.9V evitando assim um controlador de tensão, pois sabe-se que, o controlador de tensão dissipa muita energia.

O resistor 01 tem a função de limitar corrente no pino 01 do atmega 328p (RESET) que deve sempre estar com a tensão de operação do atmega para o mesmo funcionar em condições normais, ao retirar a tensão o atmega dá um RESET, ou seja, o atmega será reiniciado.

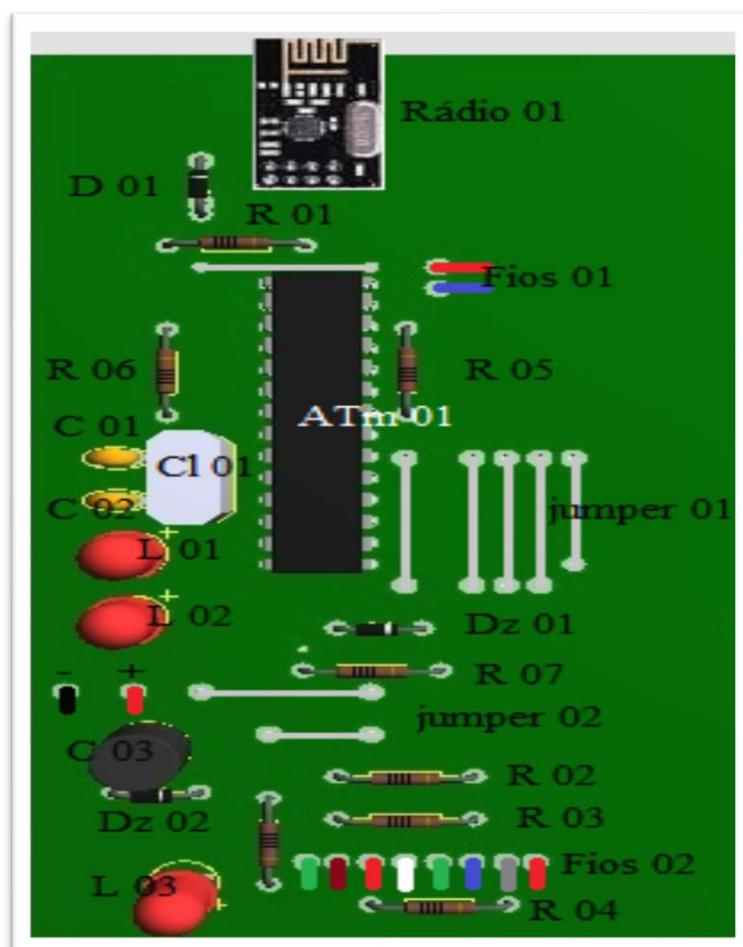
Os resistores 02, 03, 04, 05 e 06 foram utilizados na configuração de visor de tensão para facilitar a leitura das tensões que vem dos sensores que será lido pelos pinos analógicos do atmega 328.

Os Leds servem para identificar os estados de funcionamento do hardware, o Led 03 ligado indica que o sistema está ligado e resistor ao seu lado é $330\ \Omega$ é usado para limitar a corrente e proteger o Led, o Led 02 ligado indica que o sistema está esperando que a base receptora envie o canal para que entre no modo normal de operação e o Led 01 indica que hardware está no modo de envio dos dados para base receptora.

O diodo zener 01 e resistor 07 ($1K\Omega$) é usado para limitar a tensão em 3,3V no pino de referência do atmega, este pino tem função gera uma tensão de comparação para entradas e saídas de tensão dos pinos analógicos, a escolha de 3.3 V é para evitar que o decaimento da tensão da bateria à medida que descarregue influencie nas medições dos sensores, já o resistor 07 é usado para limitar a corrente no diodo zener.

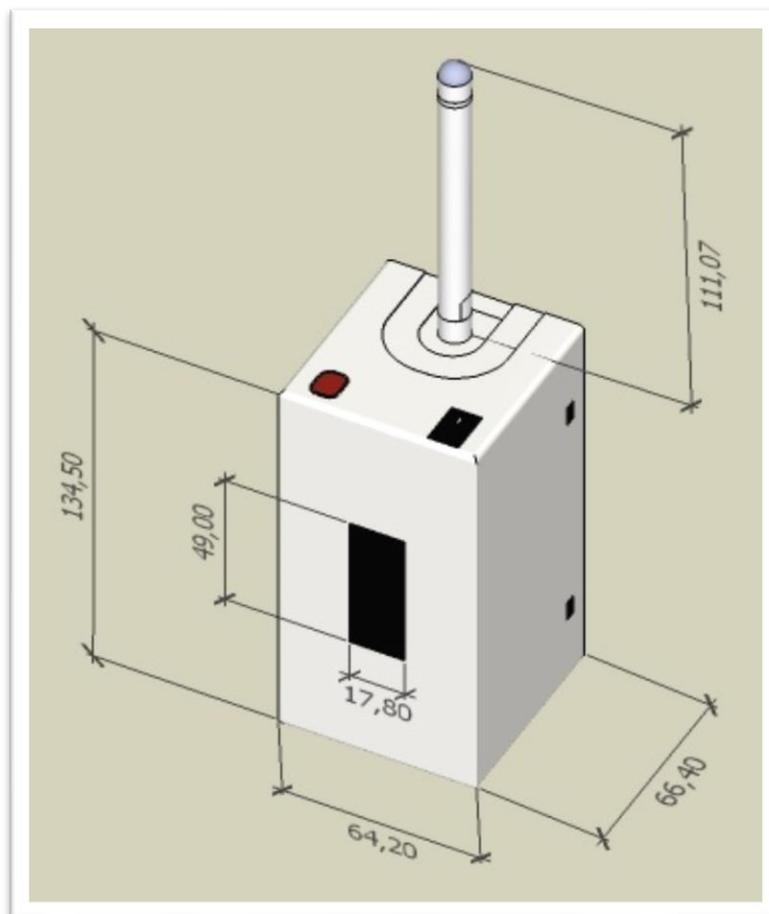
A utilização do clock de 21MHz se deu pelo fato de ser único cristal mais próximo de 16MHz utilizado na plataforma arduino que se tinha disponível, já os capacitores 01 e 02 têm função de eliminar possíveis ruídos que venha prejudicar operação normal do sinal gerado pelo cristal, o circuito completo desenvolvido no *Proteus* encontra-se na figura 27.

Figura 27: Placa com a enumeração de cada componente.



O capacitor 03 possui a função de melhorar a tensão da bateria e o diodo zener tem a função de limitar a tensão vinda da fonte, protegendo assim, o atmega de uma sobre tensão. Os *jampers* deixa a placa mais compacta e fios utilizados conecta os sensores ao processador. A montagem completa e as dimensões do protótipo estão disponíveis na figura 28.

Figura 28: Representação completa do protótipo

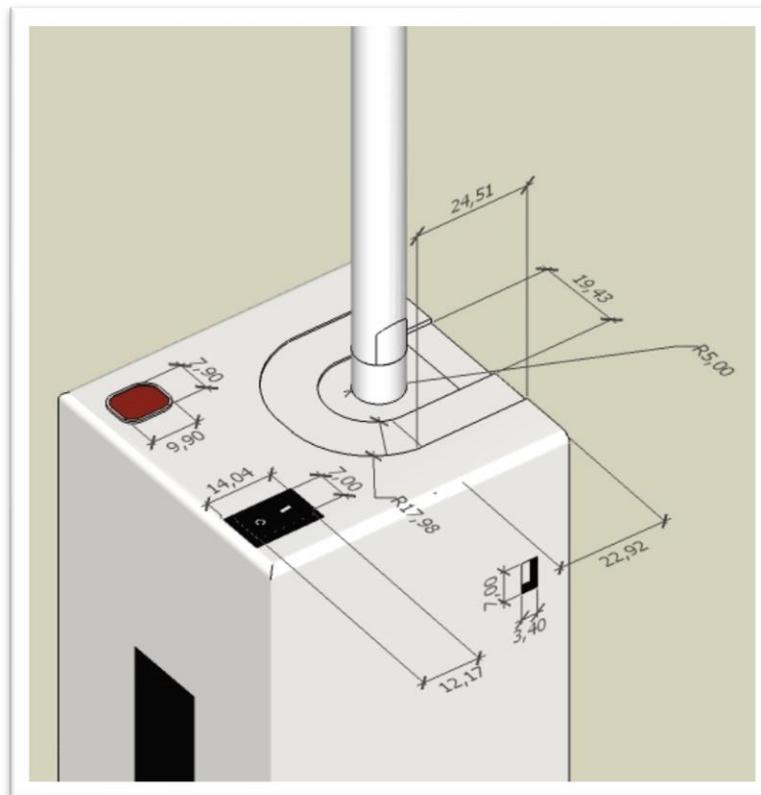


Fonte: Autor,2017

A chave liga e deliga está conectada na parte superior da caixa plástica que protege o sistema como pode ser visto na figura 29. O sensor de luminosidade (LDR) também está conectado parte superior em uma região que não deve ser afetado por sombra para não interferir nos resultados obtidos.

A bateria é de lítio e possui uma tensão de 3.9V quando está carregada e uma durabilidade de 3400mAh o que dá uma boa autonomia ao sistema.

Figura 29: Representação completa do protótipo detalhando o sensor de luminosidade.



Fonte: Autor,2017

A caixa de plástico que abriga o sensor é facilmente encontrada em lojas de construção e é conhecida como caixa de passagem para um disjuntor, a utilização se deu pela dificuldade de se encontrar caixa de plásticos para proteger circuitos elétricos, esta foi a escolha mais fácil e econômica para o projeto.

3.8 Desenvolvimento da base receptora

Seguindo os passos descrição anterior elaborou-se uma tabela com os materiais a serem utilizados durante a execução do protótipo com o preço individual e total dos equipamentos, como pode-se visualizar na tabela 6.

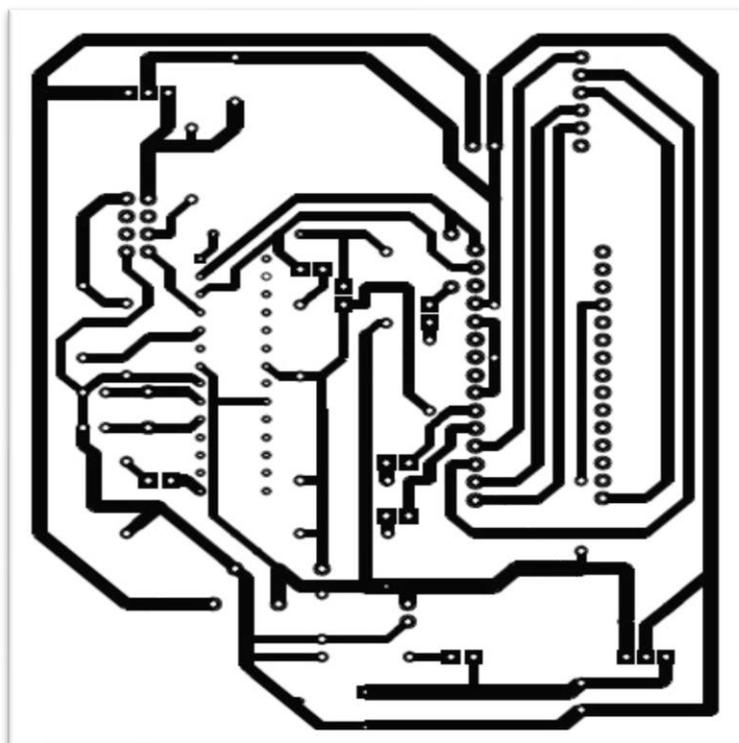
Tabela 6: Lista de componentes e preços do receptor

Equipamento	Quantidade	Preço individual	Preço Total
Transdutor nRF24L01P+	1	24,00	24,00
Cristal de 16Mhz	4	2,00	2,00
LEDs	6	1,00	6,00
Resistores 10k Ω	2	0,10	0,20
Resistores 100 Ω	6	0,10	0,6
Capacitor eletrolítico	1	1,00	1,00
Diodo Zener	3	1,00	3,00
Capacitor de poliéster	2	1,00	2,00
Solda	3m	1,00	3,00
Atmega 328p	1	5,00	5,00
Conector (M/F) para fios	31	2,00	64,00
Soquetes para atmega	1	2,00	2,00
Fenolite	3	8,00	24,00
Percloroeto de ferro	1	14,00	14,00
Chave L/D	4	2,00	8,00
LDRs	4	4,00	16,00
Arduino nano	1	21,00	21,00
Botão de pressão	1	1,00	1,00
LM 7805	1	2,00	2,00
LM 2950	1	1,00	1,00
Dissipador de calor	1	-	Sucata
Adaptador para nRF24L01P+	1	10,00	10,00
-	-	Total	209,80

Fonte: Autor,2017.

De posse dos materiais necessárias pode-se dar início a construção do protótipo. Várias foram as etapas até o processo e todas serão descritas. Utiliza-se *Proteus 7.1*, confeccionar as trilhas da base receptora, como pode-se visualizar na figura 30.

Figura 30: Circuito elétrico da base receptora



Fonte: Autor,2017

Após a elaboração das trilhas no *Proteus* segue-se os mesmos procedimentos da construção do hardware da base transmissora, por isso, será necessário repetir o mesmo procedimento, porem será explicado o porquê da utilização de cada componente que compõem a placa receptora.

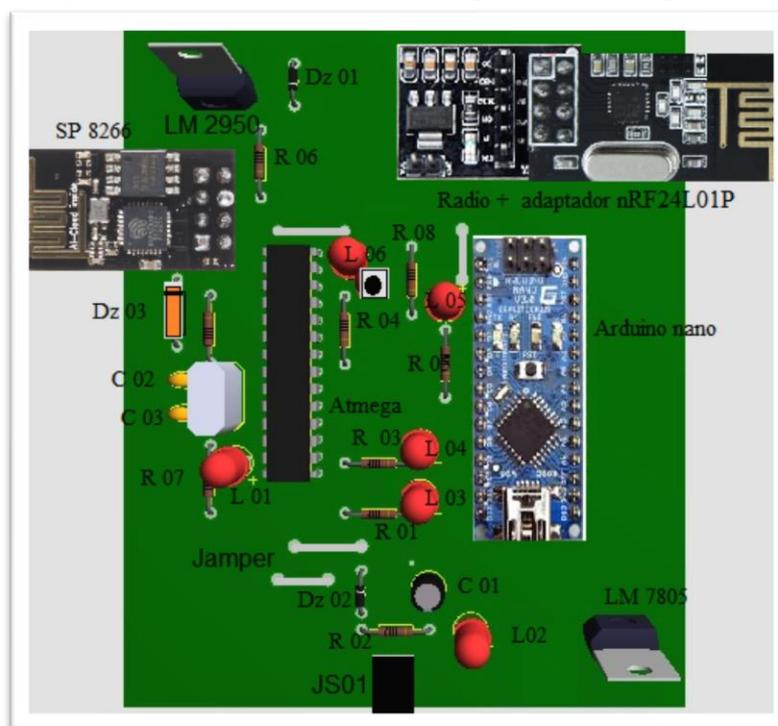
A escolha do arduino nano deve-se ao fato ser um equipamento compacto que possui próprio drive para gravar o programa de operação e também por possuir um custo razoável o que atendeu as condições de desenvolvimento do projeto.

Optou-se por utilizar o rádio nRf24L01P mais o adaptador, pois evita possibilidade de mal contados nas trilhas, além é claro do adaptador possuir um próprio regulador de tensão e de um capacitor que é utilizado para dá uma maior estabilidade quando radio está transmitindo.

Os controladores de tensão (LM 7805 e LM 2950) tem a função de reduzir a tensão da fonte 12 para 5V e 3,3 V, necessita-se de duas tensões porque o arduino nano e atmega são alimentados com 5V, já o Rádio e módulo de internet SP 8266 são alimentados com 3,3V. Os LEDs serve para indicar os principais estados de funcionamento da placa receptora e os resistores são usados para proteger os LEDs .

O Zener Dz 01 limita a tensão em 5V e tem a função de proteger o arduino não e atmega 328 e os zener Dz02 e Dz 03 é usado para limitar as tensões 3,3V é usado para proteger o modulo ESP 8266 e o rádio nRF24L01P. O botão de pressão é usado para RESET do atmega. Figura 31 mostra os componentes básicos da placa receptora.

Figura 31: Circuito elétrico da base receptora com os componentes



Fonte: Autor,2017

3.9 Desenvolvimento do software

Nesta seção será detalhada a construção do software, desde simples comunicação entre dois transceptores ao elaborado sistema de detecção de ruído e escolha de canal. Toda a programação foi feita na plataforma arduino, plataforma de desenvolvimento totalmente gratuita disponível na *web*, também foram necessárias algumas bibliotecas que serão apresentadas neste capítulo.

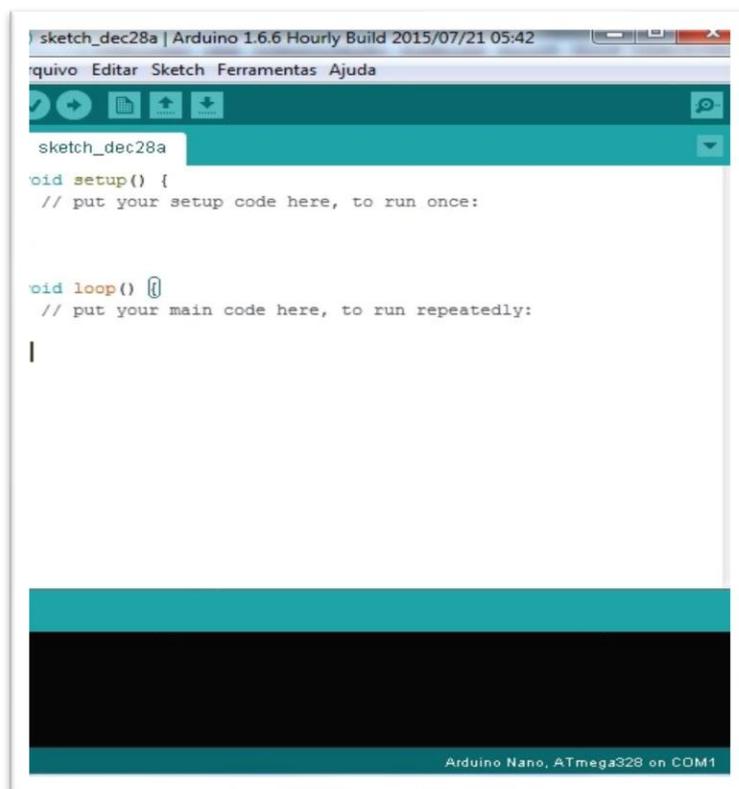
3.10 IDE Arduino

A plataforma Arduino foi criada na Itália em 2005 para o desenvolvimento eletrônico utilizando prototipagem de hardware livre e de placa única. Projetada utilizando um micro controlador Atmel AVR com suporte de entrada / saída embutido e uma linguagem de programação padrão a qual tem origem em Wiring, é essencialmente um compilador gcc (C e C++) com interface gráfica em Java. Criada para disponibilizar um conjunto de ferramentas acessíveis e de baixo custo, flexíveis e fáceis de usar por artistas e amadores.

O ambiente de desenvolvimento integrado usado possui a versão 1.6.6 e pode ser adquirida por download gratuito no site (www.arduino.cc), onde também se consegue demais

informações, sendo muito simples de usar e de entender as bibliotecas que podem ser facilmente encontradas na Internet. A Figura 32 mostra a IDE de programação Arduino utilizado.

Figura 32: Interface de Desenvolvimento Arduino IDE.



Fonte:(www.arduino.cc), 2017.

3.11 Bibliotecas padrões para desenvolvimento software

3.11.1 Biblioteca RF24

A biblioteca RF24 segundo Colez (2012 apud Streit Giareta,2014, p. 12) é um driver para o transceptor nRF24L01+ desenvolvido especialmente para a plataforma arduino. Conforme Urdiain (2012 apud Streit Giareta,2014, p. 12) esta biblioteca é responsável por fornecer uma interface para funções implementadas pelo hardware deste dispositivo, de camada física e principalmente de camada de enlace, incluído o protocolo *Enhanced Shockburst*. A biblioteca dispensa a necessidade de acessar diretamente os registradores do transceptor. Este software é distribuído de forma livre sob os termos da *GNU Public License* Versão 2. Os softwares desenvolvidos neste projeto usam como base esta biblioteca.

3.11.2 Biblioteca SPI

A biblioteca SPI foi desenvolvida para a plataforma Arduino. Interface Periférica Serial (SPI) é um protocolo de dados em série síncrono usado por microcontroladores para comunicação rápida com um ou mais dispositivos periféricos em distâncias curtas. Ele também pode ser usado para comunicação entre dois microcontroladores. Distribuído de forma gratuita de acordo com termos de sua licença. Adquirida gratuitamente, pois faz parte das bibliotecas disponíveis quando se baixa a plataforma arduino disponível gratuito no site (www.arduino.cc).

3.11.3 Biblioteca NRF24L01.h

A biblioteca 'NRF24L01.h' foi projetada para ser usada em conjunto com uma plataforma Arduino ou diretamente em um micro controlador AVR, para este trabalho foi utilizado o micro controlador AVR Atmega 328p. Ela contém códigos e dados auxiliares, que provém serviços a programas independentes, o que permite o compartilhamento e a alteração de código e dados de forma modular. Outro aspecto importante é a inclusão de compilador na própria IDE, que executa a gravação diretamente no micro controlador com a utilização de um cabo USB.

3.11.4 Comunicação entre dois transceptores nRF24L01P

O primeiro programa tem como função enviar a leitura de tensão de um potenciômetro ligado na porta analógico do arduino nano para outro transceptor configurado como receptor. A tabela 7 irá explicar algumas funções básicas que compõem a biblioteca RF24.

Tabela 7: Funções básicas da biblioteca RF24

Número	Função	Descrição
1	<i>constuint64,pipe = 0xE14BC8F482LL</i>	Define o endereço entre os módulos.
2	radio.begin()	Inicializa a comunicação.
3	radio.setChannel(X)	Configura para o canal X.
4	radio.openReadingPipe(1,pipe)	Entra em modo de recepção.
5	radio.openReadingPipe(pipe)	Entra em modo de transmissão.
6	radio.startListening()	Inicia o modo de escuta.
7	radio.stoptListening()	Desliga o modo de escuta.
8	radio.available()	Verifica se ha´ sinal de rádio.
9	radio.read(Variavel, sizeof(Tipo))	Lê a informação recebida.
10	radio.write(Variavel, sizeof(Tipo))	Envia a informação armazenada.
11	moduloRF.setPayloadSize()	Define o número de bytes transmitidos.
12	moduloRF.Powerdown()	Define o modo de baixo consumo.
13	moduloRF.DataRate()	Define os valores de transmissão.
14	moduloRF.TransmitPower()	Define a potência Irradiada.
17	moduloRF.available ()	Testar se há bytes disponíveis.

Fonte: Autor, 2017.

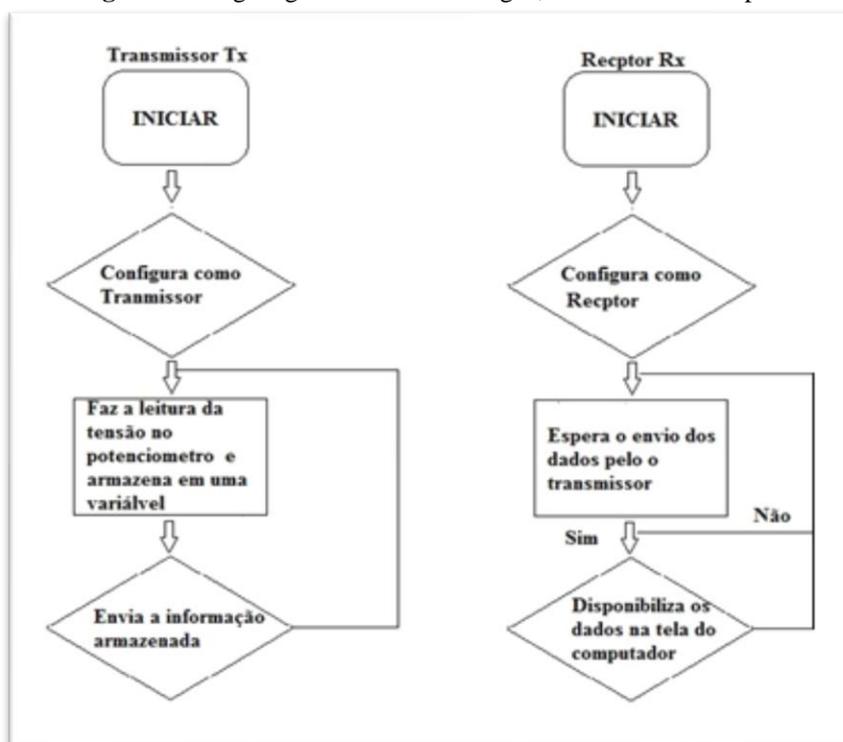
3.12 Análise de ruído nos canais com um programa exemplo da biblioteca RF24

O rádio nRF24L01+ foi projetado para operar na banda ISM de frequência livre de 2.4GHz, utilizando até 128 canais, afim de evitar interferência entre os canais o fabricante determinou um intervalo mínimo para cada canal, que garanta a não sobreposição com os sinais de outros canais. A banda ISM de frequência livre, sendo assim é compartilhada por diversos outros componentes presentes no ambiente. Esta banda disponível é limitada, compartilhada e pode variar muito devido ao desvanecimento do sinal associado ao ruído e as interferências do ambiente.

Com intuito de analisar os possíveis canais ruidosos no meio físico em que os rádios irão se comunicar a biblioteca RF24 disponibiliza um programa exemplo que pode

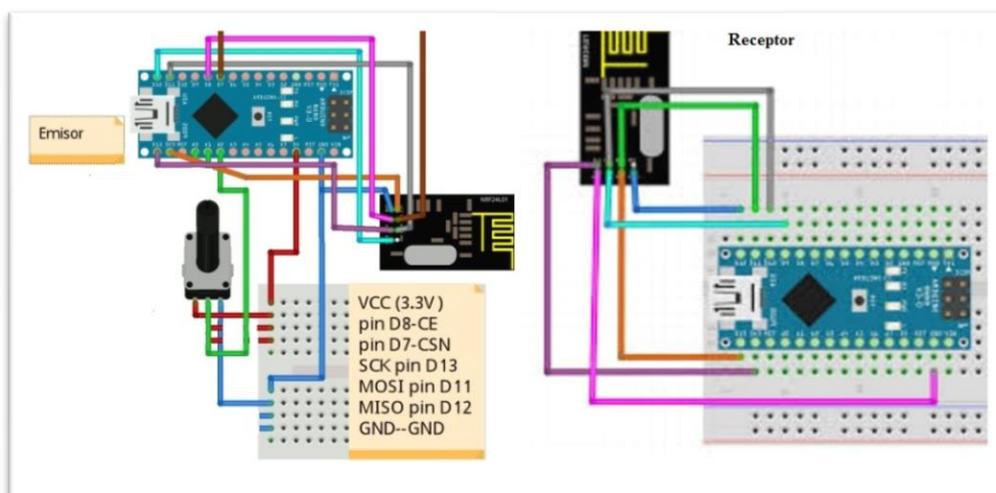
ser acessado no IDE Arduino. Este programa analisa todos os canais e imprime na tela do computador todos os canais, aqueles que abaixo do número do canal conte o número zero é porque o canal não tem ruído maior que zero o canal apresenta ruído. A figura 33 mostra o organograma deste código exemplo disponível na biblioteca e a figura 34 mostra o projeto elaborado no protoboard.

Figura 33: Organograma dos dois códigos, transmissor e receptor



Fonte: Autor, 2017.

Figura 34: Circuito do transmissor e receptor

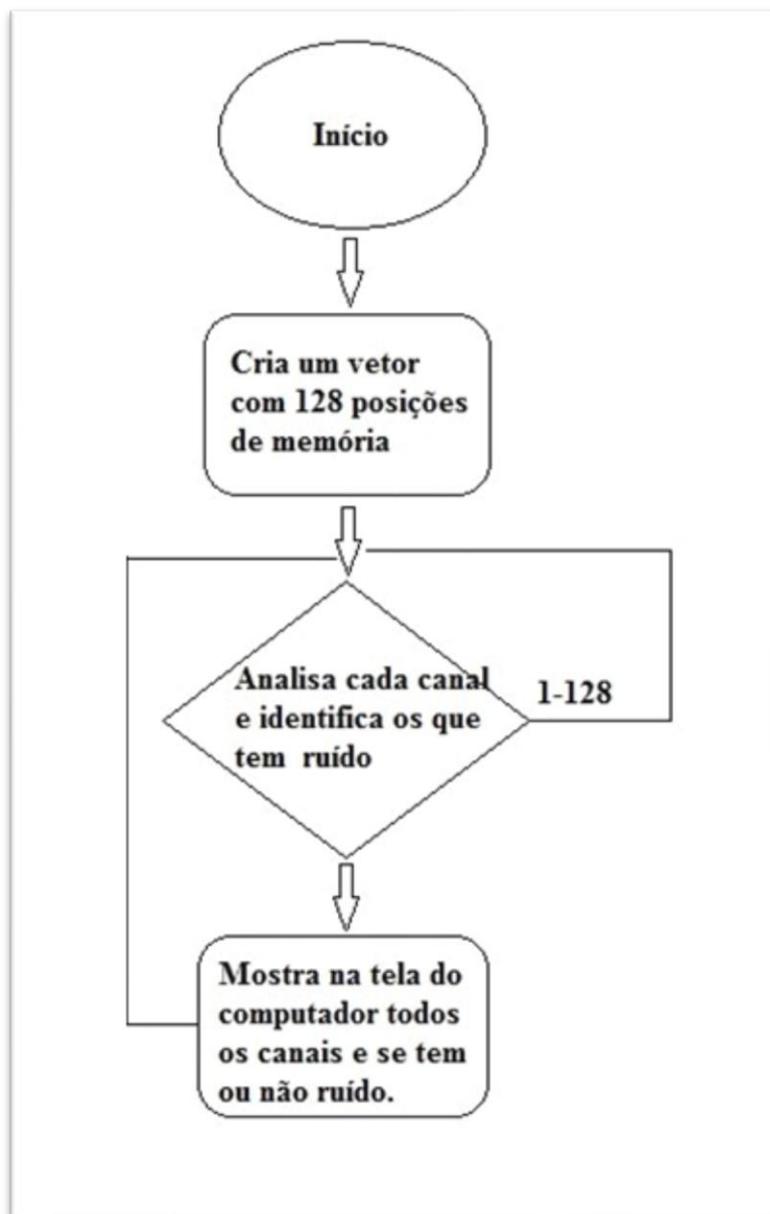


Fonte: Autor, 2017.

3.12.1 Programa que analisa os canais e escolhe o que não possui ruído

Baseado no programa exemplo disponível na biblioteca RF24 desenvolveu-se um programa que escolhe aleatoriamente um canal e pelo certo número de ciclo analise o canal se encontrar um ruído ele escolhe aleatoriamente outro canal, repetindo o mesmo procedimento até escolher o canal se ruído. O organograma da figura 35 contém o código do algoritmo.

Figura 35: Organograma do exemplo da biblioteca RF24 que analisa ruído nos canais

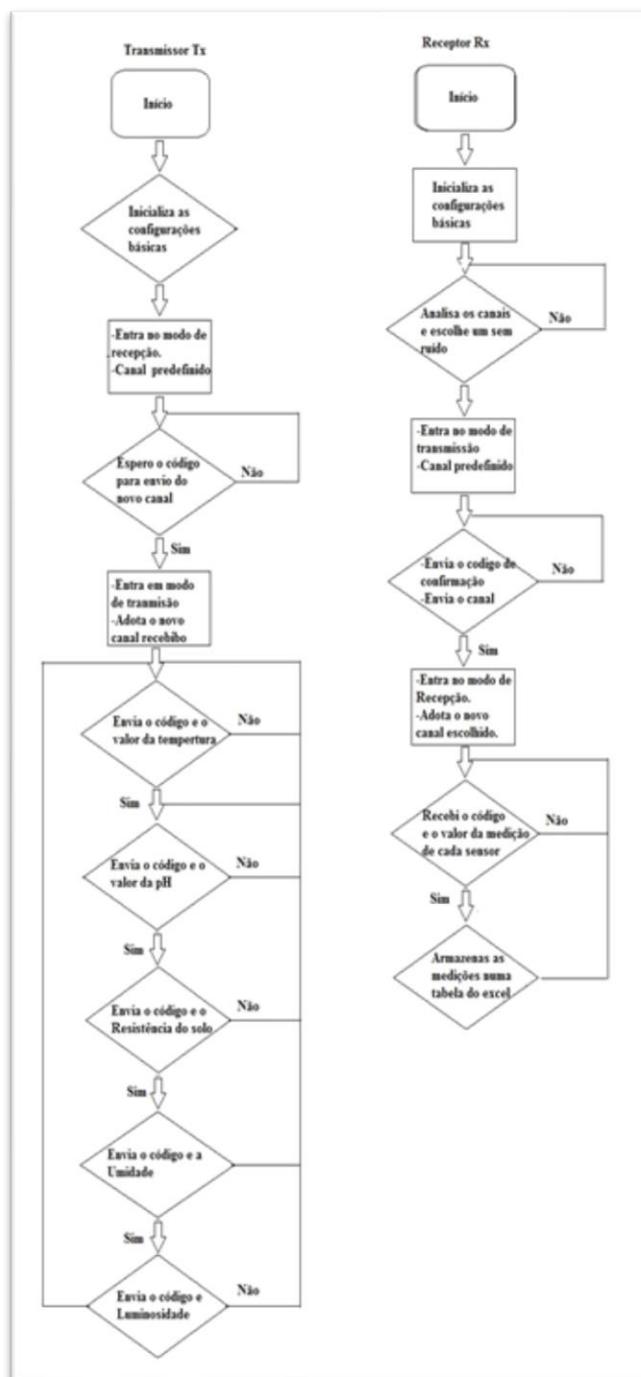


Fonte: Autor, 2017.

3.13 Algoritmo que envia e outro que recebi parâmetros do solo e armazena numa tabela Excel

Os programas até então descrito foram usados como base para se produzir o algoritmo que envia e outro que recebe os parâmetros do solo, por se tratar de um ambiente dinâmico o algoritmo se ajusta escolhendo o canal com menor ruído possível. O organograma dos dois algoritmos e tabela de armazenamentos de dados Excel pode-se ser visualizado nas figuras 36 e 37.

Figura 36: Organograma dos algoritmos do sensor.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 37: Tabela dos dados medidos pelo sensor

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Hora	Tipo	valor	Medida	linha			
2	20:53:30	Temperatura	28,97	C	1			
3	20:53:40	Ph	8,27	ph	2			
4	20:53:52	Salinidade	10482351	Ohm/m	3			
5	20:54:04	Umidade	56,01	%	4			
6	20:54:14	Luminosidade	9685,18	Lux	5			
7	20:54:35	Ph	6,65	ph	6			
8	20:54:47	Salinidade	10482351	Ohm/m	7			
9	20:55:20	Temperatura	28,97	C	8			
10	20:55:42	Salinidade	10482351	Ohm/m	9			
11	20:55:54	Umidade	56,01	%	10			
12	20:56:04	Luminosidade	9761,66	Lux	11			
13	20:56:15	Temperatura	28,97	C	12			
14	20:56:37	Salinidade	10482351	Ohm/m	13			
15	20:57:21	Ph	4,92	ph	14			
16	20:57:32	Salinidade	10471589	Ohm/m	15			
17	20:57:44	Umidade	54,82	%	16			
18	20:57:54	Luminosidade	9760,63	Lux	17			
19	20:58:16	Ph	4,58	ph	18			
20	20:58:27	Salinidade	10528607	Ohm/m	19			
21	20:58:39	Umidade	54,82	%	20			
22	20:59:00	Temperatura	28,97	C	21			
23	21:00:00	Salinidade	10528607	Ohm/m	22			
24	21:00:00	Umidade	54,82	%	23			
25	21:00:00	Luminosidade	9760,07	Lux	24			
26	21:00:00	Temperatura	29,06	C	25			
27					26			

Fonte: Autor, 2017.

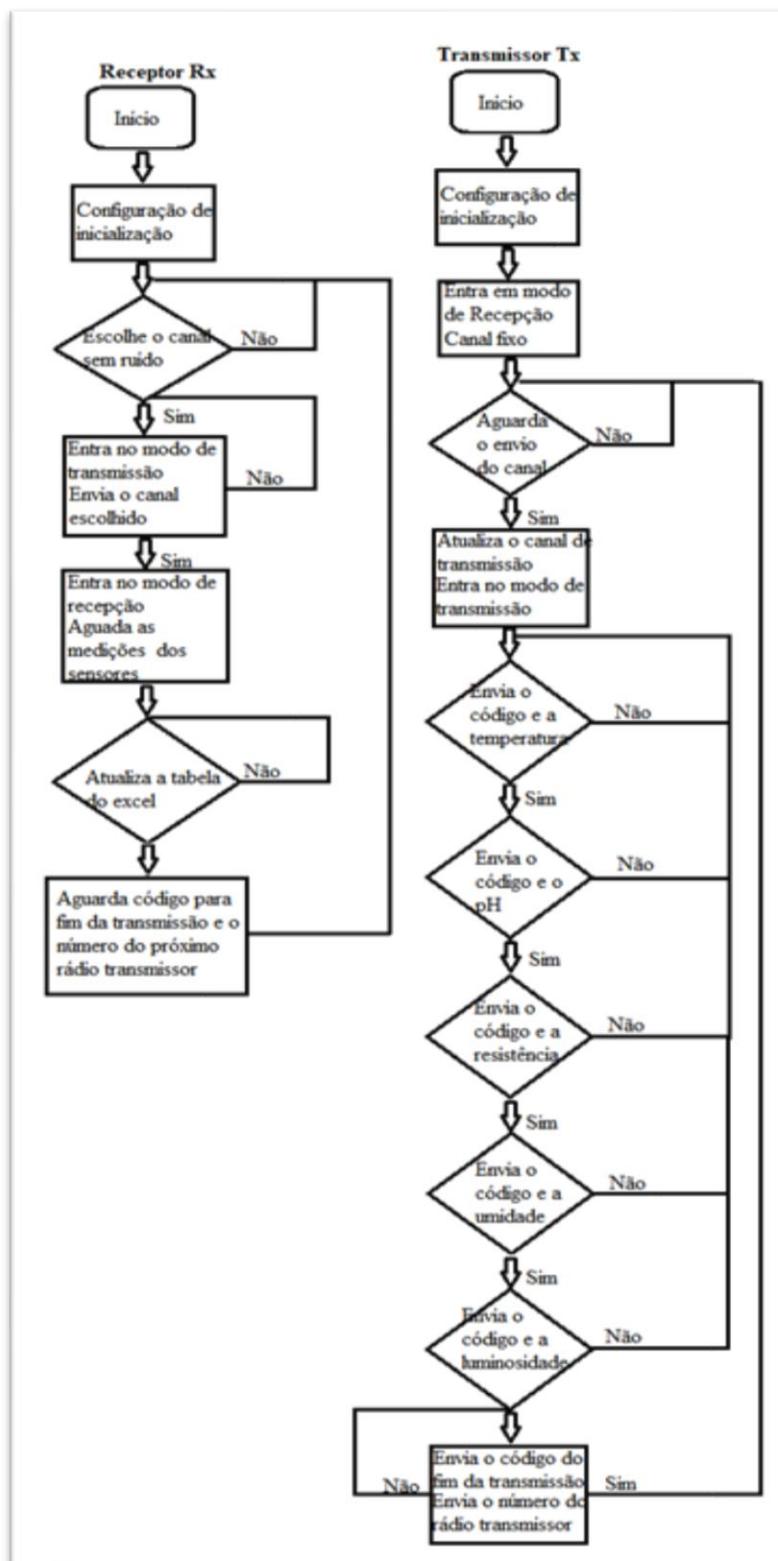
A proposta inicialmente a base receptora escolheria um canal e enviaria para todos os transmissores para que eles pudessem se comunicar no mesmo canal, porem ao tentar implementar observou-se que devido ambos se comunicar no mesmo canal um começou a causar interferência no outro de tal forma que ficou impossível fazer com todo se comunicasse com a base receptora.

A melhor solução para contornar o problema está foi mudar forma de transmissão fazendo que base receptora se comunica individualmente com cada rádio transmissor escolhendo sempre o canal com menor ruído a cada vês que ela escolhe um novo rádio transmissor para se comunicar.

A mudança canal para cada mudança de transmissor evita a inerência da comunicação do rádio transmissor anterior com o atual, pois a transmissão atual possivelmente será em outro canal e é praticamente impossível um rádio se comunicar no mesmo canal que o do anterior, pois o receptor escolhe aleatoriamente um canal de 126 e analise se tem ruído, se sim a base receptora escolhe outro repetindo a análise de ruído, se não ela envia o canal que encontrou sem ruído para rádio transmissor e ambos passa a se comunicar neste canal.

O processo citado anterior se repete a cada vês que a base receptora escolhe um novo rádio transmissor para se comunicar. A explicação do organograma da base receptora e dos rádios transmissoras está na figura 38.

Figura 38: Organograma receptor e transmissor



4 Resultado de ensaios realizados

Este capítulo será exposto os resultados dos ensaios feitos após a montagem do protótipo, determinando a precisão e comparando com outros sensores já existente no mercado.

4.1 Sensor de temperatura NTC

A margem de temperatura medido pelo sensor NTC é bem maior do que o sensor da figura 42, no entanto não se pode considera-la como vantagens, pois a temperatura do solo possui uma estreita margem limitante.

4.2 Sensor de Luminosidade

Para calcular a precisão do sensor utilizou-se um aparelho para medir a intensidade luminosa em Lux (*Digital Lux Meter*), como pode-se visualizar na figura 39 e os resultados medidos encontram-se na tabela 8.

Figura 39: Medição da luminosidade com o Digital Lux Meter



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 8: Tabela dos valores da intensidade luminosa em Lux

Aparelho	Medição
Medições feitas em baixo da mesa do laboratório com as lâmpadas desligadas	
Lux do sensor	17.28 Lux
Lux do Digital Lux Meter	16.00 Lux
Medições feitas em baixo da mesa do laboratório com as lâmpadas ligadas	
Lux do sensor	35.50 Lux
Lux do Digital Lux Meter	35.00 Lux
Medições feitas em cima da mesa do laboratório com as lâmpadas desligadas	
Lux do sensor	119.86 Lux
Lux do Digital Lux Meter	120.00 Lux
Medições feitas em cima da mesa do laboratório com as lâmpadas ligadas	
Lux do sensor	256.20 Lux
Lux do Digital Lux Meter	260.00 Lux

Fonte: Autor, 2017.

Observando os valores medidos tabela 3.2 com os sensor e aparelho Digital Lux Meter são bem próximo, em termos de porcentagem o erro para o pior caso é menor que 5%, portanto o sensor de luminosidade possui um erro que dentro do padrão é tolerável, porem à medida que sensor exposto uma intensa radiação onde resistência do LRD cai drasticamente o erro passa ser bastante significativo.

Uma possível solução para este problema seria destinar uma outra entrada analógica do Atmega 328p para com uma resistência do divisor de tensão bem menor que a usada, aumentando assim a precisão medida para sensor quando ele for exposto a intensa luminosidade, mas se compará-lo com o sensor da figura 39 pode assim dizer que este bem mais preciso.

4.3 Sensor de PH

De posse da equação da reta e após a implementação da mesma no atmega 328 p, utilizou-se a mesma solução tampão de pH e areia fina para medir a precisão dos sensores. A figura 40 mostra o procedimento e em seguida os resultados obtidos foram dispostos na tabela 9.

Figura 40: A figura da esquerda mostra solo com pH 4,00 e a da direita um solo com pH 7,00



Fonte: Autor, 2017

Tabela 9: Leitura do pH obtido pelo sensor

Areia fina com solução de pH 4,00 ± 0,02		
Sensor de pH 01	4,05	±1,27%
Sensor de pH 02	4.05	±1,27%
Sensor de pH 03	4,30	±7,52%
Sensor de pH 04	4.84	±21,00%
Areia fina com solução de pH 7,00 ± 0,02		
Sensor de pH 01	7.93	13,28%
Sensor de pH 02	7.84	12,00%
Sensor de pH 03	8.33	19,00%
Sensor de pH 04	8.87	26,71%

Observando a tabela 5 percebe-se que o sensor que possui uma maior taxa de erro é o sensor 04, porem em se tratando de sensor de pH para solo tal erro é tolerado, pois geralmente a necessidade apenas de se saber se solo é básico, ácido ou neutro. O sensor que mede pH encontrado no mercado é produzido na China e pode ser visualizada na figura 41.

Figura 41 A figura mostra o sensor 4 em 1 medidor de pH do solo



Fonte:(<https://pt.aliexpress.com>), 2017.

Este equipamento é 4 em 1, ou seja, ele mede pH, umidade, temperatura e luminosidade, as características básicas deste sensor pode-se consultada na tabela 10.

Tabela 10: Leitura do pH obtido pelo sensor

Nome		4 em 1 medidor de pH do solo
Tipo		SR300B
Objetos de teste		Luz solar, umidade, ph, temperatura
Teste Gama	Luz solar (9 níveis)	Baixa, low, Low +, nor-, nem, NOR +, hgh, hgh, HGH +
	Umidade (5 níveis)	Dry +, dry, nor, wet, WET +
	Valor de pH (12 níveis)	3,5 ~ 9,0 (resolução 0,5)
	Temperatura	-9 ~ + 50C (16 ~ 122°F) (resolução 1°C/1°F)
Fonte de alimentação		Um 9 V bateria de bloco
Desligamento automático		A unidade será automaticamente desligada após 5 minutos incapacitantes
Temperatura de operação		+ 5C ~ + 40C
Tamanho	Unidade principal	122 mm * 63 mm * 36 mm
	Sonda de teste	5 mm * 20 mm
Peso		0,23 kg

Fonte:(<https://pt.aliexpress.com>), 2017.

Observa-se que a faixa de medição de ambos os sensores são pavimente idêntica, porém o sensor comercializado *Aliexpress* da figura 43 possuem uma menor taxa de erro, porém não possui transmissão remota.

4.4 Sensor de umidade

Utilizou-se a mesma amostra de solo para fazer análise de precisão do sensor de umidade como pode-se visualizar na figura 42. O resultado obtido encontra-se na tabela 11.

Figura 42: Medição da precisão do sensor de umidade



Fonte: Autor, 2017.

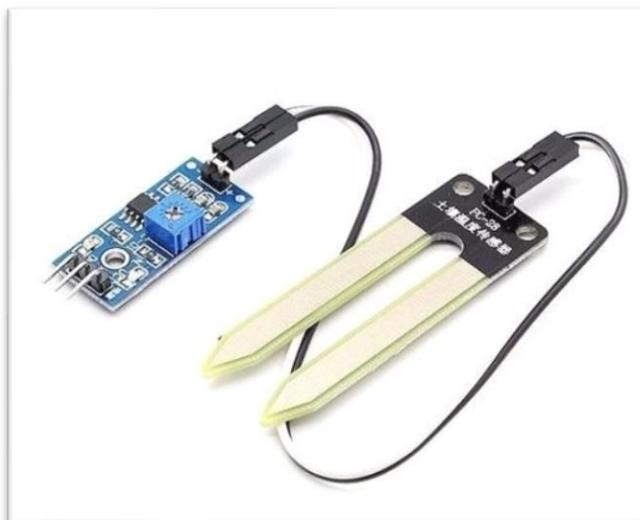
Tabela 11: Medição da precisão do sensor de Umidade

Massa de solo seco = 461,2g		
Massa de água = 46,12g		
Umidade do solo= 10%		
Sensor de umidade 01	10,44%	4,40%
Sensor de umidade 02	12,92%	29.20%
Sensor de umidade 03	8,97%	11,13%
Sensor de umidade 04	9,81%	1.90%

Fonte: Autor, 2017.

Ver-se que o sensor 02 possui o erro significativo, esse erro pode ser atenuado padronizando o modelo de fabricação dos sensores. O sensor de umidade mais comum desnível no mercado e de baixo custo, pode ser visto figura 43, porém ele só trabalho com três estados: seco, úmido e muito úmido. Já o sensor da figura 41 possuem uma leitura digital e cinco níveis de umidade.

Figura 43: Sensor analógico de umidade



Fonte:(<https://produto.mercadolivre.com.br>), 2017.

Um sensor com uma precisão de $\pm 3\%$ podendo ser reduzido $\pm 2\%$ de precisão com calibração específica do solo é produzido pela a empresa Sigma e pode ser visualizado na figura 44.

Figura 44: Sensor 10HS Sensor de Umidade do solo



Fonte:(<https://sigmasensors.com.br>), 2017.

Para aumentar sensibilidade e precisão o sensor utiliza um circuito de alta frequência (70 MHz), que fornece uma boa precisão, mesmo em alta salinidade e solos arenosos, tornando um produto diferenciado, mas não é recomendado para grandes sistemas agrícolas, pois não transmite os dados remotamente.

4.5 Sensor de Salinidade

No mercado pode-se encontrar Wet-2 sensor, como se observa na figura 45, com este equipamento e com informações fornecidas pelo W.E.T pode-se adequá-lo para o ajuste da injeção de fertilizantes e da salinidade do solo, porem o fabricante não disponibiliza a precisão do equipamento.

Figura 45: Sensor de resistência Wet-2 sensor



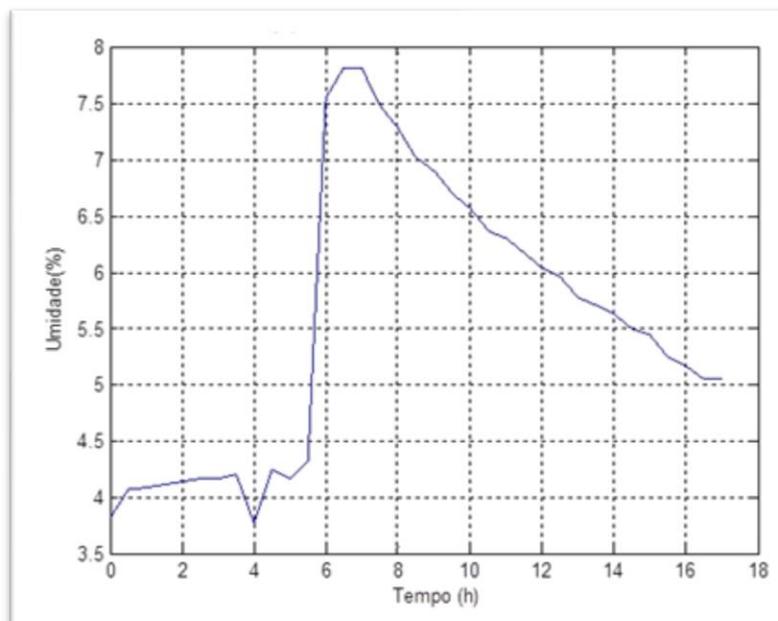
Fonte: Autor, 2017

4.6 Gráficos da tabela de Excel

Os coletados e armazenado na tabela do Excel foi extraído de um solo agrícola no município de alcançaras na localidade chamada de Sitio Belém no dia 15/04/2017 (Domingo). Nesse período em todo a região encontra-se na quadra chuvosa. Os gráficos de pH, luminosidade e resistência do solo não foram plotados porque neste momento os sensores ainda não estavam calibrados.

4.6.1 Gráfico da Umidade do solo

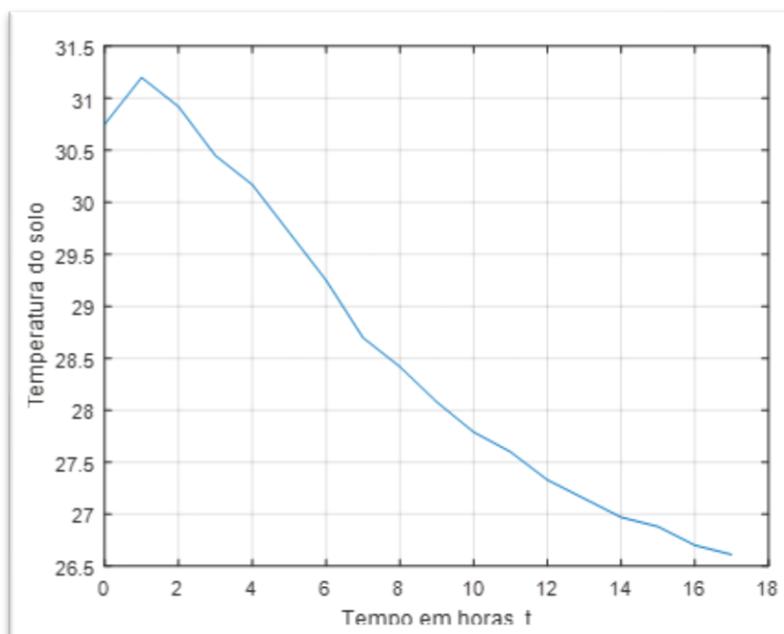
Figura 46: Gráfico da umidade em função do tempo



Fonte: Autor, 2017

4.6.2 Gráfico da Temperatura do solo

Figura 47: Gráfico da Temperatura em função do tempo



Fonte: Autor, 2017

5 Conclusão

O protótipo é composto por cinco sensores e um sistema de leitura e transmissão dos dados, desses cinco sensores quatro são para extrair parâmetros básicos do solo e o quinto é para retirar a luminosidade do ambiente, sempre priorizando os equipamentos de baixo custo e fácil acesso.

Para desenvolver o código de implantação de ambos os sensores levou-se em condições aos inúmeros problemas na transmissão de dados via rádio, portanto a versão final é capaz de escolher o canal com melhor transmissão e além de usar um sistema de reconhecimento de entrega dos dados.

Todo o processo de desenvolvimento dos sensores levou-se em consideração o custo dos equipamentos utilizados, buscando equilíbrio entre custo benefício, no objetivo de deixar o protótipo o mais competitivo possível, tornando-o ótima ferramenta para controle e supervisão da umidade e propriedades básicas dos solos que tanto influenciam na produtividade agrícola.

5.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros pode-se sugerir o melhoramento da eficiência dos sensores de pH, luminosidade e resistividade, para o sensor de umidade deve-se levar em consideração outras técnicas de fabricação que elimine os erros provocados pela a salinização o solo.

Outro fator importante para melhorar a competitividade do sensor é a criação do ambiente na Web que atualize automaticamente os dados recebidos pelo sensor, proporcionando o acesso por meio do computador ou dispositivos móveis necessitando apenas está conectado com a internet.

Para melhorar e deixar mais competitivo deve-se usar rádios transmissores com alcance maiores, processadores com capacidade de processamento maior no tempo com mais pinos digitais e analógico, além é claro de equipar todos os sensores de transmissão com painéis solares.

6 Referência

- [1] PORTAL DE NOTÍCIAS G1 Disponível em:< <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/04/sem-chuva-nivel-das-represas-que-abastecem-grande-sp-diminui.html>
> Acesso em: 11/dez/ 2017;
- [2] PORTAL DE NOTÍCIAS G1 Disponível em:< <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/31138/1/proci08.00051.PDF> >
Acesso em: 14/ fev./ 2016;
- [3] DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DIGITAL DE UMIDADE DO SOLO E UNIDADE REMOTA DE MONITORAMENTO UTILIZANDO COMUNICAÇÃO SEM FIO. Disponível em:< http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5553/1/PB_COENC_2016_1_03.pdf >
acessado 28/fev./2017;
- [4]AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA. Disponível em:< <http://www.ene.unb.br/adolfo/Monographs/Graduation/TG11%20Vin%C3%ADcius%20Galv%C3%A3o.pdf> > acessado 28/fev./2017;
- [5] NORDIC NRF24L01+. Disponível em:< file:///D:/UFC_tcc/TCC%20UFC%2001/Transmissor%20de%20radio/nRF24L01_prelim_pro_d_spec_1_2.pdf > Acesso em: 17/ fev./ 2016;
- [6] BRASIL SKETCH. Disponível em:< <https://brasilsketch.wordpress.com/2015/06/16/comunicacao-com-nrf24l01/> > acessado 28/fev./2017;
- [7] DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO PARA MONITORAMENTO INDUSTRIAL. Disponível em:< http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10718/1/TCC_Development_of_a_wireless_sensor_network_for_industrial_monitoring.pdf > Acesso em: 17/ fev./ 2016;
- [8] NEAR COMMUNICATIONS. Disponível em:< <https://sites.google.com/site/nearcommunications/modulacao-gfsk> > acessado 17/dez./2017;
- [9] PLATAFORMA ARDUINO. Disponível em:< <https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardNano>> acessado 10/dez/2017;

- [10] ESP8266EX DATASHEET. Disponível em:< http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf > acessado 10/dez/2017;
- [11] FELIPEFLOP. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/blog/esp8266-arduino-tutorial/> > acessado 10/dez/2017;
- [12] ALIEXPRESS. Disponível em:< <https://pt.aliexpress.com/item/20pcs-Thermistor-NTC-MF52AT-3950-B-100K-ohm-5/1950055914.html> > acessado 10/dez/2017;
- [13] MUNDO DA ELÉTRICA. Disponível em:< <https://www.mundodaeletrica.com.br/sensor-de-temperatura-ntc-ptc/>> acessado 10/dez/2017;
- [14] INSTRUCTABLES. Disponível em:< <http://www.instructables.com/id/Photocell-tutorial/> > acessado 10/dez/2017;
- [15] PROJETO DE UMA REDE DE COMUNICAÇÃO SEM FIO BASEADA NO TRANSCEPTOR NRF24L01+ VOLTADA PARA SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL. Disponível em:< <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/101167/000930123.pdf> > Acesso em: 14/ fev./ 2016;
- [16] COMUNICAÇÃO POR RADIO FREQUÊNCIA PARA CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP). Disponível em:< <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21715/21715.PDF> > Acesso em: 14/ fev./ 2016;
- [17] DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DIGITAL DE UMIDADE DO SOLO E UNIDADE REMOTA DE MONITORAMENTO UTILIZANDO COMUNICAÇÃO SEM FIO. Disponível em:< http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5553/1/PB_COENC_2016_1_03.pdf > acessado 28/fev./2017;
- [18] DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS SEM FIO PARA REDE DE INSTRUMENTAÇÃO INTELIGENTE EM APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. Disponível em:< https://www.google.com.br/?gws_rd=cr,ssl&ei=1bW1WMmpKYbKmwGk0q3wCg#q=DESENVOLVIMENTO+DE+DISPOSITIVOS+SEM+FIO+PARA+REDE+DE++INSTRUMENTA%C3%87%C3%83O+INTELIGENTE+EM+APLICA%C3%87%C3%95ES+NA++AGRICULTURA+DE+PRECIS%C3%83O+&* > acessado 01/mar./2017

- [19] BIBLIOTECA DO MODULO NRF24L01 . Disponível em: < <https://github.com/esp8266/Arduino> >. Acesso em: 20 jan. 2016;
- [20] TRANSCEPTOR NRF24L01+ . Disponível em < [https://lista.mercadolivre.com.br/modulo-nrf24l01#D\[A:modulo-nrf24l01,B:2\]](https://lista.mercadolivre.com.br/modulo-nrf24l01#D[A:modulo-nrf24l01,B:2]) > Acesso em: 15 jan. 2016;
- [21] ARDUINO NANO V3.0. Disponível em < <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-713691061-arduino-nano-v-30-rev3-atmega-328-5v-16mhz-pronta-entrega- JM> > Acesso em: 10 jan. 2016;
- ARDUINO IDE. Disponível em < <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>> Acesso em: 10 jan. 2016;
- [22] BIBLIOTECA DO MODULO ESP8266. Disponível em: < <https://github.com/esp8266/Arduino> >. Acesso em: 10 jan. 2016;
- [23] 10HS SENSOR DE UMIDADE DO SOLO. Disponível em: < https://sigmasensors.com.br/produto/10hs-sensor-de-umidade-do-solo-s-smd_m005.html >. Acesso em: 10 set. 2017;
- [24] *MERCADO LIVRE*. Disponível em: < <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-721768054-sensor-de-umidade-do-solo-com-cabos-exemplo-arduino- JM> >. Acesso em: 10 set. 2016;
- [25] ESTAÇÃO *METEOROLÓGICA*. Disponível em: < <https://www.scribd.com/document/357071579/Guia-de-normalizacao-UFC-2017-pdf> >. Acesso em: 10 set. 2017.
- [26] COMUNICAÇÃO COM O TRANSCEPTOR NRF24L01P. DISPONÍVEL EM: < <http://forum.arduino.cc/index.php/topic,54795.0.html> >. Acesso em: 10 out. 2016;
- [27] GUIA *DE NORMALIZAÇÃO UFC*. Disponível em: < <https://www.scribd.com/document/357071579/Guia-de-normalizacao-UFC-2017-pdf> >. Acesso em: 10 out. 2017.

7 Apêndice A – Código do programa plataforma arduino

Em seguida será apresentado as configurações básicas e as principais funções implementadas na base receptora e nos transmissores durante desenvolvimento deste trabalho.

8.1 Configurações básicas da estrutura do código do receptor

```

/*
#####
# Arquivo:      Receptor de dados
# Micro-processador: Arduino nano
# Linguagem:    Wiring / C /Processing /Fritzing / Arduino IDE
#
# Objetivo:     Transmissão de dados sem fio
#
Funcionamento: O sistema transmissor é composto por um atmega 328p e um tranceptor
NRF24L01. O transmissor retira os parâmetros básicos do solo e envia para base receptora
composta por um arduino nano e um tranceptor NRF24L01 que recebe as informações e
armazena em uma tabela do excel.
#
# Autor:       Simão Cristino de Menezes
# Data:        01/04/2016
# Local:       Sobral - ce
#####
*/
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
//Armazena os dados recebidos
double recebido[3];
int  codigo_canal[3];
int i=0;
int sensor=1;
int linha=0;
int LABEL=1;
double valor=0;
char Tipo;
char Medida;
int val=0;
int intrrup=0;
int resposta=0;
boolean done= false;
int done1=0;
int erro=1;
int canal=0;
int n=0;
int conta=0;
//Inicializa a placa nos pinos 9 (CE) e 10 (CS) do Arduino

```

```

RF24 radio(9,10);
const int pinterruptao =6;
//Define o endereço para comunicação entre os módulos
const uint64_t pipes[4] = { 0x7878787878, 0xB3B4B5B6F1,0xB3B4B5B6CD,
0xB3B4B5B6A3 };

```

8.2 Função de interrupção

```

void interrupcao(){
  digitalWrite(pinterruptao,LOW);
  escolhecanal();
  delay(100);
  envianovocanal();
  intrrup=1;
  delay(100);
  radio.setChannel(canal);
  delay(100);
  radio.startListening();
  radio.openReadingPipe(1,pipes[n]);
  radio.printDetails();
}

```

8.3 Definição das entradas e saídas digitais e analógicas das variáveis

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pinterruptao, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(pinterruptao,LOW);
  // Reset da comunicação serial
  Serial.println("CLEARDATA");
  // Nomea as colunas
  Serial.println("LABEL,Hora,sensor,Tipo,valor,Medida,linha");
  //Configurando a interrupção segundo pino digital do arduino
  //A interrupção é efetuado sempre que o valor lógico no pino muda de 0 para 1.
  attachInterrupt(0,interruptao,RISING); //Configurando a interrupção
}

```

8.4 Laço de execução do código

```

void loop()
{
  if (intrrup==0){
    digitalWrite(pinterruptao,HIGH);
    intrrup=1;
    delay(10);
  }
}

```

```

digitalWrite(7,LOW);
digitalWrite(8,LOW);
//Verifica se ha sinal de radio
if (radio.available()) {
    done1= radio.read(recebido, sizeof(recebido));
    if(done1==1){
        conta=0;
        done1=0;
    }
    if(recebido[1]==3333){
        digitalWrite(7,HIGH);
        delay(1000);
        sensor=recebido[2];
        if(sensor==1){
            n=0;
            i=0;
            while(i<78){
                delay(10000);
                i++;
            }
        }
        if(sensor==2){
            n=1;
        }
        if(sensor==3){
            n=2;
        }
        if(sensor==4){
            n=3;
        }
        digitalWrite(pinterrupcao,HIGH);
        delay(10);
    }
    val=recebido[1];
    linha++;
    delay(100);
}

```

8.4.1 Função switch-case

```

switch(val){
    case 84:
        valor=recebido[0];
        sensor=recebido[2];
        Serial.print("DATA,TIME,");
        Serial.print(sensor);
        Serial.print(",");
        Serial.print("Temperatura,");
        Serial.print(valor);
        Serial.print(",");
        Serial.print("C,");

```

```
Serial.println(linha);
delay(100);
break;
case 80:
valor=recebido[0];
sensor=recebido[2];
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(sensor);
Serial.print(",");
Serial.print("Ph,");
Serial.print(valor);
Serial.print(",");
Serial.print("ph,");
Serial.println(linha);
delay(100);
break;
case 82:
valor=recebido[0];
sensor=recebido[2];
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(sensor);
Serial.print(",");
Serial.print("Salinidade,");
Serial.print(valor);
Serial.print(",");
Serial.print("Ohm/m,");
Serial.println(linha);
delay(100);
break;
case 85:
valor=recebido[0];
sensor=recebido[2];
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(sensor);
Serial.print(",");
Serial.print("Umidade,");
Serial.print(valor);
Serial.print(",");
Serial.print("%,");
Serial.println(linha);
delay(100);
break;
case 76:
valor=recebido[0];
sensor=recebido[2];
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(sensor);
Serial.print(",");
Serial.print("Luminosidade,");
Serial.print(valor);
```

```

        Serial.print(",");
        Serial.print("Lux,");
        Serial.println(linha);
        delay(100);
    break;

    }
}else{
    conta++;
    delay(10);
    if(conta>1000 ){
        conta=0;
        digitalWrite(pinterrupcao,HIGH);
        delay(10);
    }
}
}
}

```

8.4.2 Função que analisa o canal e seleciona o com menor ruído

```

// Esta função escolhe aleatoriamente um canal analisa o ruído
// e se o canal estiver limpo ela armazena e envia uma mensagem
// para todos transmissores mudar para esse novo canal.
void escolhecanal(){
    // Enquanto a variavel erro for diferente de zero será escolhido
    // aleatoriamente um canal até erro ser igual a zero.
    while(erro!=0){
        erro=0;
// escolhe aleatoriamente de 0 a 128 canal
        i=random(128); // Select this channel
        radio.begin();
        for(int cont=0;cont<3000;cont++){
            radio.setChannel(i);
// Coloca o radio em modulo de escuta
            radio.startListening();
            delayMicroseconds(128);
            radio.stopListening();
            if ( radio.testCarrier() ){
                erro=erro+1;
            }
        }
    }
    canal=i;
    erro=1;
    i=0;
}

```

8.4.3 Função que envia o número do canal com menor ruído para transmissor

```

/*
Esta função envia um comando para todos os transmissores mudar de canal
*/
void envianovocanal(){
// Desliga o modo de escuta para permitir que o receptor fale
radio.stopListening();
//Canal de numero 100
radio.setChannel(100);
radio.openWritingPipe(pipes[n]);
digitalWrite(8,HIGH);
delay(100);
/*
Envia a sequência de números para ativar a interrupção no segundo
modulo.
*/
//Envia o canal para transmissor 01
codigo_canal[0]=111;
codigo_canal[1]= canal;
  if(sensor==1){
    codigo_canal[2]= 123;
  }
  if(sensor==2){
    codigo_canal[2]= 456;
  }
  if(sensor==3){
    codigo_canal[2]= 789;
  }
  if(sensor==4){
    codigo_canal[2]= 987;
  }
  delay(10);
  done=false;
  while(!done){
    done=radio.write(codigo_canal, sizeof(codigo_canal));
  }
}

```

8.5 Configurações básicas da estrutura do código do transmissor

```

/*#####
# Arquivo:      Transmissor de dados
# Microprocessador: Atmega 328p
# Linguagem:    Wiring / C /Processing /Fritzing / Arduino IDE
#
# Objetivo:     Transmissão de dados sem fio
#

```

Funcionamento: O sistema transmissor é composto por um atmega 328p e um transceptor NRF24L01. O transmissor retira os parâmetros básicos do solo e envia para base receptora composta por um arduino nano e um transceptor NRF24L01 que recebe as informações e armazena em uma tabela do Excel.

```
#
# Autor:      Simão Cristino de Menezes
# Data:      16/02/2017
# Local:     Sobral - ce
#

#####
*/
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include <math.h>
//Define a velocidade de Transmissão
#define RF24_DATARATE    RF24_250KBPS //RF24_250KBPS for 250kbs,
RF24_1MBPS for 1Mbps, or RF24_2MBPS for 2Mbps
//Define a potência do sinal emitido
#define RF24_PA_LEVEL    RF24_PA_MAX //Sensor PA Level == RF24_PA_MIN=-
18dBm, RF24_PA_LOW=-12dBm, RF24_PA_HIGH=-6dBm, and RF24_PA_MAX=0dBm
//Armazena os dados enviados
double dados[3];
int  codigo_canal[3];
const int Termometro = A2; // Leitura do sensor de temperatura na entrada analógica A0
const int PH = A0; // Leitura do sensor de temperatura na entrada analógica A0
const int Usolo = A1;
const int LUX = A3;
const int Rsolo = A4;
//Ativa a interrupção do arduino
const int resistor = 8;
const int Psolo = 7;
const int RIsolo = 1;
const int PLUX = 4;
const int Verde = 5;
const int Vermelho = 6;
char Caractere;
double Temp = 0;
double Res = 0;
double LUZ = 0;
double Tactual = 0;
double T anterior = 0;
double  valt = 0;
double  Acidez = 0;
double Umidade = 0;
double R = 0;
double solo = 0;
int  val = 0;
int i=0;
```

```

int intrrup = 0;
int cont = 0;
int conta = 0;
double Numero = 0;
boolean done = false;
int done1=0;
//Inicializa a placa nos pinos 9 (CE) e 10 (CS) do Arduino
RF24 radio(9, 10);
//Define o endereço para comunicação entre os módulos
const uint64_t pipe = 0x7878787878;

```

8.6 Definição das entradas e saídas digitais e analógicas das variáveis

```

void setup()
{
//Define os botoes como entrada e
pinMode(resistor, OUTPUT);
pinMode(Termometro, INPUT);
pinMode(Psolo, OUTPUT);
pinMode(Usolo, INPUT);
pinMode(Rsolo, INPUT);
pinMode(RIsolo, INPUT);
pinMode(Verde, OUTPUT);
pinMode(Vermelho, OUTPUT);
pinMode(PLUX, OUTPUT);
pinMode(LUX, INPUT);
pinMode(PH, INPUT);
digitalWrite(Vermelho, HIGH);
digitalWrite(Verde, LOW);
delay(100);
}

```

8.7 Laço de execução do código

```

void loop()
{
if (intrrup == 0) {
intrrup = 1;
done = false;
radio.begin();
//coloca o modulo em modo de escuta.
radio.setChannel(100);
radio.openReadingPipe(1, pipe);
radio.startListening();
val=0;
delay(30);
}
while (!done ) {
radio.read(codigo_canal, sizeof(codigo_canal));
if (codigo_canal[0] == 111 && codigo_canal[2]==123) {

```

```

digitalWrite(Verde, HIGH);
digitalWrite(Vermelho, LOW);
done=true;
delay(100);
recebenovocanal();
}
}

```

8.4.1 Função switch-case

```

switch (val) {
  case 0:
    digitalWrite(resistor, HIGH);
    delay(1000);
    valt = analogRead(Termometro);
    Res = (10117470 - (9890 * valt)) / (valt);
    Temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 * log(Res)) + (0.0000000876741 * (log(Res)
* log(Res) * log(Res)))));
    Temp = (Temp - 273);
    dados[0] = Temp;
    digitalWrite(resistor, LOW);
    delay(100);
    Caractere = 'T';
    Numero = Caractere;
    dados[1] = Numero;
    dados[2] = 1;
    done = false;
    while (!done) {
      done = radio.write(dados, sizeof(dados));
      conta = conta + 1;
      if(conta>=2000){
        done=true;
        intrrup=0;
        val=6;
      }
    }
    conta =0;
    val = 1;
    delay(100);
    break;
  case 1:
    Acidez = (-4.918 * (analogRead(PH))) + 926.22;
    dados[0] = (Acidez)/100;
    Caractere = 'P';
    Numero = Caractere;
    dados[1] = Numero;
    delay(100);
    done = false;
    while (!done) {
      done = radio.write(dados, sizeof(dados));
      conta = conta + 1;
    }
  }
}

```

```

    if(conta>=2000){
        done=true;
        intrrup=0;
        val=6;
    }
}
conta =0;
val = 2;
delay(1000);
case 2:
digitalWrite(RIsolo, HIGH);
delay(1000);
solo = (( (10232000/(analogRead(Rsolo) ))-10000)/ 0.07);
delay(1000);
dados[0] = (solo);
Caractere = 'R';
Numero = Caractere;
dados[1] = Numero;
delay(100);
done = false;
while (!done) {
    done = radio.write(dados, sizeof(dados));
    conta = conta + 1;
    if(conta>=200){
        done=true;
        intrrup=0;
        val=6;
    }
}
conta =0;
val = 3;
digitalWrite(RIsolo, LOW);
    delay(100);
break;
case 3:
    digitalWrite(Psolo, HIGH);
    delay(100);
if(analogRead(Usolo)<=644){
    Umidade=(0.00731*analogRead(Usolo))-0.204;
}
if(analogRead(Usolo)>=644 && analogRead(Usolo)<=736){
    Umidade=(0.06589*analogRead(Usolo))-37.92;
}
if(analogRead(Usolo)>=736 ){
    Umidade=(0.5962*analogRead(Usolo))-428.27;
}
delay(100);
dados[0] = Umidade;
Caractere = 'U';
Numero = Caractere;

```

```

dados[1] = Numero;
delay(100);
done = false;
while (!done) {
  done = radio.write(dados, sizeof(dados));
  conta = conta + 1;
  if(conta>=200){
    done=true;
    intrrup=0;
    val=6;
  }
}
val = 4;
digitalWrite(Psolo, LOW);
delay(1000);
break;
case 4:
digitalWrite(PLUX, HIGH);
delay(1000);
R = ( (10232000/analogRead(LUX ))-10000) ;
LUZ=26576895*(pow(R, -1.4059));
//LUZ=(-1.1224*R)+10112.24;
delay(100);
dados[0] = LUZ ;
Caractere = 'L';
Numero = Caractere;
dados[1] = Numero;
delay(100);
done = false;
while (!done) {
  done = radio.write(dados, sizeof(dados));
  conta = conta + 1;
  if(conta>=200){
    done=true;
    intrrup=0;
    val=6;
  }
}
digitalWrite(Verde, LOW);
digitalWrite(Vermelho, LOW);
delay(100);
conta =0;
val = 5;
digitalWrite(PLUX, LOW);
delay(100);
break;
case 5:
dados[1] = 3333;
dados[2] = 2;
delay(100);

```

```

done = false;
while (!done) {
    done = radio.write(dados, sizeof(dados));
    conta = conta + 1;
    if(conta>=200){
        done=true;
        intrup=0;
        val=6;
    }
}
conta =0;
val=0;
radio.setChannel(100);
radio.openReadingPipe(1, pipe);
radio.startListening();
done=false;
delay(100);
break;
}
}

```

8.4.3 Função que recebe o número do canal com menor ruído para transmissor

// Devido problemas na interrupção externa Atmega 328, usou-se uma função para receber o novo canal

```

void recebenovocanal() {
    // Recebe o novo canal
    radio.setChannel(codigo_canal[1]);
    delay(100);;
    //Para de ouvir para poder falar
    radio.stopListening();
    // Entra no modulo de transmissor
    radio.openWritingPipe(pipe);
    delay(300);

}

```

