

1ª Edição

2019

ISBN 978-65-900863-0-3



Essa publicação tem como objetivo apresentar informações construtivas detalhadas de um sensor de umidade do solo de baixo custo, com uso do Arduino.

AUTORES

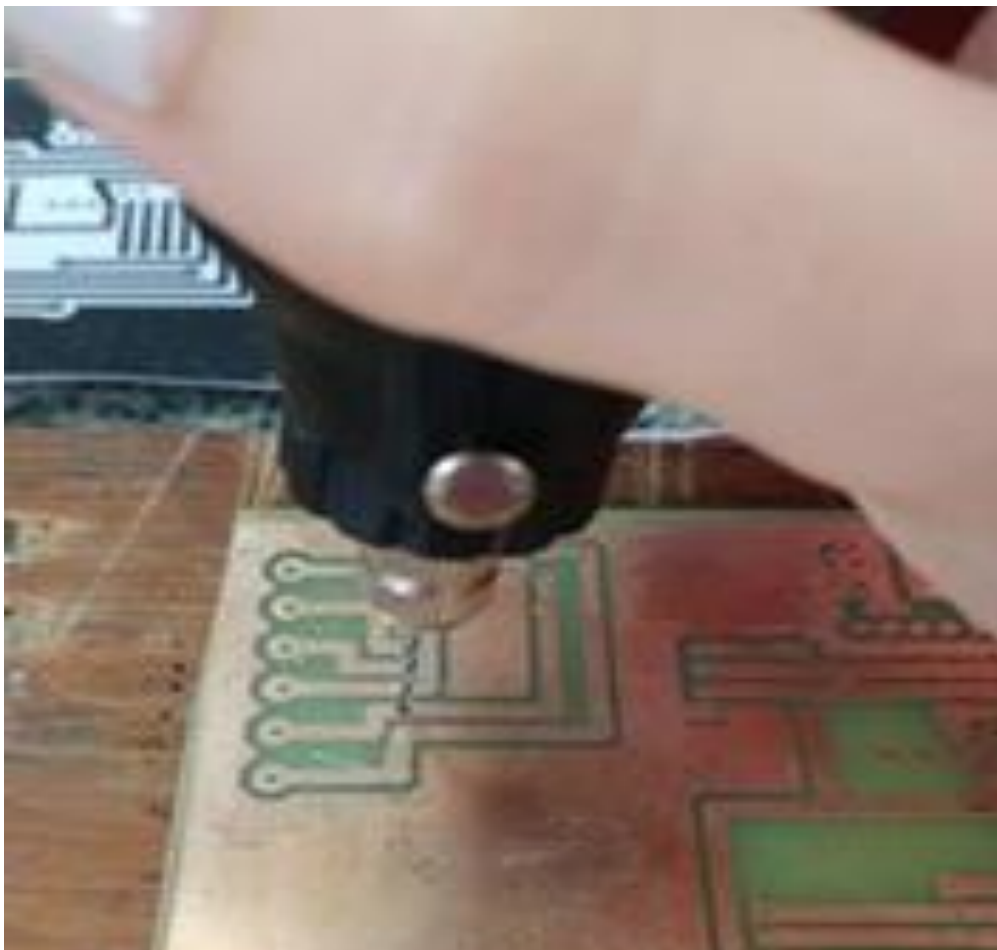
Lucas Melo Vellame

Neilon Duarte da Silva

Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Projeto gráfico

Raul Melo Vellame



INSTRUMENTAÇÃO AGRÍCOLA

CONSTRUÇÃO DE SONDA ELETRÔNICA DE UMIDADE DO SOLO

Manejar a irrigação de forma eficiente reduz a utilização de recursos hídricos, promove a redução do consumo de energia e mantém a umidade em faixas que compreendem os limites de absorção da planta, melhorando o retorno produtivo. Representar bem a umidade do solo é importante para o manejo de irrigação, porém o custo dos sensores pode ser um fator limitante.



1ª Edição

Lucas Melo Vellame

Neilon Duarte da Silva

Francisco Airdesson Lima do Nascimento

**INSTRUMENTAÇÃO AGRÍCOLA:
CONSTRUÇÃO DE SONDA ELETRÔNICA DE UMIDADE DO SOLO**

Cruz das Almas – Bahia

2019

Lucas Melo Vellame

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O solo é composto de uma fração sólida (partículas do solo), uma fração gasosa (ar do solo) e uma fração líquida, que a depender do conteúdo de água no meio, pode se apresentar como água gravitacional e água capilar. Como o ar e água têm propriedades elétricas muito distintas (constante dielétrica, resistência elétrica) é possível relacionar essas propriedades elétricas com a umidade do solo por meio de sensores eletrônicos.

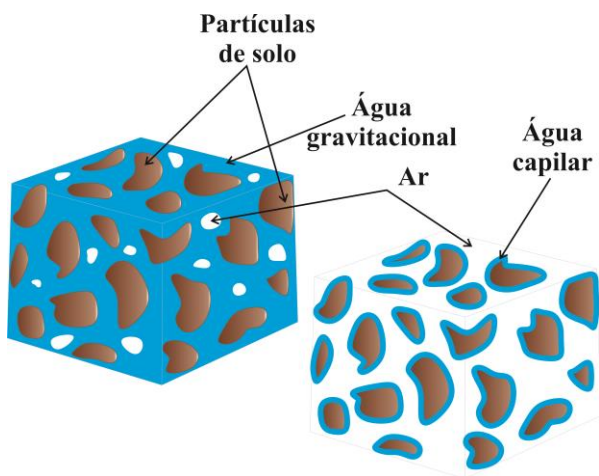


Figura 1 - Constituintes do solo.

O sensor proposto tem como princípio de funcionamento a medição da frequência gerada por um circuito oscilador astável baseado no circuito integrado (CI) 555 em que um dos componentes passivos é um conjunto de hastes que funcionam como eletrodos. Dessa forma variações tanto na constante dielétrica quanto na resistência elétrica do solo farão a frequência de saída do oscilador variar (pino 7 do CI 555). Os capacitores (C2 e C3) em série e em paralelo com os eletrodos visam estabelecer um boa faixa de frequência de saída para as condições de solo (de saturado a seco ao ar). A frequência é lida pela placa microcontrolada Arduino Pro-Mini que transmite os dados via comunicação serial. A transmissão dos dados de forma digital possibilita grande flexibilidade quanto ao comprimento do cabo e a coleta de dados. Um programa computacional para leitura e registro dos dados da sonda está disponível por meio de um link no site:

<https://www.ufrb.edu.br/pgea/produtos-e-servicos>

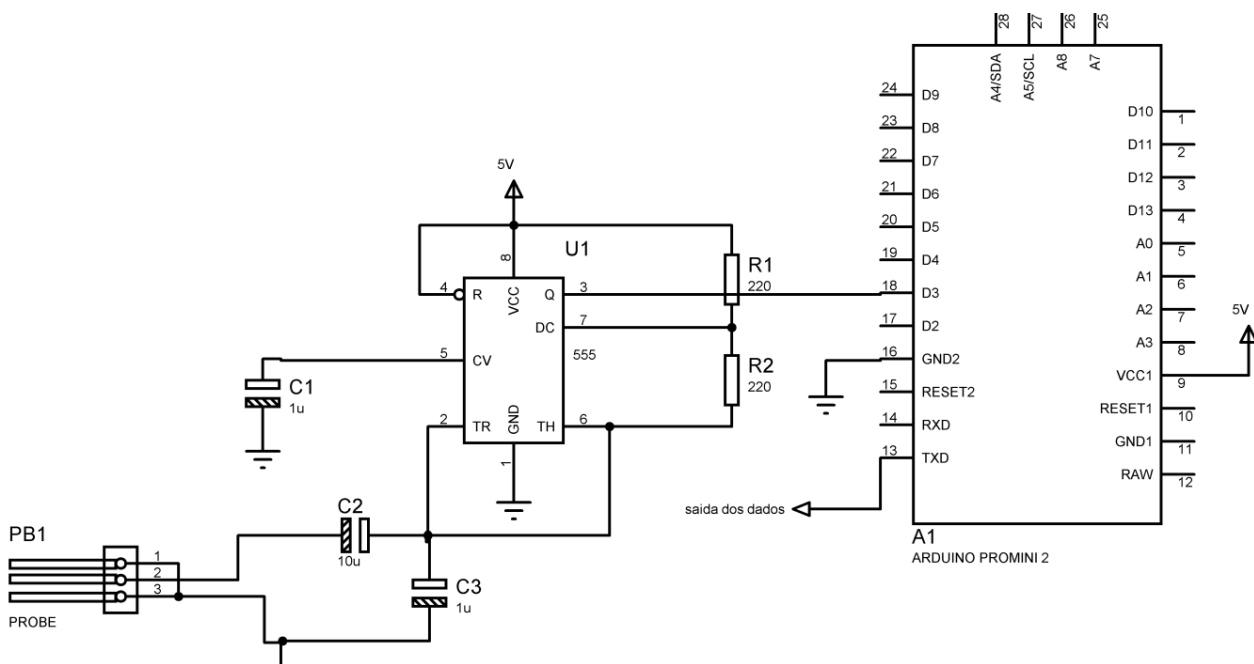


Figura 2- Diagrama eletrônico.

MATERIAL UTILIZADO

O material utilizado pode variar, de acordo, com as possibilidades e necessidades do usuário. Objetivamos aqui, através de uso de materiais de baixo custo, descrever uma das possibilidades de confecção do sensor de umidade do solo.

1. Confecção da placa

- Placa virgens de circuito impresso de fenolite: dimensões: 4,7cm x 4,7cm (a quantidade de placas depende do número de sensores que serão necessários serem construídos);
- Circuito impresso em papel fotográfico;
- Solução de solvente tiner e álcool (6 medidas de álcool para 1 medida de tiner);
- Percloroeto de ferro;
- Placas de madeira;
- Braçadeira de ferro;

2. Componentes eletrônicos (quantidade necessária para construção de uma placa)

- 01 Arduino Pro mini;
- 01 Adaptador USB-TTL;
- 01 Circuito integrado 555;
- 02 resistores (220 Ohm);
- 03 capacitores (dois de 1 μ F e um de 10 μ F);

3. Materiais necessários para montagem final

- Hastes metálicas (no exemplo foram usadas hastes de aço inoxidável com 10cm);
- Cabo manga quatro vias (tamanho do cabo depende da profundidade de instalação das sondas e da distância entre as sondas e o coletor de dados);
- Espaguete termoretrátil de 2mm e 5mm;
- Resina (no exemplo foi utilizada resina Orto cristal);
- Catalizador para resina;

4. Ferramentas e materiais auxiliares

- Isqueiro;
- Alicates (bico longo e corte diagonal ou alicate desencapador);
- Jumpers;
- Lixa;
- Serra manual;
- Esponja de aço;

- Mini-retífica e broca de 0,8mm;
- Serra circular;
- Torno de bancada;
- Esmeril de bancada;
- Moldes de borracha látex;
- Suporte de madeira;
- Solda para eletrônica;
- Ferro para solda.

CONSTRUÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Etapa 1

Impressão em impressora a laser do circuito em papel fotográfico. O arquivo em pdf para impressão encontra-se disponível para download no site (<https://www.ufrb.edu.br/pgea/produtos-e-servicos>)

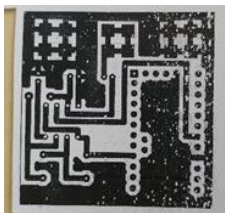


Figura 3- Circuito impresso em papel fotográfico

Etapa 2

Corte das placas de fenolite no tamanho de 4,7cm x 4,7cm com a serra manual. Com auxílio de uma lixa acerta-se as laterais, de maneira que elas percam a aspereza. Realiza-se uma lavagem para retirada de pó e sujeiras.



Figura 4- Corte e preparação da placa de fenolite para confecção do sensor

Com auxílio de abraçadeiras, em uma estrutura horizontal e firme (de preferência uma bancada), fixa-se uma primeira peça de madeira, que servira de apoio para a placa de fenolite. Sobre essa base de madeira, coloque a placa de fenolite, espalhe uma solução de tiner e álcool (1:6), e com cuidado, coloque

sobre o papel fotográfico contendo o circuito impresso. Em seguida adicione um pouco mais de solução de tiner e álcool (1:6).

Para que o processo de transferência do circuito impresso no papel para a placa fenolite aconteça de maneira homogênea, coloque uma segunda peça de madeira (de preferência do mesmo tamanho da primeira) sobre o conjunto placa fenolite/papel fotográfico impresso. Para o processo de transferência foi criado uma prensa que com auxílio das braçadeiras promove uma pressão aplicada sobre as peças de madeira. Esse processo de prensagem deve ter um tempo mínimo de 1h (uma hora).

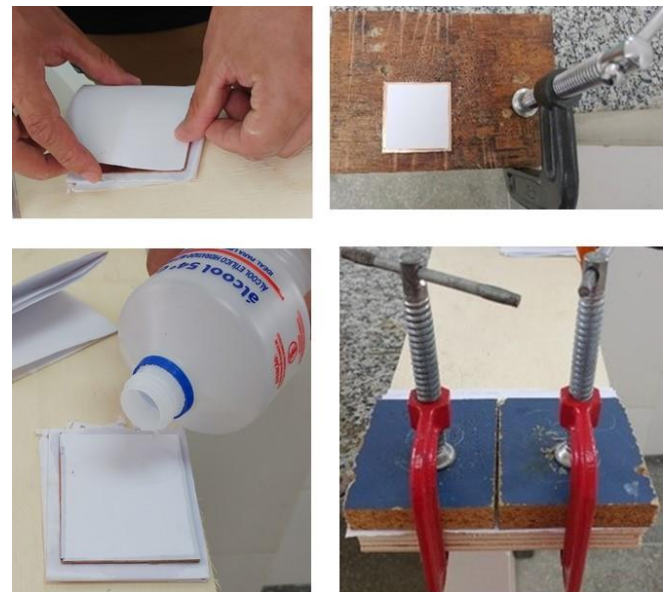


Figura 5- Transferência do circuito em papel para a placa fenolite

Etapa 4

Decorrido o tempo de transferência do circuito impresso no papel para a placa fenolite, as placas que agora contêm o layout do circuito impresso, devem ser submersas em água, ou lavadas em água corrente, e com cuidado, devem ser esfregadas cuidadosamente com os dedos, para remoção do papel. Após a retirada do papel, é importante se certificar que os caminhos das trilhas transferidos para a placa fenolite estejam sem qualquer resquício de papel, ou sujeira.



Figura 6- Retirada do papel da placa fenolite

Normalmente, quando o processo de transferência do papel para a placa fenolite funciona, o desenho do circuito não apresenta falhas, todavia, a presença de falhas pode ter os seguintes fatores: (1) não houve tempo suficiente no processo de transferências na prensa para que todo o desenho impresso no papel fosse passado para a placa; (2) a solução tiner e álcool não apresenta a relação 1:6; (3) no processo de transferência a presença feita com as duas peças de madeira não cobriram totalmente o conjunto placa fenolite/papel fotográfico; (4) má qualidade de impressão a laser no papel fotográfico. A depender do grau das falhas, o usuário pode decidir entre recomençar todo o processo ou reparar as falhas de forma manual com auxílio de pincel marcador permanente fino.

Etapa 5

Após os procedimentos da etapa 4, mergulhe a placa na solução de perclorato de ferro, em recipiente de plástico ou vidro, para que o processo de corrosão se inicie. Dessa forma, todo o cobre presente na placa de fenolite que não apresenta o tóner de cor preta, transferido do papel para a placa, será corroído. A eficiência do processo de corrosão depende principalmente da movimentação contínua da placa de fenolite submersa na solução de perclorato de ferro. Para tanto, realize movimentos com a placa mergulhada na solução e utilize para isso, material plástico ou similar. O processo se finda quando for observado que, o cobre foi corrido por completo.



Figura 7- Processo de corrosão da placa

Nesse processo é importante salientar que a observação contínua do processo pelo usuário é de extrema importante, pois a presença em demasiado da placa na solução pode acabar por corroer todo o cobre da placa.

Etapa 6

Decorrido o processo de corrosão, lave a placa em água corrente, e com auxílio de uma esponja de aço,

esfregue a placa para que seja removido o tóner oriundo do processo de impressão no papel. Nesse sentido, o que restará será o cobre que não foi corroído. Com a placa pronta, utiliza-se uma mini-retífica para perfurar na placa, os locais onde serão inseridos os componentes eletrônicos e as hastes de aço inox.

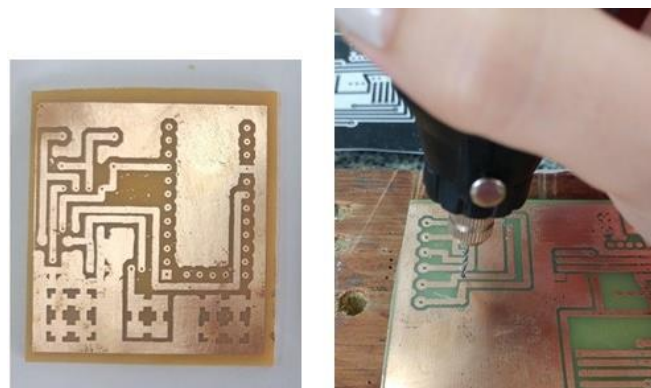


Figura 8- Limpeza do tonner e realização dos furos na placa

Faça sempre o uso do EPI adequado

MONTAGEM DA SONDA

Etapa 1

Para evitar processos de oxidação, recomenda-se o uso de hastes metálicas inoxidáveis. Vale ressaltar que o tamanho das hastes pode modificar totalmente as características do sensor. Defina o tamanho da haste a ser utilizado levando em consideração o espaço que ficará dentro da base da sonda, feita de resina. Uma vez definido o tamanho das hastes, aqui foram definidos um tamanho útil de 10cm, e 2cm ficariam dentro da base da sonda, o que totalizaria 12cm de haste. Fica aqui sugerido o uso de um torno de bancada para facilitar tantos nas marcações quando no corte. Prendem-se as hastes a serem cortadas no torno e, com auxílio de uma serra elétrica circular, corta-se no tamanho desejado. Como sempre, utilize EPI (óculos, luvas).



Figura 9- Corte das hastes

Etapa 2

Uma vez dispondo das hastes cortadas, faça o biselamento das pontas em apenas uma das extremidades (aquela que será inserida no solo), com o objetivo de facilitar a inserção da sonda no solo. Para isso, utiliza-se um esmeril de bancada, e com movimentos circulares, realiza-se os apontamentos (L). Utilize óculos e luvas para proteção.

Etapa 3

Dispondo das hastes e placa prontas, soldam-se as hastes na placa fenolite com o circuito corroído. Prenda as hastes com *jumpers* (pequenos fios) na placa, do lado oposto à parte que foi corroída, solde os *jumpers* tanto nas hastes quando na placa (pode ser necessário auxílio de pasta de solda ou ácido fosfórico para fixação da solda na haste de aço inox). Verifique se esse processo deixou as hastes firmes e

fixas na placa de fenolite, caso contrário o processo de fixação deverá ser refeito.



Figura 10- Biselamento das hastes



Figura 11- Fixação das hastes na placa de circuito

Etapa 4

Agora com as hastes fixadas na placa, pode-se soldar os componentes eletrônicos. Tenha em mãos sempre o layout do circuito com os nomes, direção e valores (capacitores e resistores) dos componentes, visto que cada componente tem tanto uma posição que diferencia desde a função dos pinos, quando a fonte de alimentação (GND e VCC). Tenha cuidado no momento de soldar e utilize apenas as trilhas referentes a cada componente, de modo a evitar curto circuitos e interferência nos sinais emitidos pelos componentes.

A solda do cabo de aquisição de dados na placa microcontroladora Arduino pro mini, por sugestão, deverá ser feita antes. Defina cores para os fios de forma a facilitar a conexão da sonda em um dispositivo que possa coletar ou armazenar dados. O erro nessa conexão poderá inviabilizar a leitura da sonda.



Figura 12- Soldagem do cabo e dos componentes eletrônicos

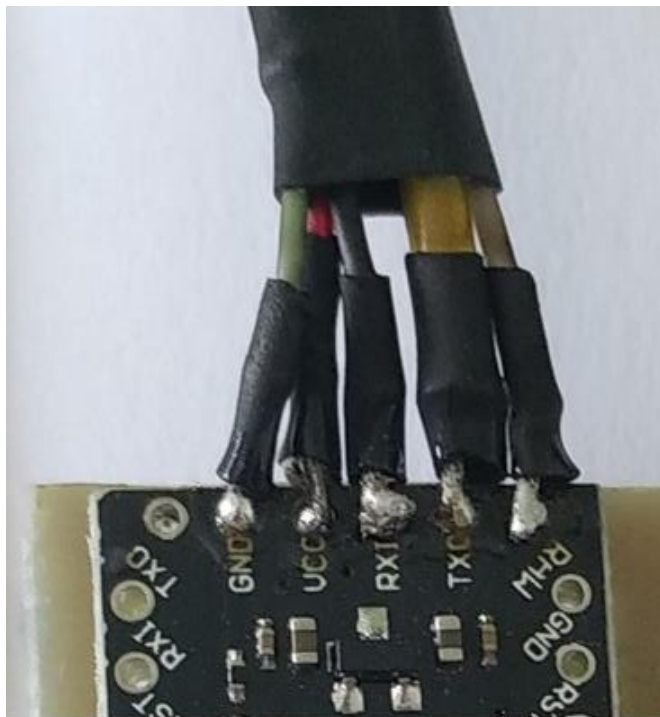


Figura 13- Após soldagem

Conforme dito anteriormente, essa sonda funciona com comunicação serial. Logo essa sonda pode ser conectada em dispositivos de coleta/armazenamento de dados ou em um computador. Neste último caso, com auxílio de um conversor FTDI232, entenda um pouco mais como funciona essa confecção com a figura abaixo:

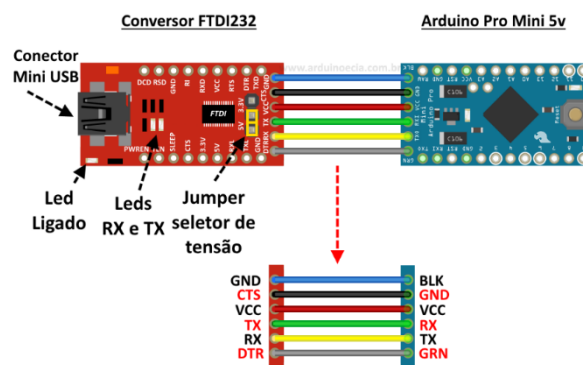


Figura 14- Conexão da sonda com um adaptador FTDI232 para comunicação serial com computador

Etapa 5

Com a sonda pronta, envia-se o programa para o Arduino (ver item de programação e configuração) e faz-se testes básicos de funcionamento (leituras no ar e na água).

Etapa 6

Com as sondas programadas e testadas, inicia-se o processo de resinamento. Dispondo de moldes feitos com borracha látex, insira-os em suporte de madeira compatível com os moldes e acomode as sondas na posição indicada. Para preparo da resina utiliza-se 1,1g de catalisador para cada 100ml de resina e mistura-se bem (300ml desta solução resina 4 sondas), despeja-se assim, a solução sobre as sondas e retira-as após secagem da resina (S). É importante limpar bem as hastes, retirando-se qualquer vestígio de resina sobre elas.



Figura 15- Processo de resinamento

PROGRAMAÇÃO

O algoritmo (código) que permite realizar a leitura das sondas é feito em linguagem C++ adaptada e desenvolvido dentro da plataforma de desenvolvimento para Arduinos (IDE). A IDE está disponível em

<https://www.arduino.cc/en/main/software#>

A programação do Arduino está disponível no link em <https://www.ufrb.edu.br/pgea/produtos-e-servicos>.

Esse programa realiza a contagem do número de pulsos em determinado intervalo de tempo através da função *LerFreq(XXX)*. Esse intervalo de tempo da contagem em milissegundos pode ser definido pelo usuário através da variável *intervalo*. Após a contagem é calculada a frequência pela divisão do número de pulsos pelo intervalo de tempo em segundos.

A frequência relativa é calculada pela razão da diferença da frequência medida (*freq*) e a frequência medida no ar (*AR*) pela diferença entre a frequência medida na solução (*H2O*) e a frequência medida no ar (*AR*). Os valores das variáveis *AR* e *H2O* são gravados na memória EEPROM do microcontrolador. Sendo assim, deve-se configurar cada sonda individualmente fazendo as leituras no ar e na água ou em um meio que o usuário defina como condição saturada.

TRANSFERÊNCIA DO CÓDIGO PARA A SONDA

Antes de instalar a IDE do Arduino, é necessário fazer a instalação do Java. Caso já possua o Java instalado, verifique se o mesmo está atualizado. Quando não, basta acessar https://www.java.com/pt_BR/ e baixar o instalador do JAVA. Após verificado a instalação do JAVA, instale a IDE do Arduino.

Instalação dos drivers

Conecte a sua placa e aguarde até que o Windows inicie o processo de instalação de drivers. Depois de alguns instantes, o processo irá falhar. Siga então os passos abaixo para configurar manualmente:

1. Clique no menu iniciar e vá até o Painel de Controle.
2. Selecione Sistema e Segurança > Sistema > Gerenciador de Dispositivos.
3. Procure na seção "Portas (COM e LPT)". Você deverá encontrar um porta aberta chamada "(COMxx)".
4. Clique com o botão direito na porta "(COMxx)" e selecione "Atualizar Driver".

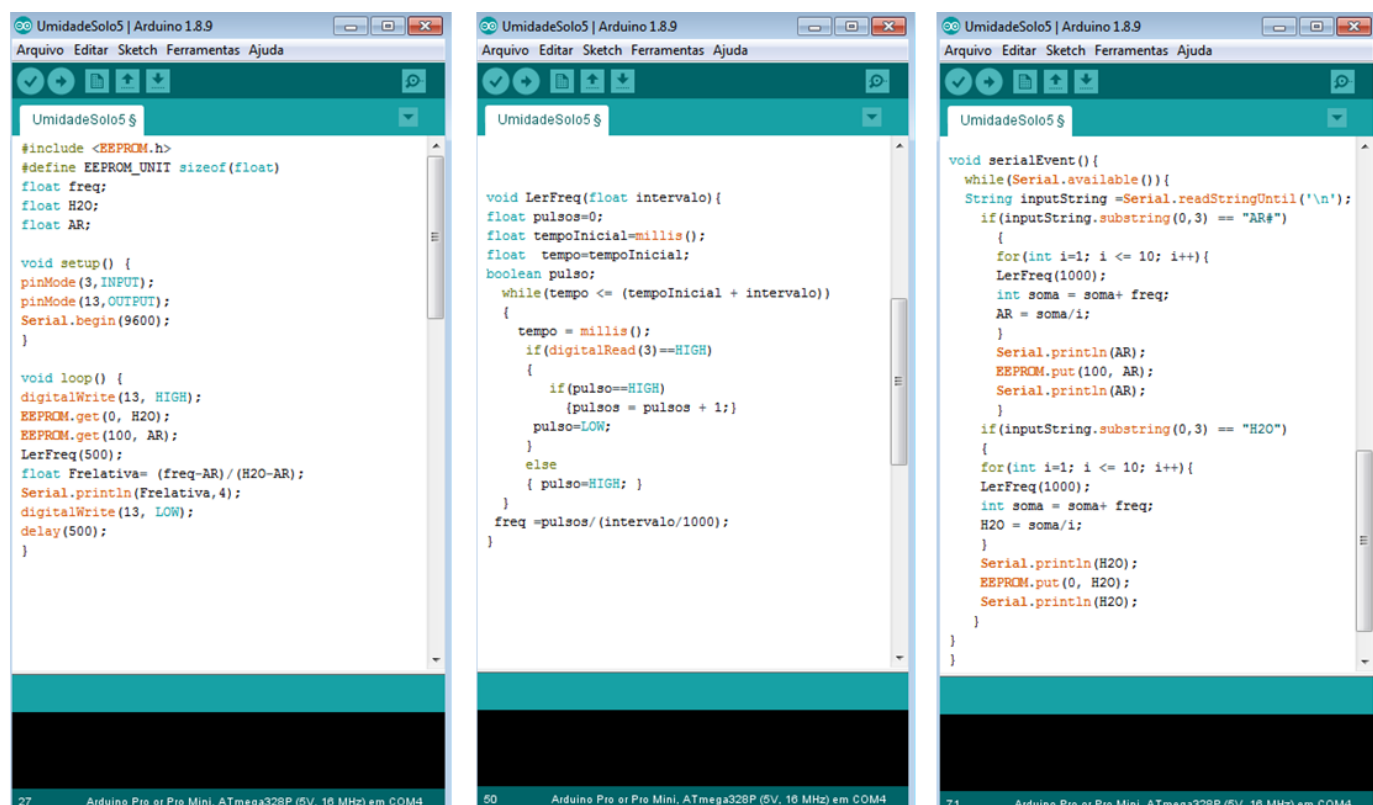
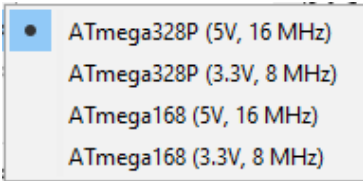


Figura 16- Telas da IDE contendo o código

5. Depois selecione a opção "Procurar software com o Windows update".
6. A partir daí, o Windows completará a instalação dos drivers.

A plataforma Arduino dispõe de inúmeras placas controladores, que diferem em: aplicação, número de portas, *clock* de funcionamento, tensão de alimentação, dentre outras características. Ao transferir o programa para a placa, para evitar problemas de incompatibilidade, deve-se especificar o tipo de placa, bem como a porta na qual aquela placa está conectada ao computador. Siga os passos abaixo para selecionar o tipo de placa e a porta:

1. Clique no menu Ferramentas e selecione a opção "Arduino Pro ou Pro Mini"
 - Verifique qual versão da placa Arduino Pro Mini você dispõe, pois para esta podem ainda haver as seguintes variações referentes ao tipo de processador Atmel presente na placa:



- Na opção Processador, verifique o modelo da sua placa e especifique-o.
2. Ainda no menu Ferramentas, selecione a porta disponível e na qual está conectada a sonda via adaptador FTDI, conforme dito anteriormente. Verifique ainda se existe outro dispositivo conectado ao computador para escolher a porta correta.

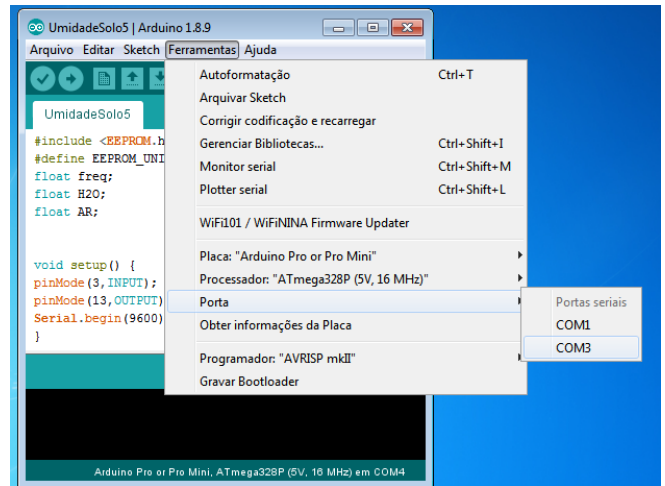


Figura 17- Seleção da placa e da porta serial

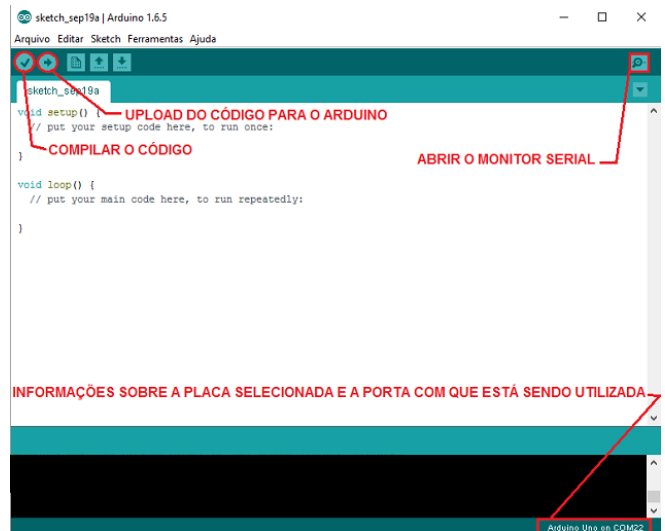


Figura 18- Principais ferramentas da IDE

CONFIGURAÇÃO DA SONDA

A fim de configurar a sonda de forma que ela transmita os dados de frequência relativa é necessário realizar leituras no ar e em solução.

Conecte a sonda ao computador conforme Figura 14. Na IDE do Arduino abra o Monitor Serial (Figura 19)

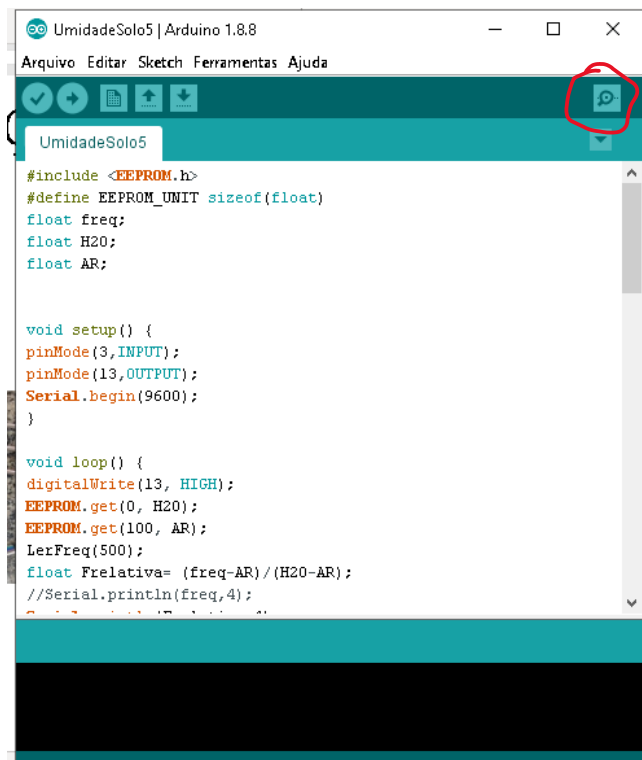


Figura 19- Abrindo o monitor serial do Arduino

Garanta que as hastes da sonda não estejam em contato com qualquer material e digite no Monitor Serial AR# (Figura 20).

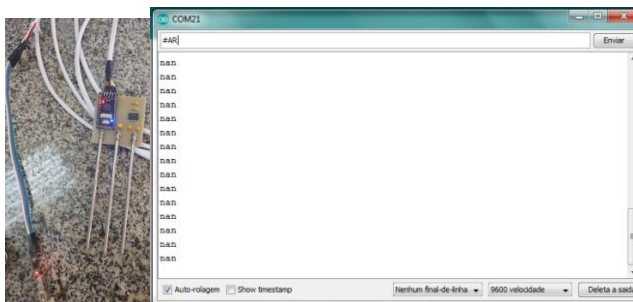


Figura 20- Configuração da sonda- medida no ar

Insira a sonda em um recipiente contendo água ou de preferência uma solução de condutividade elétrica conhecida (usamos uma solução de 2 dS/m de NaCl) e digite no Monitor Serial H2O (Figura 21).

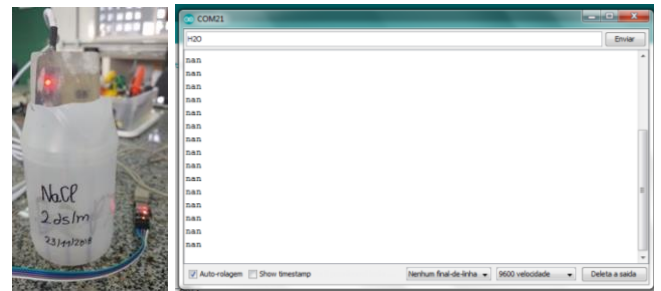


Figura 21- Configuração da sonda- medida na solução

CALIBRAÇÃO

A calibração do solo é o processo de ajuste para uma condição específica de aplicação do sensor eletrônico, para se obter os valores de umidade. Esse processo é indispensável para aplicação do sensor eletrônico, pelo fato de melhorar as leituras de umidade para o solo em que se vai trabalhar.

Para proceder a calibração será necessário utilizar pelo menos um monólito de solo com uma sonda introduzida até a base das hastas, que será acomodado em um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 15 cm de altura. O tubo de PVC terá uma de suas extremidades fechadas com Tecido Não Tecido (TNT). O intuito é manter a drenagem de água livre, mas não perder partículas de solo no processo de calibração.

Após a preparação do monólito, faz-se necessário proceder a saturação e, para isso coloca-se o tubo com solo e sonda no interior de um recipiente com água, que deve atingir até 2/3 da altura do tubo de PVC. O monólito permanecerá no interior do recipiente com água pelo tempo de 24 horas no mínimo.

Ao término da saturação inicia-se a coleta dos valores de frequência relativa e peso. A frequência é coletada conectando a sonda à interface do Arduino no computador e o peso é coletado por meio de uma balança analítica. A frequência e o peso serão coletados até o solo atingir peso constante seco.

Para secagem no fim do processo de calibração se utiliza-se uma estufa de circulação forçada, em que se matem a temperatura constante em 70 °C.

No fim da secagem se faz necessário conhecer a massa de solo e a massa de água em cada leitura, sendo a umidade a razão entre as duas. Para determinação da umidade na calibração será utilizada a equação 1.

$$U = \frac{(p1 - p2)}{(p2 - p3)} \quad (1)$$

Em que: U- é a umidade gravimétrica (g de água/ g de solo); p1-é a massa do tubo de PVC+ TNT+

solo+água+sonda (g); p2- é a massa do tubo de PVC+ TNT+ solo seco+ sonda; p3- é a massa do tubo de PVC+ TNT+ sonda.

Depois de determinar a umidade em cada observação coletada, faz-se uma correlação entre a frequência relativa e o valor de umidade gravimétrica determinada. Essa correlação possibilitará realizar a medição de umidade agora com a sonda, porque o resultado de frequência relativa pode ser convertido em umidade, pois se encontra uma função do tipo: $U = A * X + B$, em que U – a umidade gravimétrica ($g \cdot g^{-1}$); A- o coeficiente angular da reta ;X é a frequência relativa obtida pelo sensor; B- é o coeficiente linear da reta.

Exemplo: A sonda eletrônica de umidade indicou uma frequência relativa de 650, usando a curva de calibração encontrada para um dos nossos solos determine a umidade gravimétrica .

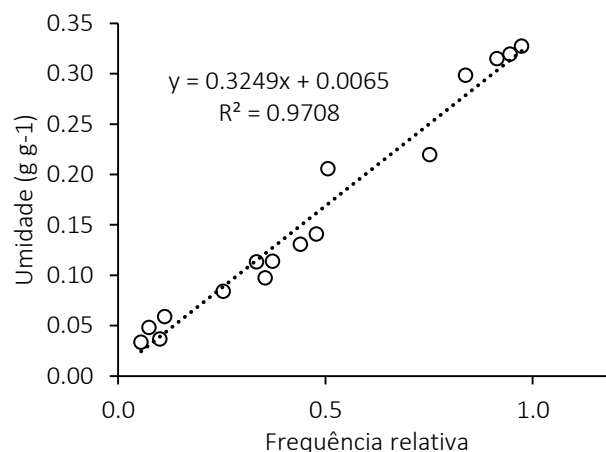


Figura 202- Curva de calibração ajustada para um solo onde se testou a sonda eletrônica.

Resolvendo o Exemplo:

Frequência relativa= 0,75

Função de Calibração:

$$U = 0,3249 \times Fr + 0,0065$$

Substituindo a frequência relativa na função de calibração teremos o valor de umidade.

$$U = 0,3249 \times 0,75 + 0,0065$$

$$U = 0,2502 \text{ (g } \cdot \text{ g}^{-1}) \text{ ou } 25,02 \% \text{ de umidade no solo.}$$

AGRADECIMENTOS

