

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Karim Costa Maluf de Paula

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SENSOR PARA MEDIÇÃO
DE UMIDADE DO SOLO**

Alfenas, 07 de Março de 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SENSOR PARA MEDIÇÃO
DE UMIDADE DO SOLO**

Karim Costa Maluf de Paula

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal de Alfenas como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Msc. Tomás Dias Sant` Ana
Co-Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski

Alfenas, 07 de Março de 2013.

Karim Costa Maluf de Paula

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SENSOR PARA MEDIÇÃO
DE UMIDADE DO SOLO**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Alfenas.

Prof. Dr. Artur Roberto Justiniano Junior

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Msc. Flavio Barbieri Gonzaga

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Célio Wisniewski

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Msc. Tomás Dias Sant'Ana

Universidade Federal de Alfenas

Alfenas, [] de [] de [] .

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou e guiou meu caminho durante esta longa caminhada..

Aos meus pais, Mauricio e Marta pelo exemplo de integridade, respeito e dedicação, ao meu irmão Bruno, a minha namorada Mariana pelo companheirismo, apoio, carinho e atenção em todos os momentos, e aos amigos da Limnologia, Ronaldo e Juan, que colaboraram para que este trabalho desse certo.

Aos professores, Tomás e Célio, que além da paciência e atenção dedicadas, participaram e contribuíram para que este projeto fosse concluído e banca examinadora pela disposição de olhar o meu trabalho.

“Sorte pode levar a um bom resultado. Trabalho e comprometimento são sinônimos de um bom resultado.”

Fred Teixeira

RESUMO

Conhecer o teor de umidade presente em um solo é fundamental durante o cultivo de qualquer tipo de planta e, pensando nisto, este trabalho propõe uma alternativa funcional e a um baixo custo de um sensor para medição de umidade do solo. Utilizando os conceitos de eletricidade e de resistência elétrica aplicados ao solo conseguimos medir, com certo grau de precisão, o teor de umidade presente no solo analisado, podendo assim prever se o solo precisa de água ou não, e esta informação é fundamental para um bom cultivo, visto que não podemos deixar o solo com pouca água e também não podemos deixá-lo com água em excesso pois estas duas condições são prejudiciais para a lavoura. No decorrer deste trabalho será detalhado o funcionamento do sensor desenvolvido, bem como o conceito e tecnologia utilizados para tal aplicação, e os problemas e dificuldades encontrados durante este processo. Ao final, será apresentada uma proposta de trabalho futuro baseada no sensor construído. |

Palavras-Chave: |Sensor, Umidade e Solo |

ABSTRACT

Knowing the moisture content present in a soil is essential for growing any kind of plant, and with this in mind, this paper proposes an alternative functional and low cost of a Sensor for Measuring Soil Moisture. Using the concepts of electricity and electrical resistance applied to the soil can measure with some degree of accuracy, the moisture content in the soil analyzed, thus being able to predict whether the soil needs water or not, and this information is essential for a good cultivation since we can not let the soil with little water and we can not leave him with excess water as these two conditions are detrimental to the crop. In this work will be described operation of sensor developed as well as the concept and technology used for such application, and the problems and difficulties encountered during this process. At the end, we will present a proposal for future work based on sensor built. |

Keywords: |Sensor, humidity and soil. |

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TRIÂNGULO DAS CLASSES TEXTUAIS DE SOLO. FONTE: FALKER, 2010, PÁG.2,.....	18
FIGURA 2 - INTERVALO DO TEOR DE UMIDADE PARA AS CLASSES DE SOLO. FONTE: FALKER, 2010, PÁG.3.	19
FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO DE UM TENSÍOMETRO.....	23
FIGURA 4 - CURVA PARA SOLO BARRO-ARENOSO. FONTE: MENDES, 2006, PÁG. 44.....	27
FIGURA 5 - CURVA PARA O SOLO BARRO. FONTE: MENDES, 2006, PÁG. 44.....	28
FIGURA 6 - CURVA PARA O SOLO BARRO-ARGILOSO.FONTE: MENDES, 2006, PÁG. 44.....	28
FIGURA 7 - ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DO CAPACITOR UTILIZADO NESTE MÉTODO. FONTE: MENDES, 2006, PÁG. 46.	29
FIGURA 8 - CIRCUITO BÁSICO DO SENSOR. FONTE: MENDES, 2006, PÁG. 47,.....	30
FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO DE UM BLOCO CONSTRUÍDO COM GESSO. FONTE: MENDES, 2006, PÁG. 51. ...	31
FIGURA 10 - EMBALAGEM DO HIDROFARM HFM2010.	32
FIGURA 11 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MODELO.....	33
FIGURA 12 - WRAMBO 3 KITS.	35
FIGURA 13 - SENSOR WRAMBO 3 KITS DETALHADO.....	36
FIGURA 14 - VISTA LATERAL DO AQUÁRIO.....	37
FIGURA 15 - VISTA SUPERIOR DO AQUÁRIO.....	37
FIGURA 16 - MEDIÇÃO AFERIDA COM SENSOR 1.	38
FIGURA 17 - VISTA DO SENSOR 1 DURANTE A MEDIÇÃO.....	38
FIGURA 18 - SENSOR 2 DURANTE A MEDIÇÃO.	38
FIGURA 19 - INDICAÇÃO DO SENSOR 2.....	38
FIGURA 20 - MEDIÇÃO AFERIDA NO SENSOR 1.....	39
FIGURA 21 - SITUAÇÃO DO SOLO.	39
FIGURA 22 - SENSOR 2 DURANTE A MEDIÇÃO.	39
FIGURA 23 - SENSOR 2 DURANTE A MEDIÇÃO.	39
FIGURA 24 - MEDIÇÃO AFERIDA COM O SENSOR 1.....	40
FIGURA 25 - CONDIÇÃO DO SOLO DURANTE O TESTE.....	40
FIGURA 26 - ILUSTRAÇÃO DE UM RESISTOR. EM DESTAQUE PODEMOS VER AS FAIXAS DE CORES PARA IDENTIFICAÇÃO. FONTE: : HTTP://WWW.SATELLASOFT.NET/ELETRONICA/MATERIA.PHP?LINK=OS-RESISTORES .43	43
FIGURA 27 - IMAGEM ILUSTRATIVA DO POTENCIÔMETRO DIGITAL UTILIZADO NESTE TRABALHO. FONTE: HTTP://WWW.FARNELLNEWARK.COM.BR/CIDIGITALPOT100K,PRODUCT,1216103,4599073.ASPX	44
FIGURA 28 - ESQUEMA DE PINOS DO POTENCIÔMETRO DIGITAL. FONTE: INTERSIL, 2009, PÁG.1.....	44
FIGURA 29 - IMAGEM ILUSTRATIVA DO PIC18F4550. FONTE: HTTP://STORE.MELABS.COM/PROD/PIC4550.HTML	45
FIGURA 30 - ESQUEMA DOS PINOS DO PIC18F4550. FONTE: MIYADAIRA, 2009, PÁG. 139.	46
FIGURA 31 - ESQUEMA DO CIRCUITO DO SENSOR.	49
FIGURA 32 - PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR.	53
FIGURA 33 - BALANÇA CALBRADA.	53
FIGURA 34 - 30 G DE SOLO.....	53
FIGURA 35 - PESO DO SOLO AO FINAL.....	53
FIGURA 36 - DADOS MEDIDOS DURANTE O EXPERIMENTO.....	54

FIGURA 37 - GRÁFICO GERADO A PARTIR DOS DADOS COLETADOS.	55
FIGURA 38 - SENSOR DESENVOLVIDO.	56
FIGURA 39 - TELA INICIAL DO SOFWTWARE.	57
FIGURA 40 - SENSOR CONECTADO.	58
FIGURA 41 - SENSOR CALIBRADO.	59
FIGURA 42 - EXEMPLO INDICANDO SOLO ÚMIDO.	59
FIGURA 43 - EXEMPLO INDICANDO SOLO SECO.	60
FIGURA 44 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO	61
FIGURA 45 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR WRAMBO 3 KITS.....	61
FIGURA 46 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR HIDROFARM.....	62
FIGURA 47 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO	62
FIGURA 48 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR HIDROFARM.....	63
FIGURA 49 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO	63
FIGURA 50 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR WRAMBO 3 KITS	64
FIGURA 51 - RESULTADO APRESENTADO PELO SENSOR HIDROFARM.....	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CÓDIGO DE CORES PARA IDENTIFICAÇÃO DE RESISTORES. FONTE: YOUNG, 2006, PÁG. 140.	43
TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE AS PORTAS DO PIC E DO POTENCIÔMETRO DIGITAL.	46

LISTA DE ABREVIACOES

API	Application Programming Interface (Interface de Programaco de Aplicativos).
BIT	Binary Digit (Dgito Binário)
CC	Capacidade de Campo
CPU	Unidade Central de Processamento
COM	Comunicao
ISAF	Impedância do Solo em Alta Frequência
LCD	Liquid Crystal Display (Display de Cristal Lquido)
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
PIC	Programmable Interface Controller (Interface de Controle Programável)
PMP	Ponto de Murcha Permanente
USB	Universal Serial Bus (Barramento Serial Universal)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	15
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	15
1.3 OBJETIVOS GERAIS.....	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 UMIDADE DO SOLO.....	17
2.2 PONTO DE MURCHA PERMANENTE (PMP) E CAPACIDADE DE CAMPO (CC).....	17
2.3 ELETRICIDADE.....	20
2.4 MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO.....	21
2.4.1 Considerações Iniciais.....	21
2.4.2 Método da Estufa.....	21
2.4.3 Método do Tensiômetro.....	22
2.4.4 Método das pesagens.....	24
2.4.5 Método do Acetileno.....	25
2.4.6 Método da Reflectometria no Domínio do Tempo.....	25
2.4.7 Método Acústico.....	26
2.4.8 Método da Capacitância Elétrica.....	29
2.4.9 Método dos Blocos de Resistência Elétrica.....	30
3 DESENVOLVIMENTO.....	32
3.1 SENSORES EXISTENTES.....	32
3.1.1 Medidor Eletrônico de Umidade do Solo HydroFarm HFM2010.....	32
3.1.2 Sensor de Umidade do Solo WRambo 3 Kits.....	34
3.1.3 Testes com Modelos Existentes.....	36
3.2 O PROJETO.....	41
3.2.1 Considerações Iniciais.....	41
3.2.2 Materiais Utilizados.....	42
3.2.2.1 Placa de Circuito.....	42
3.2.2.2 Resistores.....	42
3.2.2.3 Potenciômetros Digitais.....	43
3.2.2.4 Microcontrolador PIC.....	45
3.2.2.5 Porta <i>USB</i>	47
3.2.2.6 Ambientes de desenvolvimento.....	47
3.2.3 O Sensor.....	48
3.2.3.1 Calibração.....	49
3.2.3.2 Determinando o teor de umidade do solo em função da resistência elétrica.....	51
3.2.4 Resultados.....	55
3.2.5 Software.....	56
3.2.6 Comparativo.....	60
4 DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	66
4.1 COMUNICAÇÃO.....	66
5 CONCLUSÃO.....	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

|

1 Introdução

Neste capítulo será apresentada uma visão geral sobre o tema que será tratado neste trabalho. Na seção 1.1 são apresentadas as justificativas e a motivação do trabalho. Na seção 1.2 é discutido o problema que envolve o tema proposto e na seção 1.3 são mostrados os objetivos os quais este trabalho se propõe a realizar.

Saber a quantidade de água presente no solo é de fundamental importância seja na agricultura, onde a umidade é essencial para o correto cultivo evitando perdas por excesso ou por falta de água, ou na engenharia onde esta informação é importante na hora de iniciar as construções, pois negligenciar esta informação pode comprometer toda a estrutura da construção com o passar do tempo, se esta não for corretamente impermeabilizada.

Devido à importância que este assunto tem alcançado, existem diversos trabalhos nesta área tanto no estudo sistema-solo-atmosfera, quanto na proposta de formas alternativas para se determinar o teor de umidade presente no solo. E há também diversas propostas de aperfeiçoamento de métodos já existentes. Durante as pesquisas para elaboração deste trabalho encontramos diversos métodos para determinar a umidade do solo que apresentam certo grau de precisão e com um custo relativamente baixo. Há também alguns métodos um pouco mais complexos, mas que compensam a complexidade com um grau de precisão e confiabilidade maior.

Para embasar os resultados do nosso trabalho e termos condições de validar seus resultados, adquirimos duas opções de sensores presentes no mercado uma a um custo mais baixo, em torno de R\$ 60,00, conhecida como WRambo Kits e outra um pouco mais elaborada, fornecida pela empresa FALKER, que nos concedeu um empréstimo de um de seus modelos para que pudéssemos utilizar, o HidroFarm HFM2010. Para adquirir uma unidade deste sensor, o custo seria de R\$ 1.500,00.

Desta forma, este trabalho apresenta uma proposta para medição da umidade do solo oferecendo boa precisão a um baixo custo e com possibilidade de evoluir para um projeto de sensores sem fio, automatizando ainda mais a forma como a medição é realizada.

1.1 Justificativa e Motivação

Um sensor de umidade do solo é uma ferramenta muito útil nos dias atuais, tanto para um bom cultivo quanto para economizar recursos. Com um sensor em mãos pode-se saber exatamente quando é a hora de irrigar o solo e quando é a hora de parar, evitando assim que o cultivo morra tanto pelo excesso quanto pela falta de água.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo produzir uma alternativa de baixo custo para medição da umidade do solo.

1.2 Problematização

Propor um sensor de umidade do solo eficiente e de baixo custo para uso nos diversos solos presentes no Brasil.

1.3 Objetivos Gerais

Desenvolver um sensor de umidade do solo de baixo custo.

1.4 Objetivos Específicos

- Verificar sensores já existentes;

- Realizar testes utilizando sensores de umidade do solo já existentes e estudar os resultados;
- Propor uma alternativa eficiente e de baixo custo;
- Elaborar a monografia resultante com os resultados das pesquisas e do desenvolvimento

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta conceitos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho e os métodos para determinar o teor de umidade do solo já conhecidos.

2.1 Umidade do Solo

Saber o teor de umidade presente em um solo é essencial, seja em grandes lavouras ou em pequenos jardins. Para um bom cultivo, o solo deve estar em perfeito equilíbrio para poder fornecer água e os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas. Porém nem sempre a água irá fazer bem para o solo e para as plantas uma vez que, em excesso ela pode se tornar prejudicial, o que muita gente, principalmente em jardins residenciais, não sabe visto que costumam ‘regar as plantas’ até que o solo transborde para não faltar água à planta em longos períodos sem irrigação. Esses conceitos, conhecidos como Ponto de Murcha e Capacidade de Campo serão detalhados mais adiante.

2.2 Ponto de Murcha Permanente (PMP) e Capacidade de Campo (CC)

Seja em uma plantação ou em um simples jardim, o solo tem o papel de armazenar e fornecer água e nutrientes às plantas. Conforme a quantidade de água presente no solo, as plantas terão mais facilidade ou dificuldade para extrair a água e os nutrientes necessários para seu desenvolvimento. A água em excesso pode prejudicar a absorção dos nutrientes por parte da planta. Dois fatores que indicam estes limites são o Ponto de Murcha Permanente e a Capacidade de Campo. (FALKER, 2010)

O PMP e o CC são dois atributos fundamentais na medição da umidade do solo.

O Ponto de Murcha Permanente indica o limite de umidade na qual a planta já não consegue mais obter água do solo, isto é, a partir de uma determinada umidade a planta já não irá mais absorver água do solo. A Capacidade de Campo indica o máximo de água que o solo pode reter, ou seja, a partir de um determinado ponto não adianta mais irrigar o solo, pois este não irá conseguir reter a água e ela será perdida em escoamento superficial, por exemplo. (FALKER, 2010)

Os valores de CC e PMP são distintos para cada tipo de solo, e, no caso do Brasil em que existem 13 diferentes tipos de solos classificados de acordo com o teor de argila, silte e areia presentes no solo, foi criado um triângulo pra ajudar a identificar em qual tipo de solo sua plantação se encontra. (FALKER, 2010)

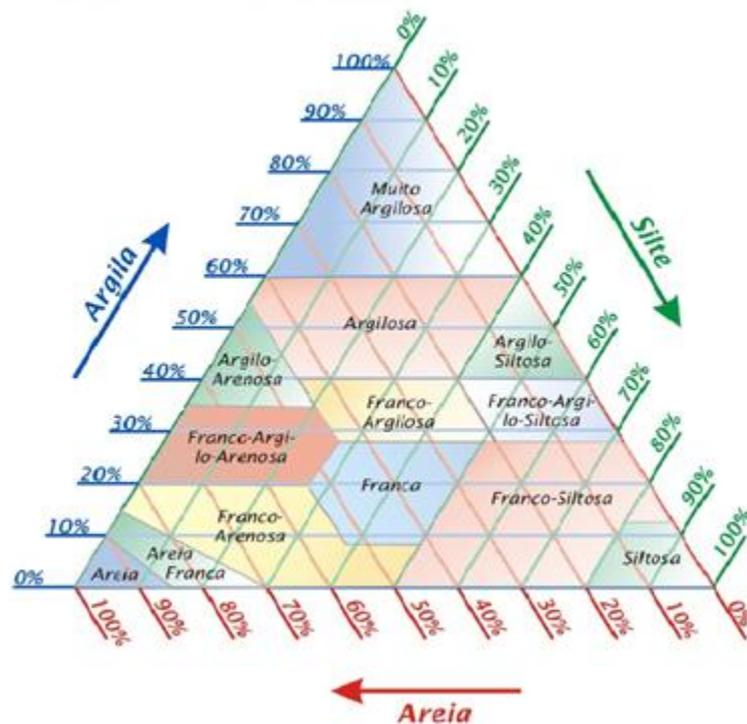


Figura 1 - Triângulo das classes textuais de solo. Fonte: Falker, 2010, pág.2,

Sabendo o tipo do solo basta olhar neste outro gráfico para descobrir os valores do CC e do PMP para o solo em questão, lembrando que estes valores são dados de pesquisa e podem apresentar algumas variações, portanto devem ser usados como valores de referência:



Figura 2 - Intervalo do teor de umidade para as classes de solo. Fonte: Falker, 2010, pág.3.

Desta forma, podemos perceber quão importante é poder determinar o teor de umidade presente no solo e a relevância de se desenvolver mais uma ferramenta com tal propósito. Com esta ferramenta e os dados disponibilizados nas tabelas acima podemos otimizar o cultivo, evitando o desperdício e a falta de água.

2.3 Eletricidade

Neste tópico veremos conceitos importantes sobre eletricidade e componentes elétricos que serão utilizados no desenvolvimento do sensor aqui proposto.

A eletricidade é um fenômeno físico originado por cargas elétricas estáticas, ou em movimento. Esse fenômeno pode acontecer no vácuo ou em materiais (condutores, dielétricos, supercondutores, etc.), e, quando uma série de cargas se deslocam no mesmo sentido, temos uma corrente elétrica I . Podemos medir o valor de I através da quantidade de cargas elétricas (ΔQ) que passam por uma determinada seção transversal do condutor em um intervalo de tempo (Δt), tendo como unidade de medida o Ampère A (coulomb/s). Abaixo temos a equação para calcular a intensidade da corrente elétrica: (YOUNG, 2006)

$$I = \Delta Q / \Delta t \quad (1)$$

Outra grandeza fundamental é o potencial elétrico V (medido em volts) ou o potencial necessário para que ocorra o deslocamento das cargas. A força elétrica que atua sobre a carga é igual ao gradiente deste potencial. Ao deslocamento das cargas em qualquer material, mesmo nos excelentes condutores elétricos, haverá uma oposição ao movimento denominada de resistência elétrica R (medida em Ω - Ohms), originada dos choques entre elétrons ou pelos elétrons sendo atraídos por núcleos positivos. A resistência elétrica depende da temperatura, das dimensões e das características intrínsecas do condutor. Quando o comportamento do condutor é linear, a resistência elétrica pode ser calculada pela equação: (YOUNG, 2006)

$$V = IR \quad (2)$$

Conhecida como Lei de Ohm essa lei nos diz que à temperatura constante o potencial elétrico é proporcional à corrente elétrica no condutor. A constante de proporcionalidade é a resistência elétrica do condutor.

2.4 Medição da Umidade do Solo

Neste tópico apresentaremos uma visão geral sobre as técnicas existentes para medir a umidade do solo.

2.4.1 Considerações Iniciais

Segundo Mendes (2006), existem atualmente diversos métodos capazes de medir e indicar o grau de umidade do solo, cada um com certo grau de precisão e dificuldade, custo e aplicabilidade, porém todos confiáveis e bem conceituados. Um estudo sobre estes métodos foi feito para embasar e encontrar elementos em comum que possam ajudar no desenvolvimento do sensor proposto.

Durante este estudo foi levantado que existem dois tipos de medição: os diretos e os indiretos. Nos métodos diretos a água é extraída e quantificada de uma amostra do solo; Já nos métodos indiretos, leva-se em consideração as propriedades físicas do solo tais como resistência elétrica, pressão, capacitância, etc. (MENDES, 2006)

2.4.2 Método da Estufa

Segundo Klar, o Método da Estufa é um método direto que consiste em pesar amostras úmidas e secas do solo e determinar o teor de umidade. As amostras do solo analisado devem ser armazenadas em um recipiente hermeticamente fechado ou refrigerado para não perder a umidade até a primeira pesagem. Ao chegar no laboratório, a amostra é pesada e colocada por não menos que 24 horas em uma estufa a 105 °C, até o peso ficar constante. Com o peso da amostra seca em mãos, calcula-se a umidade conforme a equação:

$$\%umidade = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde m_u , m_s e m_w são, respectivamente, peso da amostra úmida, peso da amostra seca e peso da água evaporada na estufa. Este resultado nos indica o teor a umidade do solo com base no peso seco. (KLAR, 1984) Podemos também apresentar o teor de umidade do solo com base no volume (θ), através das equações: (KLAR, 1984)

$$\Theta = \frac{V_w}{V_t} \quad (4)$$

Sendo que,

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w} \quad \text{E} \quad V_t = \frac{m_s}{\rho_a} \quad (5)$$

Logo,

$$\theta = \frac{m_w}{m_s} \times \rho_a \quad (6)$$

Onde V_w , V_t , ρ_w , ρ_a , m_s , e m_w são, respectivamente, volume de água na amostra, volume total da amostra, peso específico da água, peso aparente do solo, peso da amostra seca e peso da água evaporada na estufa. (KLAR, 1984)

De acordo com Mendes (2006), este método embora seja simples não oneroso e servir de referência para dos demais métodos é demorado e trabalhoso, se tornando inviável sua utilização nos casos em que se necessita de resultados rápidos e precisos. (MENDES, 2006)

2.4.3 Método do Tensiômetro

Para utilização deste método necessitamos de um equipamento formado por um tubo de metal ou de plástico, com uma cápsula porosa geralmente de cerâmica na extremidade inferior, e na parte superior um manômetro e um local para adição de água, como é mostrado na figura abaixo: (MENDES, 2006)

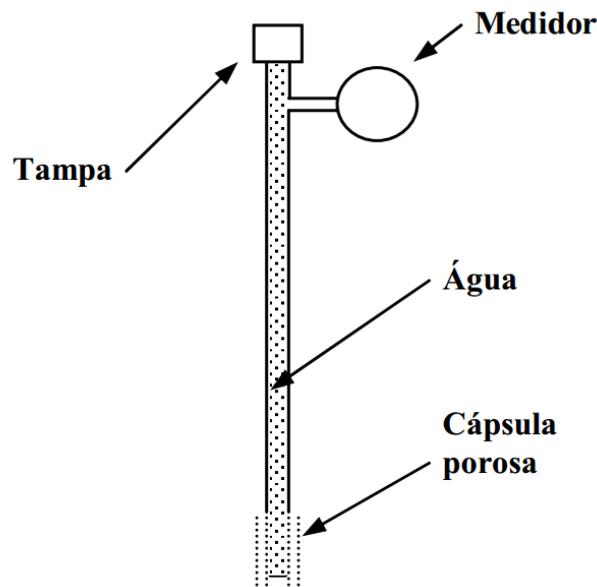


Figura 3 - Ilustração de um Tensiômetro.

O Método do Tensiômetro se utiliza deste aparelho para medir diretamente o potencial matricial de água no solo e indiretamente o teor de umidade do solo. Para um correto funcionamento é necessário uma continuidade hidráulica desde a membrana porosa até o manômetro. Para que isso ocorra, retira-se o ar da membrana porosa através de uma bomba de vácuo. Isso pode ser conseguido realizando os seguintes passos:

- Preencher o tubo com água destilada;
- Mergulhar o Tensiômetro por mais de 48 horas em um recipiente contendo água abaixo do nível de água encontrado dentro do tubo e ao mesmo tempo cobrindo a membrana porosa;
- Fazer a sucção da água através da membrana porosa com uma bomba a vácuo até parar a subida de bolhas de ar;
- Completar o tubo com água e fechá-lo;
- Após isto, retirar o Tensiômetro do recipiente com água e pendurá-lo para que a água evapore através da cápsula;
- Esperar até que o manômetro atinja pelo menos 50 kPa;
- Em seguida, colocar a cápsula no recipiente com água. Se tudo correu bem, o manômetro deve rapidamente indicar um valor entre zero e cinco kPa, caso

contrário, será necessário revisar o Tensiômetro quanto à entrada de ar e testá-lo novamente caso a pressão não caia para este valor. (MENDES, 2006)

Feito este processo de calibração do tensiômetro, este deve ser instalado com a membrana porosa em contato com o solo. Se a água do solo estiver em um potencial mais baixo que a água contida nos poros da membrana, um deslocamento de água se iniciará através dos polos saturados criando uma sucção no tensiômetro que será registrada pelo manômetro. Quando o solo for umedecido, o deslocamento se dará no sentido inverso, podendo também ser notado através do manômetro. (MENDES, 2006)

Mendes (2006) diz que os tensiômetros podem ser encontrados com manômetros metálicos, que possuem uma manutenção e instalação mais fácil além de mais seguros em termos de proteção ambiental; ou com manômetros de mercúrio, que são mais utilizados devido a sua melhor sensibilidade e custo menor. Podemos também substituir os manômetros por sensores eletrônicos, aumentando a precisão e permitindo um monitoramento contínuo e automatizado do sistema.

2.4.4 Método das pesagens

O Método das Pesagens se utiliza da saturação da água da amostra do solo, encontrando um padrão que servirá de referência para as determinações futuras da umidade do mesmo. (MENDES, 2006)

Para se conhecer o teor de umidade do solo, retiramos uma amostra de 100g do solo com metade de água no frasco utilizado como padrão, faz-se a homogeneização água-solo, completa-se o frasco com água até atingir o volume de 500 ml e pesa-se o frasco, obtendo o peso m_2 . Sendo assim, o teor de umidade do solo com base no peso úmido, u , é determinado pela equação: (MENDES, 2006)

$$u = (m_1 - m_2) \times \frac{p_r}{p_r - 1} \quad (7)$$

Sendo que p_r é o peso específico real do solo.

Para expressar o resultado com base no peso seco, usamos a seguinte equação:

$$\% \text{umidade} = \frac{100 \times u}{100 - u} \quad (8)$$

Segundo Klar (1984), este método é demorado, simples, barato e apresenta boa precisão para fins práticos.

2.4.5 Método do Acetileno

Segundo Klar (1984), para medição do teor de umidade do solo utilizando este método retira-se uma amostra do solo e armazena-a em um ambiente hermeticamente fechado, juntamente com carbureto de cálcio em excesso. A pressão será medida neste recipiente através de um manômetro e o teor de umidade do solo é diretamente proporcional a esta pressão. Por ser rápido, simples e barato, este método é indicado para casos sem muita exigência de precisão.

2.4.6 Método da Reflectometria no Domínio do Tempo

Este método, até certo ponto, se assemelha em alguns aspectos ao método proposto neste trabalho devido ao fato de utilizar a condutividade elétrica para determinar o teor de umidade do solo.

Mendes (2006) explica que para determinar a umidade utilizando este método, o tempo de reflexão de pulsos elétricos propagados ao longo de uma sonda introduzida ao solo. Esta sonda é composta por duas hastes que atuam como um guia para um pulso elétrico, se propagando no solo como uma onda plana. Neste caso, as hastes atuam como condutores e o solo como meio dielétrico. Juntando-se o fato de as propriedades dielétricas do solo serem influenciadas por sua umidade e a constante dielétrica da água (80,4 K) ser muito maior que a do ar (1,0) e dos constituintes do solo (entre 3,0 e 7,0), sempre com base na temperatura de 293 K, podemos monitorar a umidade do solo utilizando suas propriedades dielétricas como base. Esta técnica determina a constante dielétrica do solo através da medição do tempo de propagação da onda eletromagnética no mesmo.

Podemos expressar a relação entre a velocidade de propagação (v) no meio e a constante dielétrica pode ser expressa, aproximadamente, por:

$$v = \frac{c}{\epsilon^{0,5}} \quad (9)$$

Sendo $c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ (velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo) e ϵ correspondendo a constante dielétrica aparente.

Para determinar a velocidade de propagação (v), precisamos saber do comprimento (l) da linha de transmissão no solo das duas hastes da sonda ($2 \times l$) e pelo tempo (t) que o sinal leva para percorrer todo o percurso. Com esses dados, conseguimos a velocidade através da fórmula:

$$v = \frac{2 \times l}{t} \quad (10)$$

Por sua vez, a constante dielétrica pode ser calculada por:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{c \times t}{2 \times l}} \quad (11)$$

Com este método conseguimos uma leitura rápida e de uma maneira prática. Por possibilitar a aquisição de dados em tempo real, pode ser utilizado em sistemas automatizados de irrigação, além de permitir a determinação simultânea da constante dielétrica e a condutividade elétrica do solo. (MENDES, 2006)

2.4.7 Método Acústico

Este método se baseia na relação existente entre a velocidade de propagação do som no solo e o grau de saturação de água. Essa relação pode ser expressa através da fórmula abaixo:

$$v = \varphi \sqrt{\frac{0,306 \times a \times p_e^{\frac{1}{3}}}{p_{tot} \times f}} \quad (12)$$

Onde:

- φ é o Fator de Amplificação;
- p_e é a Pressão Eficaz;
- p_{tot} é a Densidade Total;
- f é a porosidade do solo;
- $p_{tot} \times f$ é um produto que pode ser escrito em termos do grau de saturação do solo.

O fator de amplificação depende das propriedades granular do solo, mais pode ser determinado experimentalmente com a medição da velocidade do som em uma amostra de solo; Já a pressão eficaz pode ser definida através da pressão do ar e da pressão de capilaridade¹, podendo ser escrita em termos do grau de saturação do líquido; A densidade total pode ser expressa em termos da densidade do solo e da água. Por fim, o grau de saturação do solo pode ser definido através da fórmula: (MENDES, 2006)

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (13)$$

Sendo que V_w é o volume do conteúdo de água no solo e V_v o volume do conteúdo de água juntamente com o volume do conteúdo de ar no solo. [3]

Abaixo temos algumas curvas que relacionam a velocidade do som e o grau de saturação de alguns tipos de solo: (MENDES, 2006)

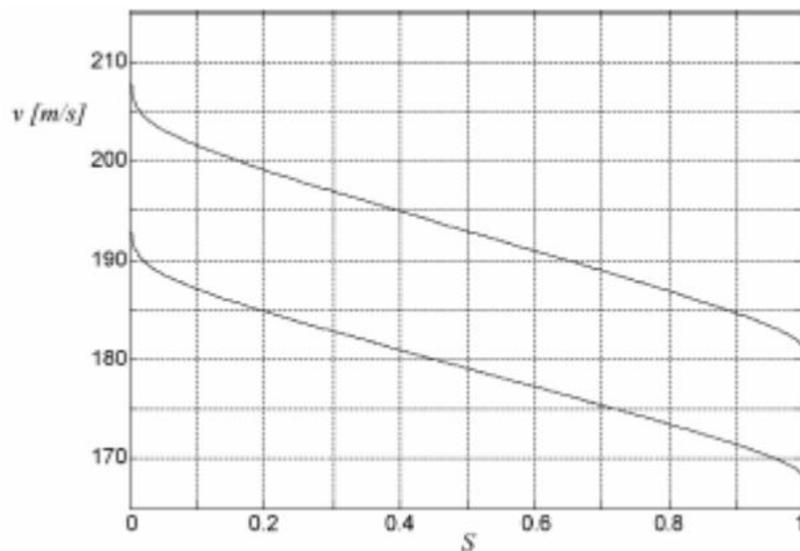


Figura 4 - Curva para solo barro-arenoso. Fonte: Mendes, 2006, pág. 44.

¹ Pressão de capilaridade é a pressão capaz de fazer um líquido subir por um tubo muito fino.

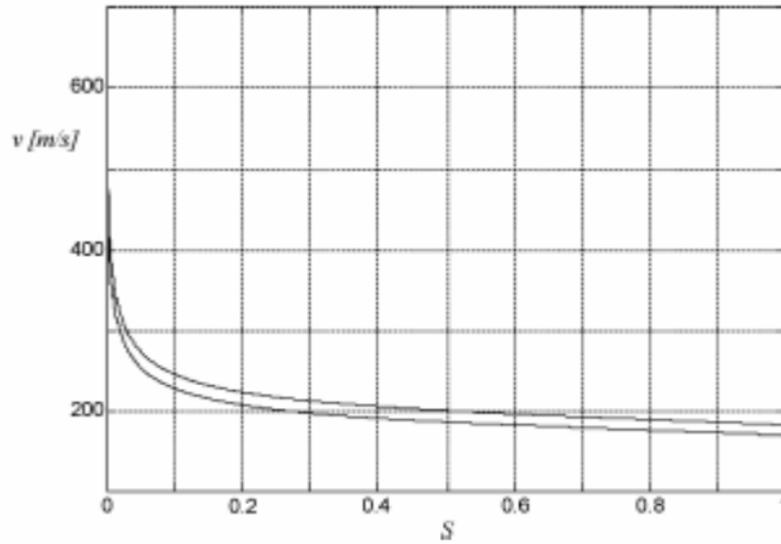


Figura 5 - Curva para o solo barro. Fonte: Mendes, 2006, pág. 44.

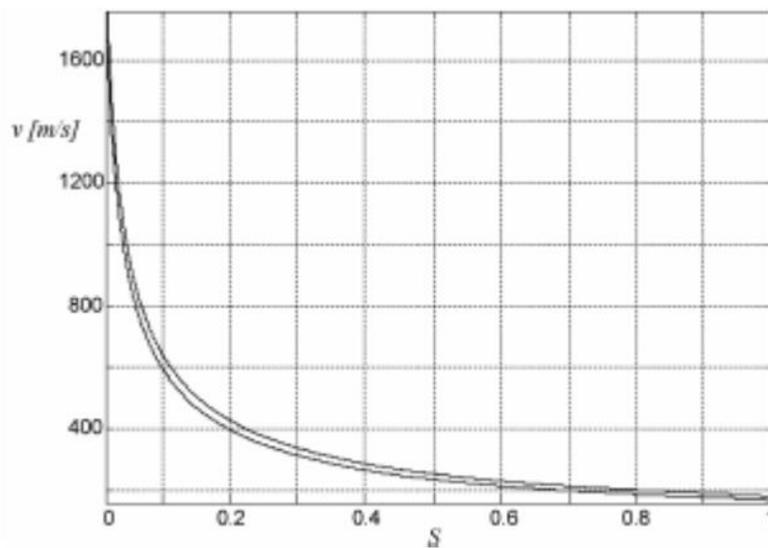


Figura 6 - Curva para o solo barro-argiloso. Fonte: Mendes, 2006, pág. 44.

Desta forma, este sensor é uma solução simples e de custo eficaz podendo ser utilizado para obtenção da umidade do solo através da velocidade do som.

2.4.8 Método da Capacitância Elétrica

Método também semelhante ao proposto neste trabalho, porém utilizando a capacitância elétrica através da permissividade de um material poroso contido entre as placas paralelas de um capacitor. A capacitância pode ser obtida através da fórmula:

$$C = \frac{E \times S}{d} \quad (14)$$

Onde E é a permissividade elétrica, S a área das placas e d a distância entre as placas.

Neste método, o capacitor é construído com um material poroso dielétrico entre duas placas de cobre permitindo assim que a umidade do material poroso entre em equilíbrio com a umidade do solo. Sendo assim, a permissividade do material irá variar de acordo com o teor de umidade do solo, ou seja, aumentando a umidade do solo no qual o capacitor está inserido o material poroso entre as placas irá absorver certa quantidade de água contribuindo para sua permissividade elétrica e, inversamente, quando o solo estiver seco, este material irá perder água diminuindo assim sua permissividade elétrica. Logo abaixo temos um esquema deste capacitor: (MENDES, 2006)

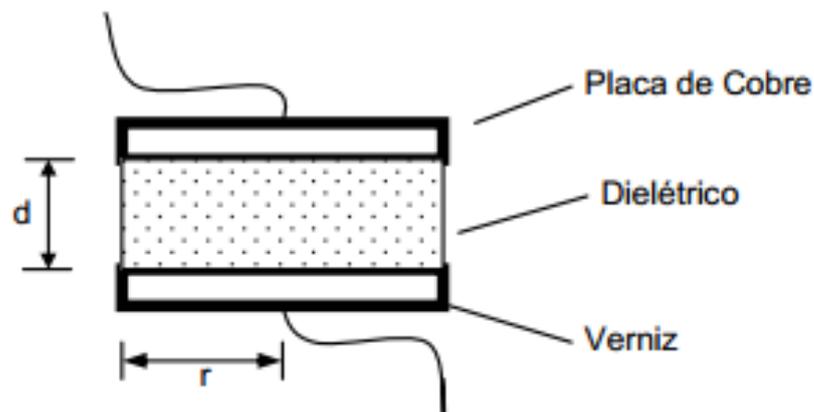


Figura 7 - Esquema de construção do capacitor utilizado neste método. Fonte: Mendes, 2006, pág. 46.

Apresentamos também um circuito básico para o funcionamento do sensor:

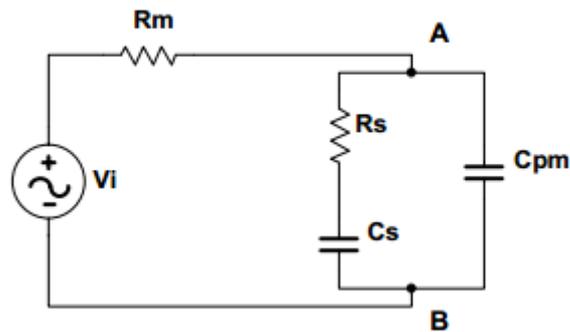


Figura 8 - Circuito Básico do Sensor. Fonte: Mendes, 2006, pág. 47,

Após testes em diversos tipos de solos percebeu-se que o sensor construído desta maneira não possibilitaria uma curva universal de calibração, porém isso não torna o sensor inutilizável, apenas requer que se tenha o cuidado de calibrar o sensor de acordo com o tipo de solo que se deseja estudar. (MENDES, 2006)

2.4.9 Método dos Blocos de Resistência Elétrica

Neste método, que também se utiliza do conceito de eletricidade para determinar a umidade do solo, de acordo com Mendes (2006) são construídos blocos com materiais capazes de absorver água (cimento, argila, gesso, fibra de vidro, etc.). Estes blocos ao serem inseridos no solo tendem a perder ou absorver água para manter o equilíbrio com o solo. Como cada bloco possui um par de eletrodos, a resistência elétrica entre eles irá variar na razão inversa da umidade do solo. Estudos mostram que, entre todos os materiais citados acima, os blocos de gesso é o material que oferece pouca precisão e baixa durabilidade, porém apresenta grande vantagem em medições continuadas em campo, porém sofre influência na sua condutibilidade elétrica de acordo com a variação de sua temperatura. Mas este problema pode ser contornado adicionando um sensor de temperatura ao sistema.

Na figura abaixo podemos ver, sem escala, do lado esquerdo o desenho de um bloco com suas dimensões, os fios necessários para conexão com o eletrodo do resistor elétrico e com um sensor de temperatura e suas dimensões, e, do lado direito, podemos

ver um corte deste bloco, onde podemos ver os eletrodos da resistência elétrica. (MENDES, 2006)

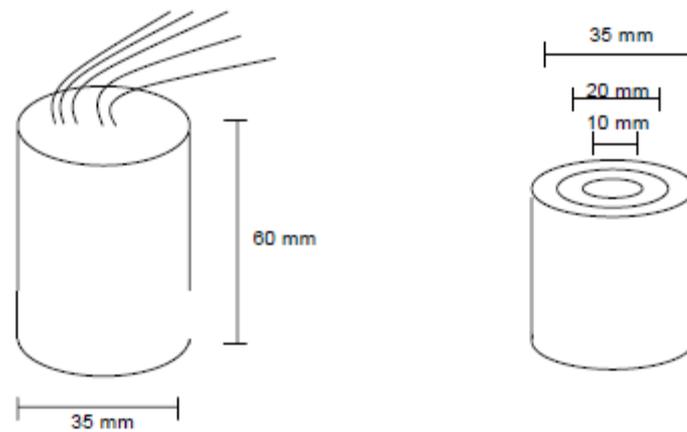


Figura 9 - Ilustração de um Bloco construído com gesso. Fonte: Mendes, 2006, pág. 51.

3 Desenvolvimento

Neste capítulo serão apresentados modelos de sensores já existentes no mercado que foram adquiridos para testes. Além disso, será apresentado o sensor proposto nesta monografia.

3.1 Sensores existentes

3.1.1 Medidor Eletrônico de Umidade do Solo HydroFarm HFM2010

Para realizações de testes e comparação, foi cedido através de um empréstimo pela empresa Falker, atuante no ramo de automação agrícola, um medidor eletrônico de umidade do solo modelo HFM2010 para que pudéssemos utilizar durante o desenvolvimento deste trabalho. O sensor disponibilizado pela empresa é o que consta na figura abaixo:



Figura 10 - Embalagem do HydroFarm HFM2010.

Confira a tabela com as especificações técnicas deste modelo:

Especificações Técnicas

	HFM2010	HFM2030
Escala de Medição	0 a 60% ¹	
Resolução da Medição	0,10%	
Precisão da Medição	±3% ²	
Duração de uma Medição	Menos que 2 s	
Volume de Medição	Cilindro de aprox. 15cm de raio e 20 cm de profundidade ³	
Comprimento da Área Ativa	20 cm	
Compensação de Temperatura	Sim	
Temperatura de Operação	0 a 50 °C	
Indicações ao Usuário	Visor LCD 2 linhas x 16 caracteres Indicação sonora	
Teclas	4 teclas para operação 1 tecla liga / desliga	
Capacidade de Memória	30 medições	4000 medições
Comunicação com PC	Não	USB ou Serial ⁴
Alimentação	2 pilhas AA, alcalinas ou recarregáveis	
Duração das Pilhas	Mais que 25 horas de uso, com pilhas alcalinas	
Peso Medidor	280 g (com pilhas)	
Peso Sensor	190g	

Figura 11 - Especificações técnicas do modelo.

Este sensor apresenta seus resultados utilizando a % como unidade volumétrica.

Para realizar a medição do solo o HidroFarm utiliza uma tecnologia exclusiva denominada *ISAF* (Impedância do Solo em Alta Frequência). Por ser uma tecnologia proprietária, não pudemos obter mais detalhes sobre seu funcionamento, porém a empresa garante que a tecnologia *ISAF* permite um maior volume de solo analisado, sendo que cada medição representa com mais exatidão a umidade do solo de modo geral, além de sofrer uma baixa influência as variações de tipos de solo. (FALKER, 2010)

Este sensor é composto de uma unidade sensora, um medidor, e um cabo para realizar a comunicação entre os dois. Cada unidade sensora tem a capacidade de armazenar localmente suas configurações, o que possibilita que o mesmo medidor possa ser conectado a diversas unidades sensoras sem que isso afete sua precisão. Além disto,

o medidor apresenta uma capacidade de memória para armazenar até 30 medições. (FALKER, 2010)

A operação do medidor é feita através de seu visor *LCD* e das 4 teclas presente no equipamento. Os resultados das medições aferidas e diversas outras informações ou avisos são exibidos para o usuário no visor *LCD*. (FALKER, 2010)

Conforme nos informa a Falker (2010), para facilitar a rotina do usuário, o sensor é resistente a chuva e poeira, podendo ser deixado permanentemente no solo ou ser introduzido apenas no momento em que se for realizar a medição. A precisão da medição esta relacionada à forma como a unidade sensora esta instalada, sendo assim, para garantir uma melhor qualidade dos dados colhidos à área ativa do sensor deve estar em contato permanente com o solo, não podendo ter espaços entre a área ativa do sensor e o solo. (FALKER, 2010)

Outra funcionalidade que pode ser bastante útil ao usuário e está presente neste sensor é a capacidade de ver a média de todas as medições que estão presentes na memória do equipamento, sendo assim, o usuário pode ter um dado a mais no monitoramento e cuidado do solo de sua plantação. A empresa recomenda que se realize 2 ou 3 medições em cada ponto e utilize a média para obter o resultado final, pois podem ocorrer pequenas variações devido a interferências eletrônicas, além de seguir sempre o mesmo padrão de posicionamento da unidade sensora em todas as medições. (FALKER, 2010)

3.1.2 Sensor de Umidade do Solo WRambo 3 Kits

Para embasar e ter um ponto de partida para o sensor a ser desenvolvido, foi adquirido o sensor WRambo 3. O kit adquirido vem com uma placa de circuito e dois pedaços de fio desencapados em uma das pontas. Para alimentar o circuito é necessário uma bateria de 9V.

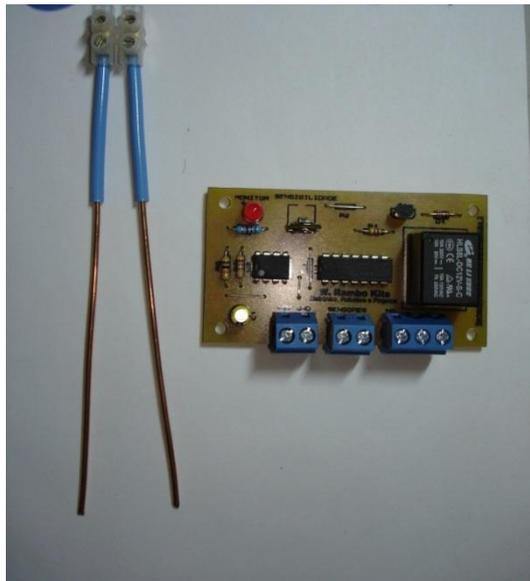


Figura 12 - WRambo 3 Kits.

Para medir a umidade do solo este sensor se utiliza do princípio da condutividade elétrica. Se existir água no solo a corrente conseguirá passar de uma ponta do fio para outra indicando assim que ainda existe umidade no solo, caso o solo esteja seco a corrente não conseguirá atravessar o fio e o sensor indicará que é necessário molhar o solo. O sensor oferece ainda a possibilidade de acionar algum sistema de irrigação simples automaticamente caso o solo necessite de água. Ainda existe a possibilidade de ajustar a sensibilidade do sensor através do regulador que está presente no circuito.

Neste sensor, assim como no sensor proposto, também foi utilizado um micro controlador *PIC* para fazer todo o processamento necessário para aferir a umidade do solo, porém, não foi possível identificá-lo. Por ser uma tecnologia comercial, talvez para dificultar a plágio, o desenvolvedor raspou a identificação do *PIC* utilizado. Foram utilizados também resistores, uma lâmpada *LED* por onde é possível identificar o grau de umidade do solo, um *trimpot*², para ajustar a sensibilidade do sensor, um relé para tornar possível o acionamento de um sistema de irrigação, por exemplo, um (1) capacitor e três (3) conectores. Abaixo podemos ver uma imagem que detalha os componentes utilizados:

XXXVXXXV_____

² Trimpot: potenciômetro em miniatura ajustável.

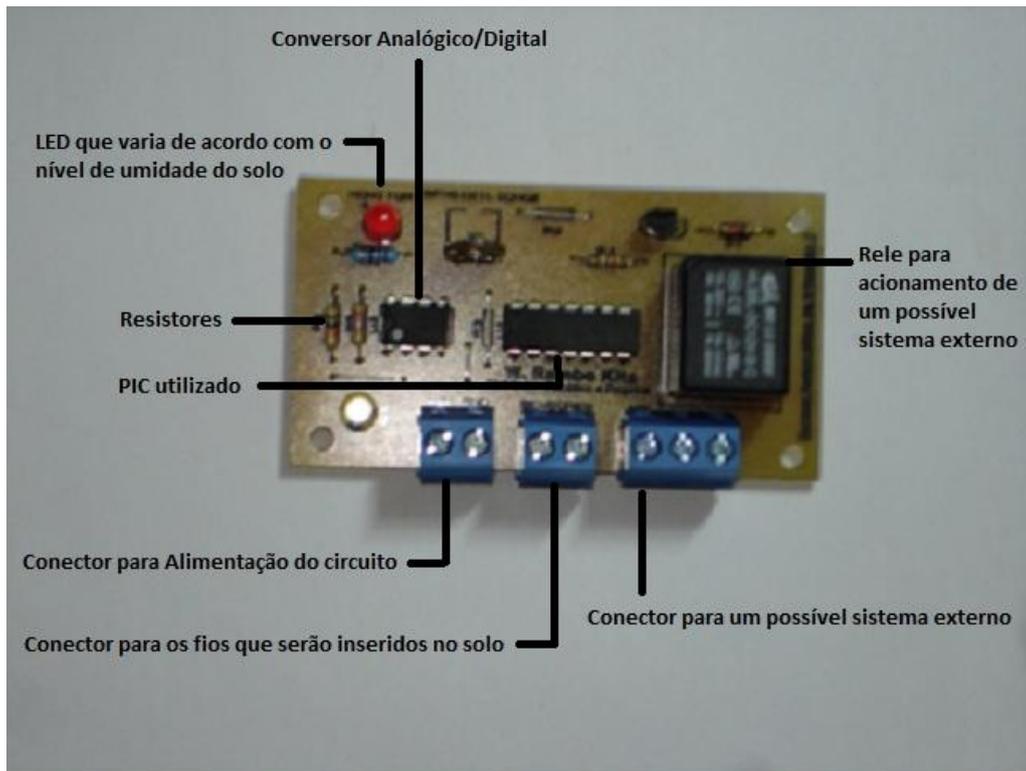


Figura 13 - Sensor WRambo 3 Kits detalhado.

Por raspar a numeração e identificação de seus principais componentes, não tivemos como obter um maior detalhamento a respeito de seu funcionamento. Porém podemos perceber que se assemelha ao funcionamento do sensor proposto aqui neste trabalho.

Como se vê, o sensor possui um funcionamento simples com certo grau de precisão. Testes posteriores serão feitos para aferir sua precisão comparando-o com um sensor já presente no mercado e seus dados serão usados também como padrão para comparação com o sensor a ser desenvolvido.

3.1.3 Testes com Modelos Existentes

Para se ter um padrão de comparação para o sensor a ser desenvolvido, realizamos testes com dois modelos de sensores vendidos no mercado: o Falker HFM2010 e o Wrambo 3 Kits. Com o sensor da Falker é possível se obter um grau de precisão maior, visto que seu visor apresenta o grau de umidade do solo em porcentagem ao passo que o

Wrambo 3 Kits, informa a umidade através de um *LED*. Porém, em termos de eficiência ambos apresentaram resultados satisfatórios e similares, o que indica uma boa calibragem entre os dois.

O teste foi realizado em um aquário de dimensões (35 x 30 X 45) preenchido com terra, como se pode ver na imagem a seguir:



Figura 14 - Vista lateral do aquário.



Figura 15 - Vista superior do aquário.

O primeiro teste realizado procurava medir a umidade de um solo completamente seco, para isto, após preencher o aquário com a terra este foi deixado ao sol por cerca de 10 dias e depois deste período os respectivos sensores foram usados para medir a umidade da terra. Para todos os efeitos, iremos nos referir ao sensor Falker HFM2010 por Sensor 1 e ao Wrambo 3 Kits por sensor 2. Sendo assim, o Sensor 1 indicou uma umidade 3.0% como se pode ver nas imagens abaixo:

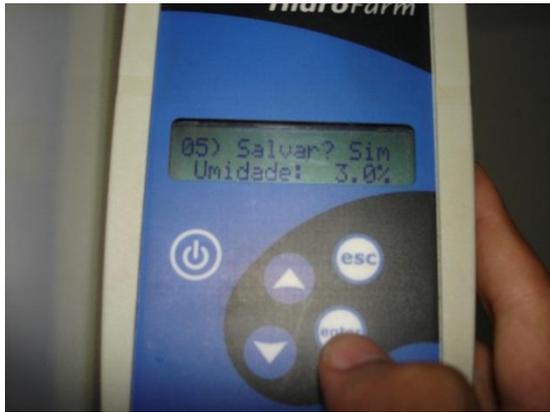


Figura 16 - Medição aferida com Sensor 1.

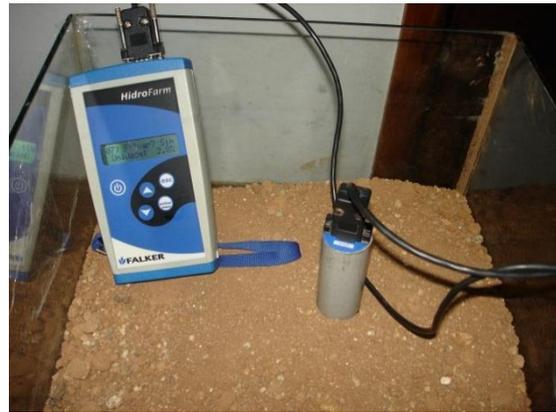


Figura 17 - Vista do Sensor 1 durante a medição.

O Sensor 2 teve seu *LED* acionado, o que indica que o solo está precisando de água, como podemos ver nas imagens abaixo :



Figura 18 - Sensor 2 durante a medição.



Figura 19 - Indicação do Sensor 2.

O segundo teste buscou medir a eficiência dos sensores quando o solo está molhado, não precisando mais ser irrigado. O Sensor 1 indicou uma umidade de 58.2% que conforme dito anteriormente indica que o solo não precisa de água. Veja na imagem a seguir a medição feita pelo Sensor 1:



Figura 20 - Medição aferida no Sensor 1.



Figura 21 - Situação do solo.

No mesmo solo, e nas mesmas condições, foi inserido o Sensor 2 e seu *LED* permaneceu apagado, o que indica que o solo não precisa de água neste momento. Veja imagem do segundo teste com o Sensor 2:

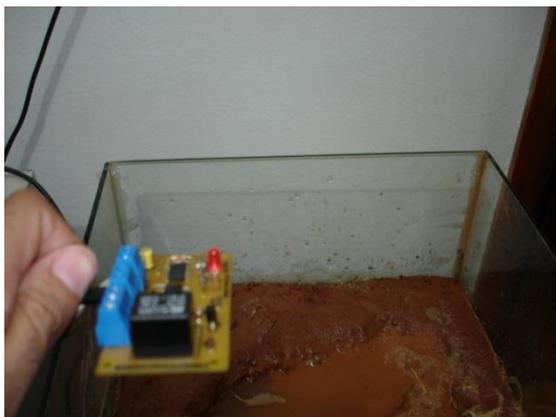


Figura 22 - Sensor 2 durante a medição.



Figura 23 - Sensor 2 durante a medição.

O terceiro teste buscou medir a eficiência dos sensores quando o solo se encontra em um nível intermediário, ou seja, não se encontra completamente seco. O Sensor 1 indicou uma umidade de 37.4% que indica que o solo contém um nível intermediário de umidade. Segue abaixo a imagem do terceiro teste realizado com o Sensor 1:



Figura 24 - Medição aferida com o Sensor 1.

Figura 25 - Condição do solo durante o teste.

Ao inserir o Sensor 2 neste mesmo solo seu *LED* começou a piscar, o que indica que o solo se encontra em um nível intermediário de umidade. Este teste, porém não tem como ser reproduzido neste material.

Após esta bateria de testes, podemos concluir que ambos os sensores tiveram uma aferição parecida embora um seja mais preciso que o outro. Estes resultados servirão como base futura para se aferir a precisão do sensor proposto neste trabalho.

3.2 O Projeto

3.2.1 Considerações Iniciais

Para o desenvolvimento do sensor proposto neste trabalho utilizamos um microcontrolador *PIC* modelo 18F4550 produzido pela **Microchip®**, para realizar a medição, processar e transmitir os resultados encontrados, uma caixa de madeira de fabricação própria para armazenar e proteger o sensor das ações do tempo, dois fios de 1,5 mm que serão inseridos no solo para capturar as informações necessárias para determinar o teor de umidade do solo e um software desenvolvido na linguagem JAVA para que o sensor possa ser controlado através de um computador ou até mesmo de algum outro dispositivo que tenha suporte JAVA.

A tecnologia utilizada para a obtenção da umidade é a condutividade elétrica. Baseado no conhecimento de que a condutividade elétrica do solo é proporcional ao teor de umidade do mesmo, e utilizando a própria tensão da porta *USB* (Universal Serial Bus) (5 v) que alimentará o circuito, a medição se dará da seguinte forma:

- Inserir as duas pontas do fio (diodo) no solo;
- Medir a resistência entre dois (2) eletrodos inseridos no solo;
- Capturar no software o valor que foi medido;
- Através da análise deste valor, chegar à informação do teor de umidade presente no solo.

Antes de iniciar a medição é necessário fazer a calibração do sistema, para obter valores base e comparar os resultados. Todos esses detalhes e procedimentos serão detalhados ao longo deste capítulo.

3.2.2 Materiais Utilizados

3.2.2.1 Placa de Circuito

Para o desenvolvimento de um circuito normalmente é necessário: uma placa de fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, filme de poliéster, filmes específicos à base de diversos polímeros, que possuem a superfície coberta numa ou nas duas faces. Esta cobertura consiste em uma fina película de cobre, prata, ou ligas à base de ouro, níquel, entre outras, nas quais são desenhadas trilhas de material condutor, interligando os componentes eletrônicos.

3.2.2.2 Resistores

Segundo Young (2006), um resistor é um elemento que possui certa resistência em suas extremidades, dificultando a passagem da corrente elétrica. A resistência pode ser marcada sobre um resistor usando-se um código de cores onde as duas primeiras faixas indicam dígitos e a terceira faixa indica o fator de multiplicação, sempre em potência de 10. A quarta faixa, quando existe, indica a precisão do resistor. Se for prateada, a precisão é de 10%; caso seja dourada, a precisão é de 5% e caso não exista a quarta faixa, a precisão é de 20%.

No trabalho foram utilizados dois (2) resistores de filme de carbono (popularmente, resistores de carvão). O código de cores dos resistores que foram utilizados no sensor é: Cinza, Vermelho e Laranja. Procuramos encontrar dois componentes com resistências iguais, medidas em 92.7K, para diminuir os erros do sistema na hora da calibração.

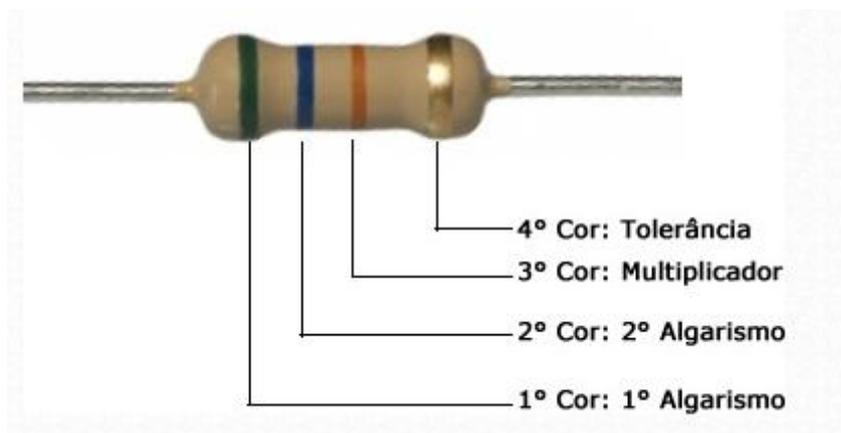


Figura 26 - Ilustração de um resistor. Em destaque podemos ver as faixas de cores para identificação. Fonte: : <http://www.satellasoft.net/eletronica/materia.php?link=os-resistores>.

Tabela 1- Código de cores para identificação de resistores. Fonte: Young, 2006, pág.140.

CÓDIGO DE CORES PARA OBTER O VALOR DA RESISTÊNCIA DE UM RESISTOR		
COR	VALOR DO DÍGITO	VALOR DO MULTIPLICADOR
Preto	0	1
Marrom	1	10
Vermelho	2	10 ²
Laranja	3	10 ³
Amarelo	4	10 ⁴
Verde	5	10 ⁵
Azul	6	10 ⁶
Violeta	7	10 ⁷
Cinza	8	10 ⁸
Branco	9	10 ⁹

3.2.2.3 Potenciômetros Digitais

Potenciômetro Digital é um componente eletrônico que possui resistência elétrica ajustável e mensurável (YOUNG, 2006). O dispositivo utilizado neste trabalho consiste de uma matriz resistor, interruptores do limpador, uma seção de controle, e uma memória não volátil. No caso deste dispositivo, os ajustes de calibração podem ser armazenados em sua memória, evitando assim a necessidade de calibração em todas as medições que forem realizadas. (INTERSIL, 2009)

Neste trabalho foi utilizado um (1) potenciômetro digital de 100K (Modelo X9C104) que é utilizado para o ajuste do sensor de acordo com as condições do solo. Este modelo é constituído de 99 resistores ligados em série.



Figura 27 - Imagem Ilustrativa do Potenciômetro Digital utilizado neste trabalho. Fonte: <http://www.farnellnewark.com.br/cidigitalpot100k,product,1216103,4599073.aspx>.

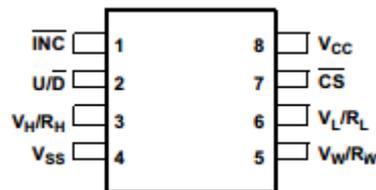


Figura 28 - Esquema de pinos do Potenciômetro Digital. Fonte: Intersil, 2009, pág.1.

Para alterar a resistência deste dispositivo, devemos manter o pino um (1) em baixa ou desligada, no caso, com o valor zero (0), o pino sete (7) deve ser mantida em alta ou ligada, no caso, com o valor (1) e o pulso deve ser aplicado no pino dois (2). Para diminuir a resistência tanto o pino um (1) quanto o pino sete (7) devem estar desligadas e o pulso novamente ser aplicado no pino dois (2). Um detalhe importante aqui é que a alteração é feita durante a curva negativa do pulso, ou seja, na transição entre ligada e desligada, desta forma o pulso deve ser primeiro para ligar e em seguida para desligar. (INTERSIL, 2009)

Outro recurso interessante é poder armazenar a posição em que o resistor se encontra e, desta forma, poder recuperar o valor de sua resistência quando o sensor for ligado novamente, para isso devemos manter o um (1) em alta (ligado) e aplicar um pulso no pino sete (7). Neste caso, o armazenamento ocorre na curva positiva do pulso, então o pino deve ser primeiro colocado em baixa (desligado) e depois colocado em alta (ligado). Neste trabalho optamos por não armazenar no valor de calibração uma vez que ele será diferente de acordo com o tipo de solo medido, desta forma aconselhamos a realizar a calibração no solo a ser medido e então decidir se deseja armazenar ou não o

valor, através do software que acompanha o sensor. A alimentação deste componente é feita pela porta USB que fornece 5V. (INTERSIL, 2009)

Além das portas citadas anteriormente, utilizamos também a porta Vcc (pino 8) para alimentar o dispositivo e a porta Vss (pino 4) ligando ao terra do circuito.

3.2.2.4 Microcontrolador PIC

Os microcontroladores são pequenos dispositivos dotados de “inteligência”, basicamente constituídos de *CPU* (Unidade Central de Processamento), memória e periféricos (por exemplo, portas de entrada e saída – E/S), com dimensões reduzidas, muito presentes em celulares, MP3 *player*, impressoras, robótica, entre outros equipamentos digitais (MIYADAIRA, 2009).



Figura 29 - Imagem ilustrativa do PIC18F4550. Fonte: <http://store.melabs.com/prod/PIC4550.html>.

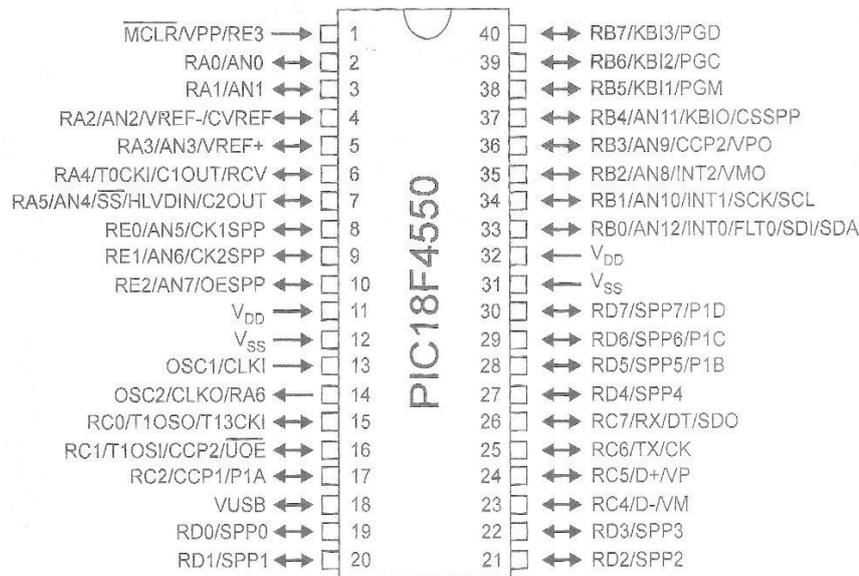


Figura 30 - Esquema dos pinos do PIC18F4550. Fonte: Miyadaira, 2009, pág. 139.

Deste componente, utilizamos as portas AN0 (Pino 1) e AN1 (Pino 3), que são as saídas analógicas que retornam os valores medidos para o software através da porta USB, e as portas B0 (Pino 33), B1 (Pino 34) e B2 (Pino 35) que estão conectadas ao potenciômetro digital X9C104 utilizado no trabalho na seguinte relação:

Tabela 2 - Relação entre as portas do PIC e do Potenciômetro Digital.

Porta do PIC	Porta do Potenciômetro
B0	CS
B1	U/D
B2	INC

O circuito, assim como o *PIC*, foram alimentados com o potencial elétrico de 5 V (V_{cc}) e a referência de 0 V (V_{ss}) fornecidos pela porta *USB* do computador, ligados aos pinos 31 (V_{ss}) e 32 (V_{cc}) do *PIC*.

Este componente também é responsável por fazer a *conversão analógico-digital*³ das tensões medidas, e, além disso, antes de retornar a tensão ele executa uma média de $\frac{1}{2}$ da tensão medida.

³ Conversor Analógico Digital: Converte uma grandeza analógica em um valor digital (representação binária) proporcional a ela. Esse valor depende diretamente da resolução e da tensão de referência (V_{ref}) utilizada na conversão, podendo variar de 0 a $(2^{resolução} - 1)$ unidades. (MIYADAIRA, 2009)

duas mil (2000) conversões por tensão adquirida, pois, desta forma, diminui a incerteza sobre as medições realizadas. Neste modelo de microcontrolador o conversor analógico-digital é de 10 bits ou precisão de 5/1024 V.

3.2.2.5 Porta *USB*

A porta *USB* é utilizada para a comunicação serial entre o sensor e o computador, ou seja, é responsável por toda interação e comunicação entre eles.

3.2.2.6 Ambientes de desenvolvimento

Para o desenvolvimento de todo o código que envolve o funcionamento do sensor proposto foram utilizados dois (2) ambientes de desenvolvimento, um para a programação do *PIC* e outro para a programação da interface gráfica do sensor e a comunicação entre o sensor e o computador.

Na programação do *PIC*, o ambiente de desenvolvimento utilizado foi o MPLAB IDE da *Microchip*® integrado com o compilador MPLAB C18 também da *Microchip*® todos disponíveis gratuitamente no site da *Microchip Technology*®. Por oferecer um ambiente de desenvolvimento gráfico, a programação torna-se mais fácil e intuitiva. A linguagem de programação utilizada na programação do *PIC* foi a linguagem C. Juntamente com esse ambiente e compilador, foi utilizado o gravador de microcontrolador (ou simplesmente gravador de *PIC*) modelo ICD2^{BR}- *Lab -Tools*®, integrável com o ambiente.

O ambiente utilizado na programação da interface gráfica do sensor e na sua comunicação foi *NetBeans*®, disponível para download no site www.netbeans.org. A linguagem utilizada nesta parte do trabalho foi JAVA. Foi escolhida esta linguagem devido a sua praticidade na hora da programação, possuindo inclusive diversas ferramentas já prontas para uso, e a independência do sistema operacional em uso no computador.

3.2.3 O Sensor

Neste tópico explicaremos o conceito por trás do desenvolvimento do sensor e o modo como ele opera. Serão detalhados procedimentos como sua calibração e o porque ela é necessária, a medição e o conceito utilizado para determinar o teor de umidade do solo.

Após estudarmos sobre a importância de se saber e os diversos métodos já conhecidos para obtenção do teor de umidade do solo optamos por desenvolver uma solução funcional e de baixo custo que utilize o conceito de resistência elétrica na determinação da umidade do solo. Optou-se pela utilização deste conceito por ele ser de fácil entendimento, relativamente simples de se trabalhar e por poder oferecer um grau de precisão extremamente satisfatório a um baixo custo, que é o foco principal deste trabalho.

A água comum é um bom condutor de eletricidade, pois possui a mobilidade de íons resultantes da dissociação de sais na água, ao passo que o solo completamente seco é um mau condutor de eletricidade, embora possua íons, porém sem mobilidade. Se medirmos a resistência elétrica do solo e encontrar-mos um valor alto podemos concluir que o solo está seco e por isso apresenta resistência ao conduzir a eletricidade. Caso a resistência encontrada seja um valor baixo, concluimos que o solo contém água suficiente para facilitar a condução da eletricidade, logo, está úmido.

A resistência será medida entre dois eletrodos que serão inseridos no solo e alimentados pelo circuito do sensor, tendo assim uma tensão de 5V, já que o circuito do sensor é alimentado pela porta *USB*. Com os eletrodos inseridos no solo, será capturada a resistência entre uma extremidade a outra, que no circuito são conhecidas como U_A e U_B .

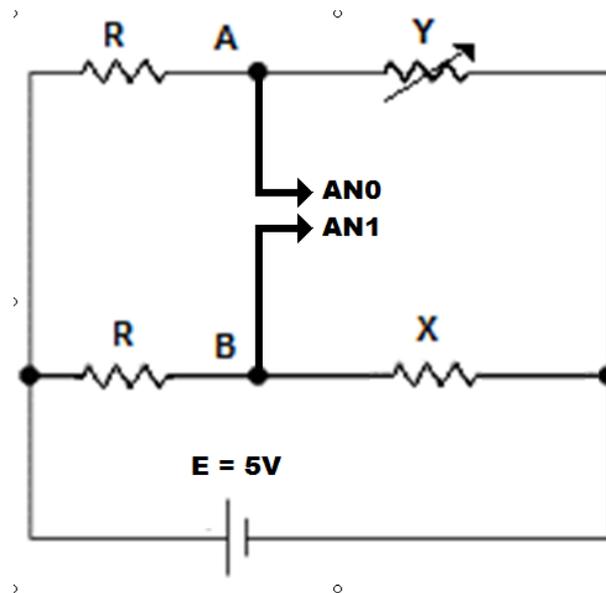


Figura 31 - Esquema do circuito do sensor.

Antes de realizar qualquer medição de umidade é necessário realizar a calibração do sensor, isto por que precisamos ter um valor base para comparar o valor que será lido do solo.

3.2.3.1 Calibração

A calibração é necessária para colocar todo o circuito em equilíbrio. Para calibrar o sensor, inserimos os eletrodos em um solo totalmente úmido onde a resistência à condutividade elétrica é mínima, e assim vamos regulando o potenciômetro até que a diferença entre os pontos U_A e U_B seja igual à zero (0) ou bem próximo disso, desta forma garantimos que o pontenciômetro digital (Y) possui a mesma resistência do solo quando encharcado. Para obter o valor de Y, nos baseamos no número de passos dados até que a resistência tenha sido igualada.

Matematicamente podemos definir a modelo para calibração como:

$$\begin{aligned}
U_A &= Yi_A & U_B &= Xi_B & i_A + i_B &= i \\
(R+Y)i_A &= E \Rightarrow i_A = \frac{E}{R+Y} \\
(R+X)i_B &= E \Rightarrow i_B = \frac{E}{R+X} \\
U_B &= \frac{Y}{R+Y}E & e & U_A = \frac{X}{R+X}E \\
\text{Para } U_A - U_B &= 0 \rightarrow \frac{Y}{R+Y} = \frac{X}{R+X} \rightarrow \frac{R+Y}{Y} = \frac{R+X}{X} \rightarrow \frac{R}{Y} + 1 = \frac{R}{X} + 1 \\
\frac{R}{Y} &= \frac{R}{X} \rightarrow \text{para } X = Y
\end{aligned} \tag{15}$$

Portanto, para calibrar deve-se fazer com que Y (potenciômetro digital) seja igual a X (eletrodos no solo) ou $U_A - U_B = 0V$. Mas U_B não depende de Y , logo necessitamos apenas ajustar Y para que $\lim_{Y \rightarrow X} U_B = U_A$. Como:

$$U_B = \frac{1}{1 + \frac{R}{Y}}E \quad e \quad U_A = \frac{1}{1 + \frac{R}{X}}E \tag{16}$$

Note que ao colocar o eletrodo em um ambiente úmido, X tende a um valor muito menor que R e U_A tende a um valor pequeno, menor que E . Portanto, a calibração pode começar com o valor $Y=0$ e $U_B=0$. Portanto $U_B < U_A$. Ao aumentar Y , U_B tende a U_A .

O processo de calibração pode ser definido algoritmicamente como:

Algoritmo:

1. Inserir eletrodo no solo úmido.
2. Colocar o *bit* B0 em baixa.
3. Colocar o *bit* B1 em alta.
4. Fazer a leitura dos potenciais U_A e U_B . (leitura dos canais analógicos AN0 e AN1 do PIC).
5. Comparar U_A com U_B . Se $U_B < U_A$ então aumentar o valor de do potenciômetro digital em $1K\Omega$. (Aplicar pulso no *bit* B2).
6. Repetir 4 e 5 até $U_B > U_A$.

Se observarmos o algoritmo podemos entender melhor o processo de calibração do sensor. Calibrar o sistema é ajustar a resistência do potenciômetro digital até

que ela seja igual à resistência do solo, que no momento da calibração deve estar encharcado (100 % de umidade). Como o PIC utilizado no sistema nos retorna a tensão nos pontos U_a e U_b do circuito e não a resistência nós saberemos quando a resistência nos dois pontos for igual fazendo a diferença entre as tensões medidas em U_a e U_b . Em testes experimentais realizados para validar o sistema, foi alcançada precisão máxima da ordem de 10^{-4} V para a diferença $U_B - U_A$. Medindo-se o valor da resistência elétrica com o solo com 100% de umidade, esta está relacionada à quantidade de íons presentes no solo e, portanto, responsáveis pela condutividade elétrica do solo ($\sigma = 1/\rho$, $\rho = \text{resistividade}$). Cada tipo de solo vai apresentar uma composição química e condutividade elétrica distinta. A medição da resistência com o solo encharcado apresentará valores de resistência elétrica distintos, porém o comportamento com o valor da umidade relativa em relação ao valor máximo deve ser semelhante para solos distintos. A comprovação deste fato depende, naturalmente, de um estudo mais detalhado para o sistema proposto, que ficará para estudos futuros com a variação da configuração do eletrodo e do tipo de solo.

3.2.3.2 Determinando o teor de umidade do solo em função da resistência elétrica

Com o sensor devidamente calibrado, retiramos o eletrodo do solo úmido e o inserimos no local em que se deseja averiguar o teor de umidade do solo. O processo para determinação é relativamente simples e será detalhado mais adiante.

Antes de determinar a resistência do solo, devemos calcular o valor da tensão que passa pelo potenciômetro digital, identificado no circuito e nas equações como Y. Para saber a tensão que atravessa este componente vamos utilizar o número de passos dados ($1 \text{ passo} = 1 \text{ K}\Omega$) até que a calibração tenha sido efetuada. Número de passos neste caso é cada pulso aplicado ao potenciômetro digital para ter sua resistência alterada e podemos relacionar o valor da resistência ao número de passos dados até calibrar o sensor.

Este processo é completamente invisível ao usuário, sendo calculado totalmente via software sem a necessidade de intervenção, embutido no processo de definição da umidade do solo. Após obter Y , já podemos calcular a resistência medida no solo e para isso usamos a seguinte equação:

$$x = \frac{R}{\frac{U_a}{U_x}(1+\frac{R}{Y})-1} \quad (17)$$

Algoritmicamente o processo é simples:

1. Fazer a leitura dos potenciais U_A e U_B . (leitura dos canais analógicos AN0 e AN1 do *PIC*).
2. Calcular o valor da resistência pela equação acima e o valor de Y calculado acima.

Onde U_a corresponde ao potenciômetro digital e U_x ao solo analisado.

Para determinar o teor de umidade do solo foi construída uma relação do teor de umidade e a tensão elétrica. O processo para construir essa relação será descrito abaixo e para isso utilizamos uma (1) balança digital, 30g de terra peneirada, dois (2) bequeres de 100ml e dois de 150ml e uma espátula para manipular o solo. Foi utilizada a terra peneirada para evitar, nesta fase do estudo, a interferência da presença de rocha e outros elementos que tornariam o processo de absorção de água irregular. Em uma situação real estes elementos existem, porém o efeito pode ser minimizado com a adoção de medições em diversas posições no solo tomando-se a média dos valores e descartando valores muito distantes da média.

Um dos bequeres de 150 foi utilizado para calibrar o sensor, portanto colocamos terra e encharcamos bem como pode ser visto na imagem abaixo:

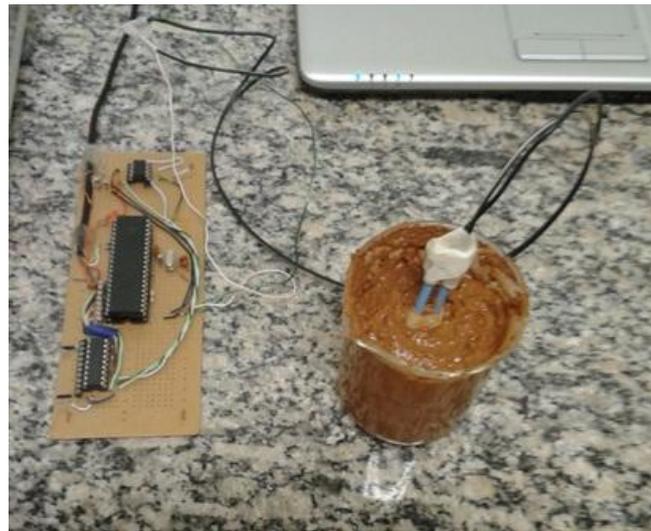


Figura 32 - Processo de calibração do sensor.

Com o sensor devidamente calibrado, medimos 30g de solo peneirado seco em um béquer de 100 ml, e para ter uma medida mais exata, antes de pesar as 30g de solo configuramos a balança para ignorar o peso do béquer e da espátula:

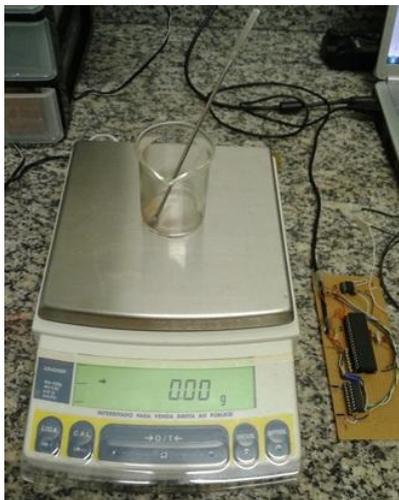


Figura 33 - Balança calibrada.



Figura 34 - 30 g de solo.



Figura 35 - Peso do solo ao final.

Após configurar a balança pesamos 30 g de solo completamente seco e fizemos a medição utilizando o sensor desenvolvido. O valor de 30 g foi escolhido para que o eletrodo pudesse ser posicionado no centro da amostra e arredores, sem o efeito de borda, isto é, o posicionamento do eletrodo muito próximo da superfície do recipiente, o que pode resultar em medições distorcidas da resistência elétrica. O solo foi seco ao sol

para que toda a água nele contida fosse evaporada. A partir daí foi adicionado água ao solo, fazendo a medição da proporcionalidade água/solo, com a respectiva medição do potencial elétrico dos eletrodos, até atingir o solo totalmente úmido. A calibração do sistema de medida foi executada com o solo totalmente úmido para obtenção do valor de Y. Para cada porção de água adicionada ao solo, o mesmo era mexido de forma a ficar bem homogêneo para então realizar as medições. Além disso, eram sempre feitas cinco (5) medições a cada vez que água era adicionada ao solo para termos resultados suficientes para calcular a média e o desvio padrão das tensões medidas pelo sensor. Ao final do experimento, calculamos a média das tensões e o desvio padrão obtendo a seguinte tabela:

Solo (g)	Água (g)	T1	R1	T2	R2	T3	R3	T4	R4	T5	R5	Média T	Desvio Padrão DT
30,00	0,00	4,99	873,45	4,99	866,01	4,99	864,79	4,99	853,66	4,99	867,09	4,99	9,72951E-16
30,00	0,90	4,99	839,01	4,99	848,9	4,99	847,2	4,99	842,86	4,99	845,51	4,99	9,72951E-16
30,00	1,80	4,99	892,15	4,99	882,86	4,99	885,06	4,99	875,18	4,99	875,88	4,99	9,72951E-16
30,00	2,70	4,99	880,58	4,99	885,56	4,99	891,96	4,99	874,93	4,99	850,34	4,99	9,72951E-16
30,00	3,60	4,99	847,35	4,99	853,44	4,99	838,87	4,99	840,65	4,99	845,01	4,99	9,72951E-16
30,00	4,50	3,84	208,74	3,85	210,44	3,85	209,55	3,85	210,75	3,85	209,93	3,848	0,004
30,00	5,40	3,57	167,35	3,58	168,48	3,58	168,1	3,58	168,18	3,57	167,79	3,576	0,004898979
30,00	6,30	2,64	84,39	2,61	82,69	2,6	81,58	2,59	81,22	2,58	80,84	2,604	0,02059126
30,00	7,20	2,35	68,23	2,31	66,33	2,3	65,6	2,29	65,15	2,28	64,92	2,306	0,024166092
30,00	8,10	1,71	41,26	1,72	41,78	1,73	42,35	1,74	42,52	1,74	42,79	1,728	0,011661904
30,00	9,00	1,74	42,54	1,75	43,09	1,75	42,91	1,75	42,92	1,74	42,77	1,746	0,004898979
30,00	9,90	0,86	17,28	0,91	18,4	0,92	18,74	0,94	19,02	0,95	19,29	0,916	0,031368774
30,00	10,80	0,71	13,72	0,76	14,86	0,78	15,27	0,79	15,63	0,81	15,96	0,77	0,034058773
30,00	11,70	0,69	13,38	0,75	14,7	0,78	15,16	0,8	15,81	0,82	16,11	0,768	0,045343136

Figura 36 - Dados medidos durante o experimento.

A partir desta tabela podemos encontrar a relação entre a tensão medida e o percentual de umidade do solo e, com base nesta relação, o software desenvolvido é capaz de determinar o teor de umidade do solo de acordo com a resistência medida.

3.2.4 Resultados

Foi executada a medição da umidade do solo partindo do solo seco até a saturação (excesso de água), adicionando-se água destilada ao solo seco e fazendo-se a medição da resistência do solo. A amostra de solo foi colhida próximo ao laboratório com características típicas do solo da região de Alfenas-MG, porém o solo não pode ser comparado aos solos utilizado para cultivo, que neste caso, recebe tratamento químico e biológico para o plantio. Entretanto, a composição básica do solo é a mesma. Os valores são mostrados na figura abaixo.

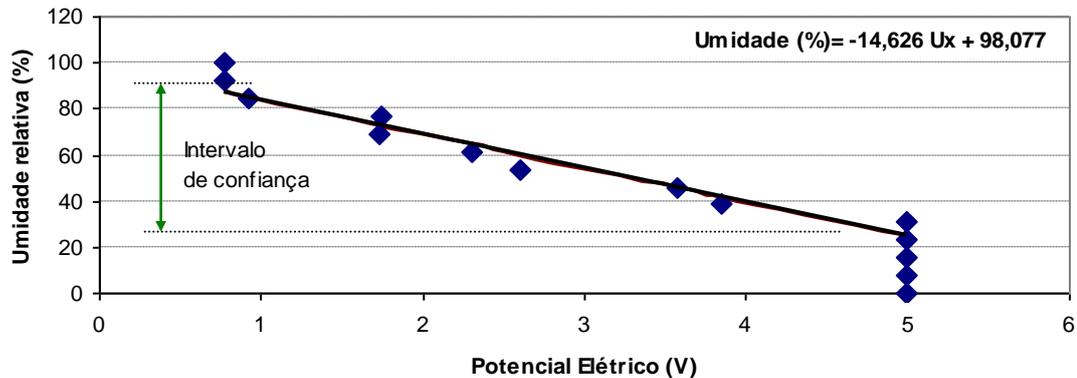


Figura 37 - Gráfico gerado a partir dos dados coletados.

O potencial elétrico é proporcional à resistência elétrica do solo no intervalo de confiança anotado no gráfico (obedece a Lei de Ohm) e não-linear nos extremos. Portanto, neste intervalo, qualquer medida da umidade do solo é inversamente proporcional a resistência elétrica do mesmo e a equação mostrada acima pode ser usada. Para o potencial igual a 5 volts a resistência do solo é muito alta (solo seco ou quase seco). Para medir esta resistência o circuito teria que ser alterado para valores maiores de resistência (valor de R da ordem de $M\Omega$) em detrimento da acurácia da medida para baixas resistências do solo. No outro extremo, o potencial medido é limitado à quantidade de água presente no solo, isto é, a partir do valor de 100% de umidade, tomado como referência o solo extremamente encharcado, a água começa a

formar uma película sobre a superfície do solo e o valor medido do potencial elétrico permanece aproximadamente inalterado.

Vale ressaltar que essa relação poderá ser diferente para cada tipo de solo, portanto, essa análise deve ser feita baseada no tipo de solo em que se irá trabalhar. Como este não é um sensor comercial nos baseamos em apenas um tipo de solo, caso contrário teríamos que obter esta relação para os diversos tipos de solo existentes. Provavelmente o valor de Y será relação direta com o tipo de solo e poderá ser utilizado como um dos parâmetros para a medição e os valores das curvas de calibração poderão ser pré-armazenados no *software* de medição. Com a tabela e o gráfico gerados a partir deste experimento podemos comprovar o funcionamento do sensor visto que conseguimos estimar o teor de umidade do solo com base no potencial elétrico.

Abaixo uma imagem do sensor desenvolvido:

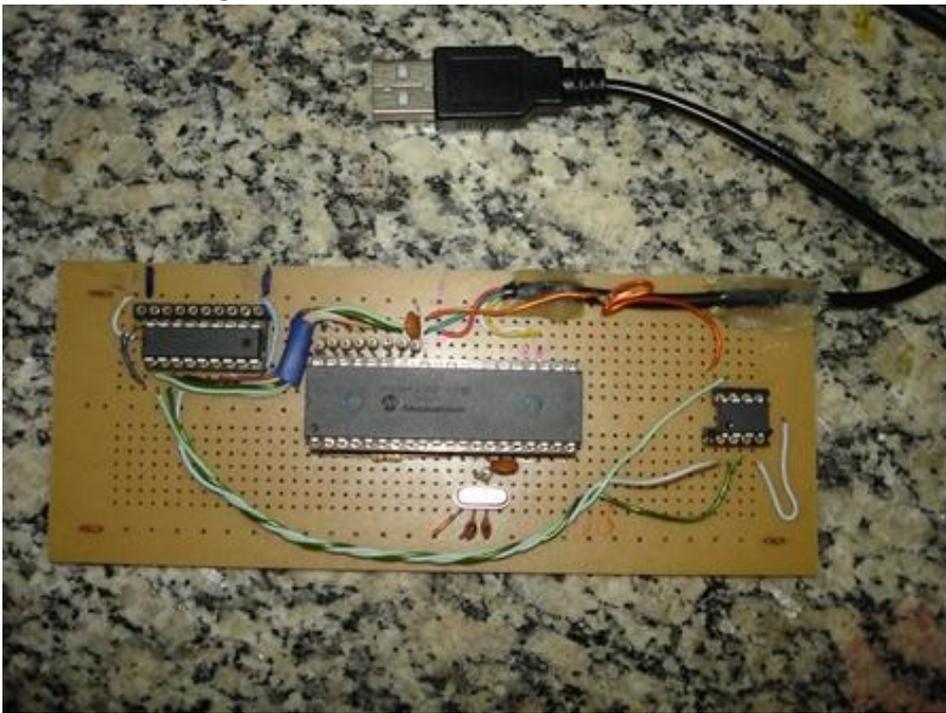


Figura 38 - Sensor Desenvolvido.

3.2.5 Software

Em seguida apresentaremos o software desenvolvido para trabalhar em conjunto com o sensor. Buscamos desenvolver um software funcional e com uma interface amigável

para ser intuitivo ao usuário. A linguagem escolhida para o desenvolvimento foi o JAVA.

Na tela inicial do software antes de conectar ao sensor devemos informar ao software qual porta *COM* será utilizada para a comunicação e em seguida clicar em conectar. Como a relação tensão/umidade varia para cada tipo de solo, o software fornece a possibilidade de você escolher o tipo de solo que será analisado, e, de acordo com sua escolha a relação correspondente será utilizada na hora de fornecer o resultado da medição.

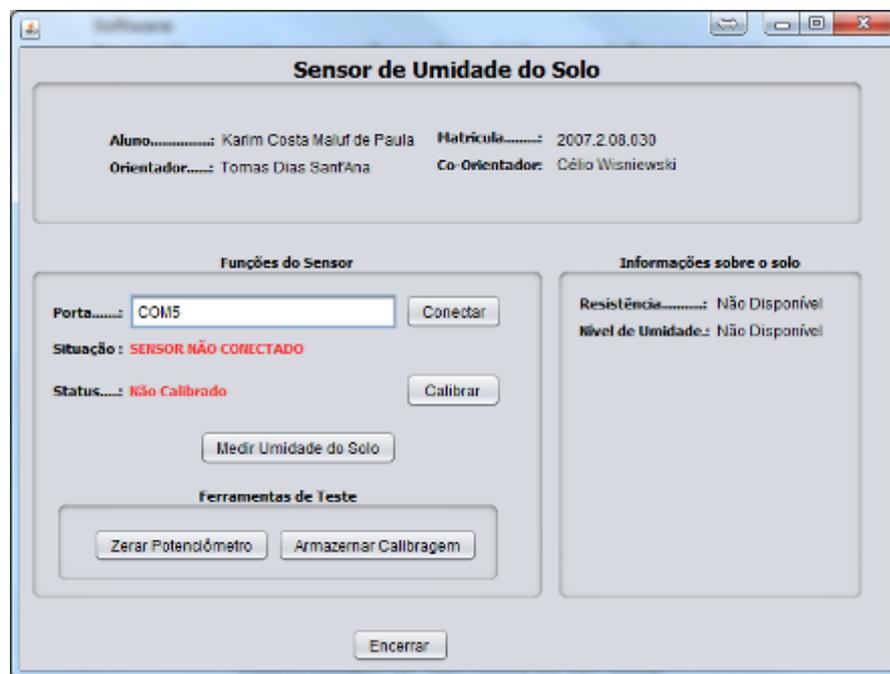


Figura 39 - Tela inicial do Software.

Quando o software estiver conectado será indicado conforme podemos ver na imagem abaixo:

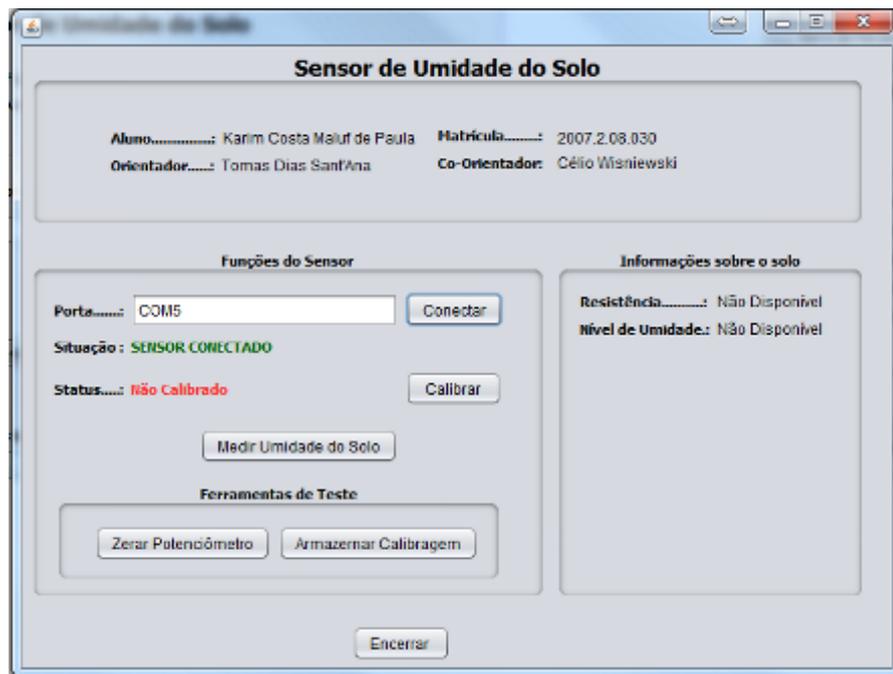


Figura 40 - Sensor conectado.

O software tem a opção de memorizar a calibração, mais como não vamos trabalhar desta forma o próximo passo é iniciar a calibração do sensor clicando no botão Calibrar. O processo será iniciado e será indicado ao usuário enquanto estiver ocorrendo à calibração e quando o processo terminar.

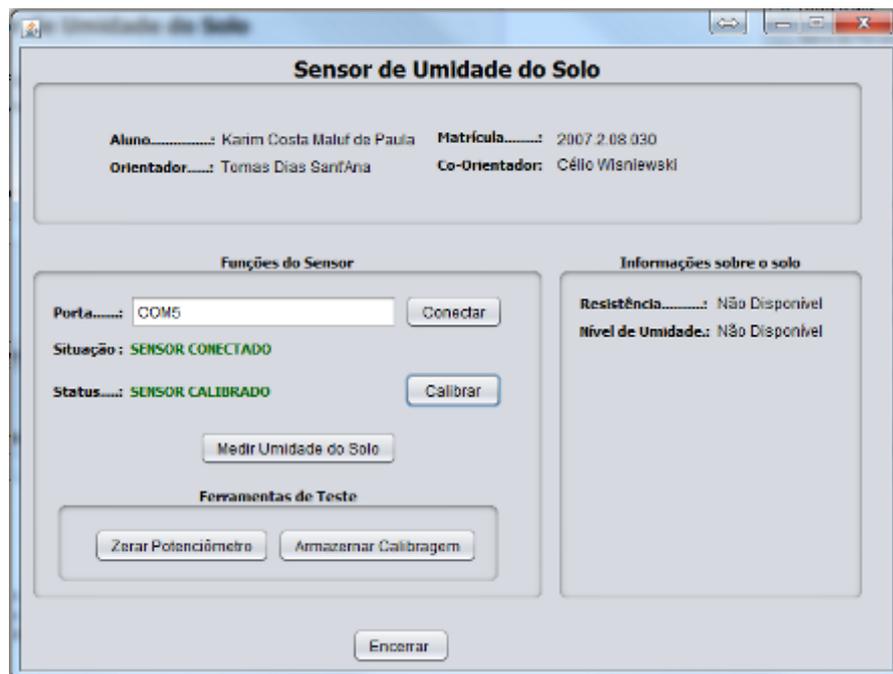


Figura 41 - Sensor calibrado.

O próximo passo é acionar o botão “Medir Umidade do Solo”. Quando acionado, o processo de determinação do teor de umidade explicado anteriormente é executado e o resultado é exibido ao usuário na parte de informações sobre o solo.

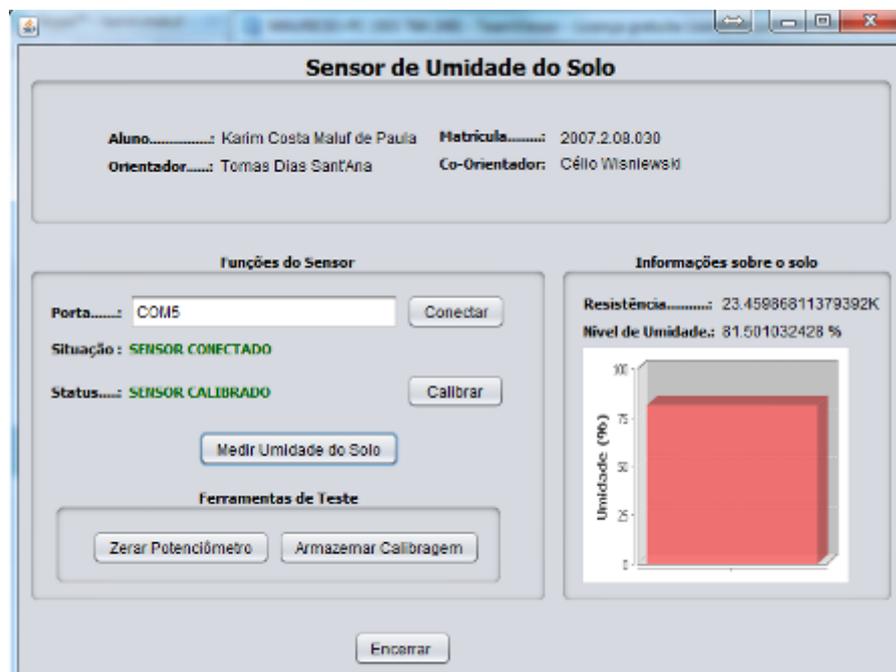


Figura 42 - Exemplo indicando solo úmido.



Figura 43 - Exemplo indicando solo seco.

Para montar e exibir o gráfico utilizamos a *API* (Application Programming Interface) *JFREECHART*, disponível em <http://www.jfree.org/jfreechart/download.html>.

Após realizar a calibração uma vez, enquanto não desconectarmos a USB o valor de calibração será mantido pelo PIC, portanto várias medições podem ser realizadas. O objetivo deste software é transmitir e receber dados do PIC, e com os dados recebidos analisar e apresentar o teor de umidade ao usuário. Dentro do PIC porém é necessário ter um software para controlar o funcionamento do mesmo, que foi desenvolvido na linguagem C e é responsável por realizar todo o trabalho de aferição das medidas e transmiti-las ao software JAVA e interpretar os comandos enviados a ele pelo software JAVA. Como dito anteriormente, antes de retornar o valor da tensão é feita uma média de duas mil (2000) aquisições.

3.2.6 Comparativo

Para comprovar o funcionamento do sensor desenvolvido, realizamos um teste para comparar os resultados entre os sensores. Para comparar, utilizamos um aquário com

proporções reduzidas e testamos 3 condições de solo: seco, intermediário, encharcado. Com o solo completamente seco, os resultados apresentados pelo sensor foram:

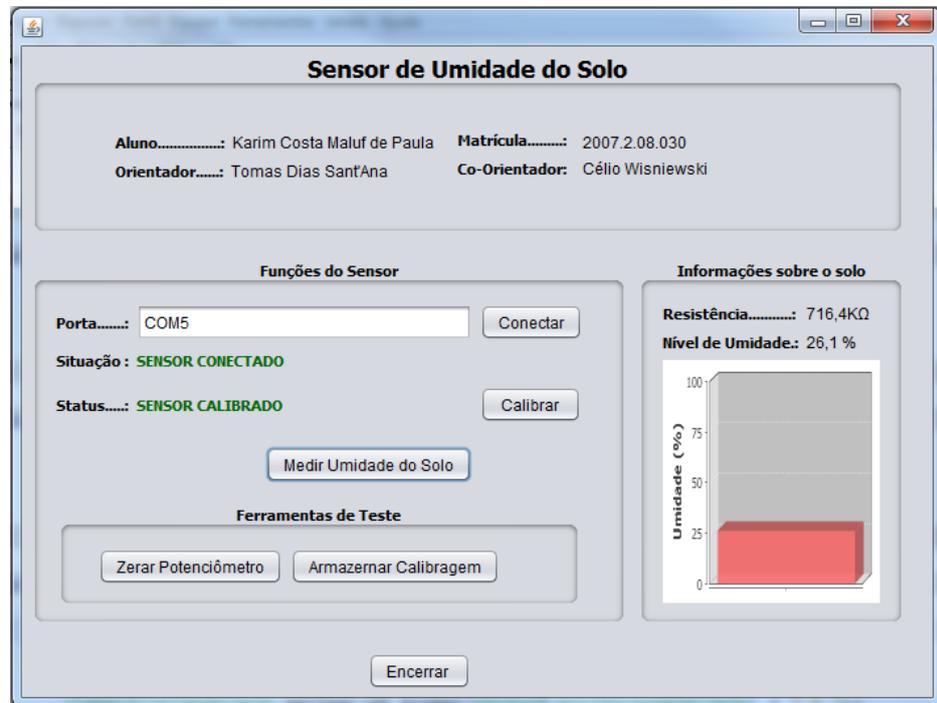


Figura 44 - Resultado apresentado pelo sensor desenvolvido neste trabalho

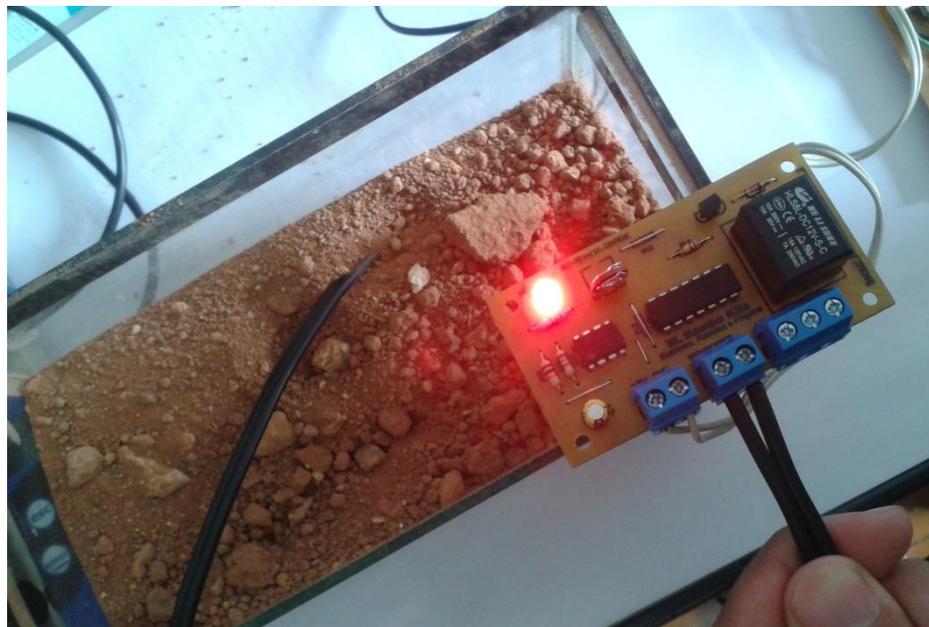


Figura 45 - Resultado apresentado pelo sensor WRambo 3 kits



Figura 46 - Resultado apresentado pelo sensor HidroFarm.

Como podemos perceber, os três sensores indicaram nível baixo de umidade no solo. Colocando um pouco de água no solo, o resultado apresentado foi o seguinte:

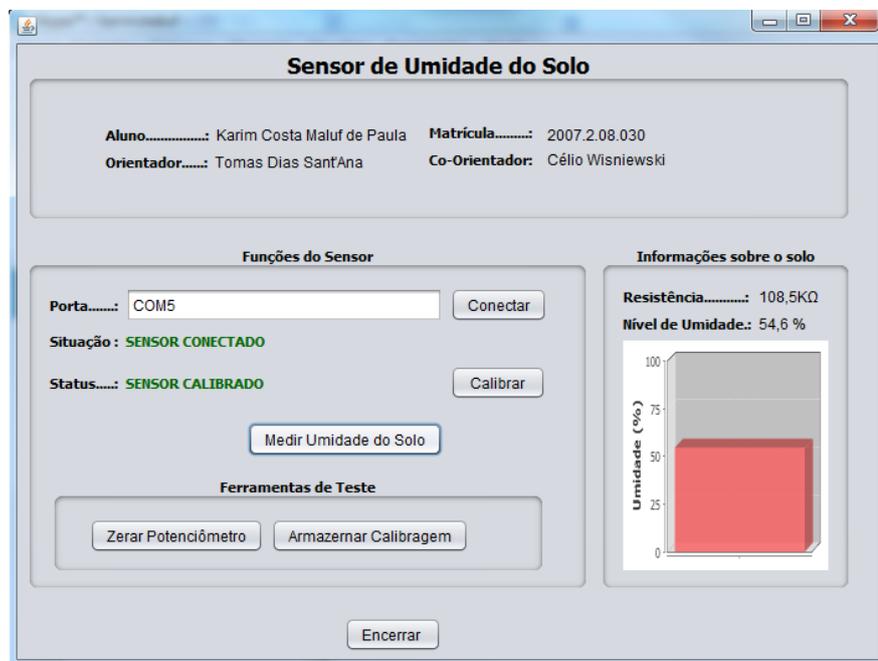


Figura 47 - Resultado apresentado pelo sensor desenvolvido neste trabalho

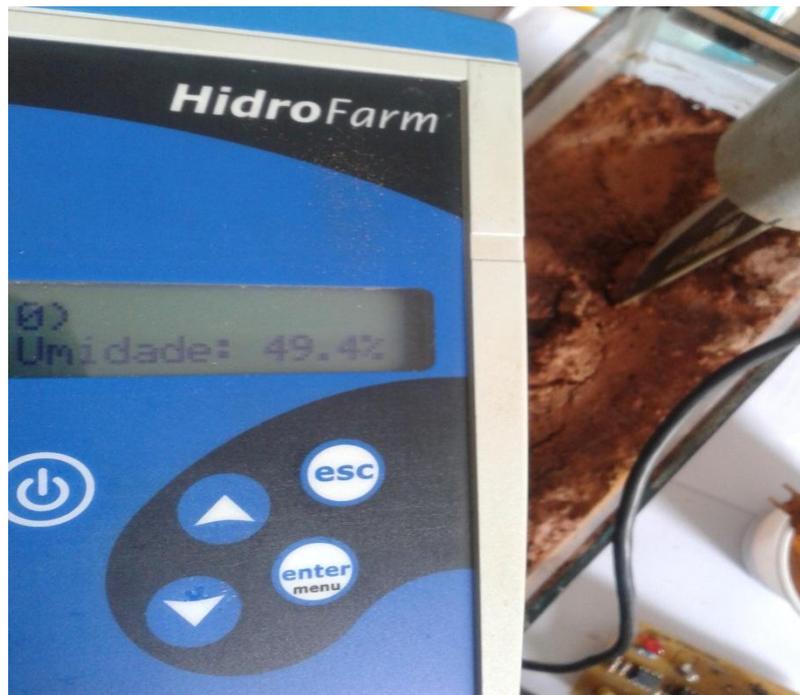


Figura 48 - Resultado apresentado pelo sensor HidroFarm

No caso do WRambo 3 Kits, não conseguimos reproduzir seu resultado mas seu *LED* ficou piscando, o que indica um nível intermediário de umidade no solo. Ao encharcar o solo, o resultado apresentado pelos sensores foram:



Figura 49 - Resultado apresentado pelo sensor desenvolvido neste trabalho



Figura 50 - Resultado apresentado pelo sensor WRambo 3 Kits

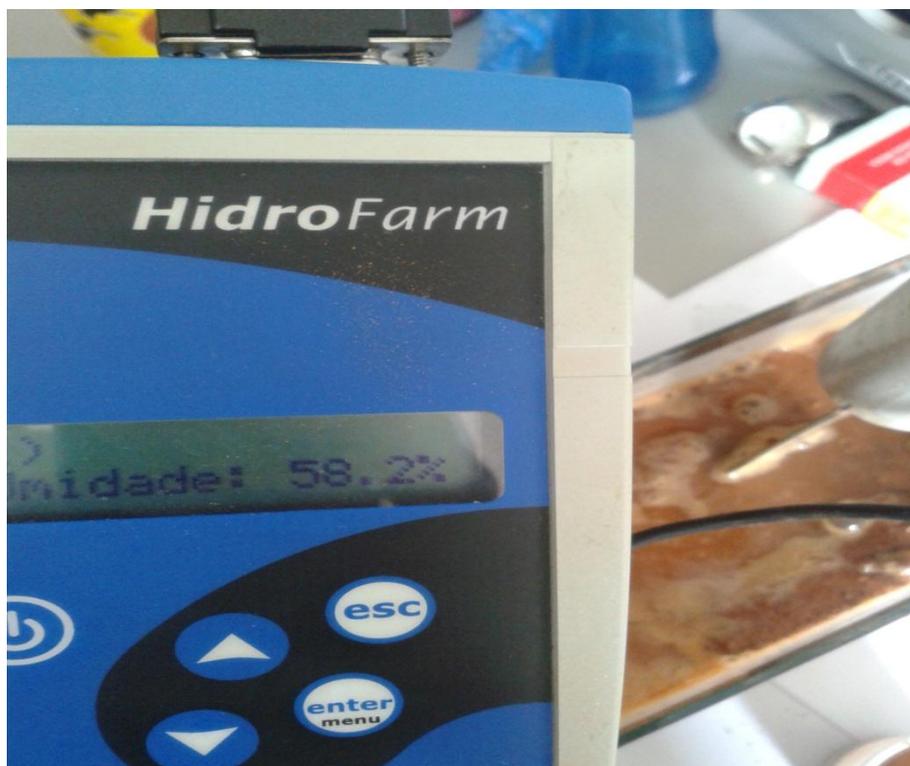


Figura 51 - Resultado apresentado pelo sensor HidroFarm

Como podemos perceber, os três (3) sensores apresentaram resultados semelhantes, com algumas diferenças de no percentual de umidade no caso do HidroFarm e do sensor desenvolvido neste trabalho, mais isto já era esperado uma vez que não temos informações precisas para determinar o funcionamento do HidroFarm, além de não sabermos a forma como o sensor foi calibrado ou para que tipo de solo a resposta deste sensor é mais precisa.

Vale ressaltar que as medições do sensor proposto partem da calibração considerando a proporção de água, em massa, em relação ao solo seco e úmido, com a consideração do solo totalmente encharcado (umidade de 100%) e o solo totalmente seco ao sol (umidade de 0%). Portanto as medições executadas correspondem à umidade real do solo, pois da avaliação dela é que se obteve a curva de calibração utilizada no software.

4 Dificuldades Encontradas

4.1 Comunicação

Inicialmente estava previsto o desenvolvimento de uma solução de baixo custo que fosse sem fio, ou seja, não seria necessária a ligação do sensor a uma porta *USB* do computador e toda a comunicação seria feita sem a utilização de cabos.

Nesta etapa foram encontradas diversas dificuldades, tais como:

- A incompatibilidade de comunicação entre módulos diferentes;
- Encontrar a configuração correta para que os módulos enxergassem uns aos outros e comunicassem entre si;
- Montagem de uma rede e a escolha da melhor topologia;
- Alimentação do sensor, visto que ele deveria realizar as medições, processar e transmitir os resultados gastando a menor quantidade de energia possível;
- Curto alcance de comunicação;
- Protocolos de comunicação diferentes entre os vários modelos de módulos para comunicação sem fio existentes;

Apesar de todas estas dificuldades enumeradas, um detalhe percebido apenas na fase final do projeto fez com que a comunicação sem fio fosse substituída pela comunicação *USB*. Entretanto isto não interfere no desenvolvimento do sistema de medição e a comunicação sem fio pode ser instalada na sequencia dos estudos. O módulo sem fio escolhido transmitia apenas pulsos elétricos, ou seja, 0 ou 1, e não transmitia dados, detalhe este que é de fundamental importância para o funcionamento do sensor, visto que a umidade calculada teria de ser transmitida até chegar a um computador ou dispositivo móvel que trataria melhor a informação e executaria procedimentos de acordo com o valor aferido.

Este pequeno detalhe interferiu em todo o andamento do projeto, mas, neste novo modelo de sensor proposto a comunicação sem fio também é uma possibilidade que estará aberta a trabalhos futuros dentro da universidade.

Quando optamos pela comunicação via porta *USB*, também ocorreram dificuldades. Para realizar a comunicação *USB*, utilizamos a *API* *RXTX* para *JAVA* disponível em <http://rxtx.qbang.org/>. Com esta *API* a comunicação ocorreu de forma fácil, o sensor recebia os comandos e retornava os valores normalmente, aqui o problema se deu no retorno dos valores que ao invés de ir para uma variável do programa era exibido na saída padrão do sistema, no nosso caso, no console do Netbeans® e, sendo assim não tínhamos acesso aos retornos para poder manipulá-los. Para contornar este problema foi necessário implementar manualmente os métodos para leitura e escrita na porta serial e assim conseguimos o resultado esperado.

5 Conclusão

Por não se tratar de uma versão desenvolvida em larga escala o custo total do projeto, que girou em torno de R\$ 90,00, foi relativamente alto, pois adquirir os componentes em pouca quantidade acabou encarecendo o produto final. Porém, se o sensor vier a ser produzido comercialmente, o seu custo será menor.

Com relação ao que se propôs que é medir o teor de umidade do solo, o produto final atende bem a essa demanda e com uma precisão muito boa, ainda que peque pelo fato de necessitar ser conectado a uma porta USB para poder realizar todos os procedimentos. Ainda que tenha uma precisão boa, está não é a melhor forma para se determinar o teor de umidade do solo, pois existem muitas variáveis que podem interferir nesse resultado, como por exemplo, a quantidade de nutrientes presentes em cada tipo de solo.

Como propostas de trabalhos futuros temos melhorias no sensor, como o estudo do melhor material do eletrodo, visto que ele tem influência na precisão do sensor, pois dependendo do material, com o tempo o mesmo pode se oxidar prejudicando o correto funcionamento do sistema oferecendo uma resistência além da do solo. Podemos realizar um estudo também sobre o tamanho do eletrodo para que uma análise em maior profundidade possa ser realizada e, para melhorar a precisão, é possível combinarmos o método da resistividade elétrica com o método de capacitância e juntos eles fornecerão informações complementares possibilitando um resultado mais preciso.

Além disso, uma versão sem fio deste sensor pode ser desenvolvida visto que a base, o sensor de umidade do solo, está pronta e poderá ser usada bastando apenas implementar a comunicação sem fio entre o sensor e um módulo receptor por exemplo, e com isso montar uma rede de sensores espalhadas pelo solo para se obter um resultado ainda melhor sobre uma região maior de solo.

6 Referências Bibliográficas

FALKER, A. A., Medidor Eletrônico de Umidade do Solo, http://www.falker.com.br/download.php?file_id=61.

FALKER, A. A., Nota de Aplicação – HFM 2010 – N.1, http://www.falker.com.br/produto_artigos.php?id=7

FARNELL, Newark. Disponível em: <http://www.farnellnewark.com.br/cidigitalpot100k,product,1216103,4599073.aspx>. Acesso em: 10 mar. 2013.

GIROTTO, E. M., SANTOS, I. A., Medidas de Resistividade Elétrica DC em Sólidos: Como Efetuá-las Corretamente, Química Nova, Vol. 25, No. 4, 639-647, 2002.

INTERSIL, Datasheet, 2009. Disponível em: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn82/fn8222.pdf>

KLAR, A. E., *A Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1984.

MENDES, P. C. S., Caracterização de um Sensor para Medição de Umidade do Solo com Termo-Resistor a Temperatura constante., Outubro/2006., 159 páginas., Dissertação de Mestrado. , Universidade Federal da Bahia.

MICROENGINEERING, Labs. Disponível em: <http://store.melabs.com/prod/PIC4550.html>. Acesso em : 10 mar. 2013.

MIYADAIRA, Alberto Noboru. *Microcontroladores PIC18: aprenda em linguagem C*. Érica, 1Ed.. São Paulo, 2009.

SATELLASOFT. Tecnologia em dados da Informação. Disponível em :<http://www.satellasoft.net/eletronica/materia.php?link=os-resistores>. Acesso em: 18 mar. 2013.

YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A., Física III – Eletromagnetismo - 10ª Edição, São Paulo: Editora Pearson, 2006. |