

**JOÃO LUCAS CAMPOS PARREIRA**

**MEDIÇÃO DE UMIDADE DE SOLO UTILIZANDO  
TENSÍÔMETRO E SENSOR GRANULAR ADAPTADOS  
A UMA REDE DE SENSORES SEM FIOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências da disciplina Projeto Orientado para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:

Prof. Dr. João Carlos Giacomini

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

2009

### **Ficha Catalográfica**

Parreira, João Lucas Campos

Medição de umidade de solo utilizando tensiômetro e sensor granular adaptados a uma rede de sensores sem fios / João Lucas Campos Parreira. Lavras – Minas Gerais, 2009. 40p. : il.

Monografia de graduação – Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência da Computação.

1. Rede de sensores sem fios (RSSF). 2. Medição de umidade de solo. 3. Tensiômetro. 4. Sensor Granular. I. Parreira, J. L. C. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

**JOÃO LUCAS CAMPOS PARREIRA**

**MEDIÇÃO DE UMIDADE DE SOLO UTILIZANDO  
TENSÍOMETRO E SENSOR GRANULAR ADAPTADOS  
A UMA REDE DE SENSORES SEM FIOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências da disciplina Projeto Orientado para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

Banca 1

---

Banca 2

---

Prof. Dr. João Carlos Giacomin  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

2009

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço,

A Deus pelo dom da vida;

Aos meus pais, Washington Luiz Parreira e Ilsa Maria Campos Parreira, pelo esforço, incentivo, confiança, dedicação e carinho;

Ao Prof. Dr. João Carlos Giacomini, pela orientação, sugestões, apoio e a amizade durante todo o curso;

A todos os professores do Departamento de Ciências da Computação pelos ensinamentos;

A todos os colegas, amigos e companheiros de república que fizeram parte desta caminhada.

## Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introdução.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Motivação.....  | 4         |
| 1.2. Objetivo.....   | 4         |
| 1.3. Organização do Trabalho.....                                  | 5         |
| <b>2. Referencial teórico.....</b>                                 | <b>7</b>  |
| 2.1. Revisão de literatura.....                                    | 7         |
| 2.2. Métricas das RSSF.....  | 11        |
| 2.3. Instalação de uma RSSF.....                                   | 12        |
| 2.3.1. Acessibilidade.....   | 12        |
| 2.3.2. Características das RSSF.....                               | 13        |
| 2.4. Tempo da instalação.....                                      | 14        |
| 2.5. Condições do meio ambiente.....                               | 15        |
| 2.6. Sensores de Umidade.....                                      | 15        |
| 2.6.1. Características do Tensiômetro.....                         | 16        |
| 2.6.2. Características do Sensor 200SS Watermark.....              | 17        |
| 2.7. Estado da arte.....   | 18        |
| <b>3. Metodologia.....</b>   | <b>21</b> |
| 3.1. Utilizando o Tensiômetro.....                                 | 21        |
| 3.2. Utilizando o Sensor 200SS Watermark.....                      | 23        |
| <b>4. Resultados e discussão.....</b>                              | <b>33</b> |
| <b>5. Conclusão e Trabalhos Futuros.....</b>                       | <b>41</b> |
| 5.1. Conclusão sobre RSSF no sensoriamento de umidade de solo...41 |           |
| 5.2. Trabalhos Futuros.....  | 42        |
| <b>6. Bibliografia.....</b>  | <b>43</b> |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1- Esquema da RSSF.....   | 22 |
| Figura 2- Nó sensor Micaz.....   | 24 |
| Figura 3- Placa sensora MDA100.....  | 24 |
| Figura 4- Tensiômetro.....   | 25 |
| Figura 5- Sensor de pressão MPX5100.....   | 25 |
| Figura 6- Esquema de acoplamento entre sensor 200SS e RSSF.....  | 26 |
| Figura 7- Sensor 200SS e leitor Watermark.....   | 27 |
| Figura 8- Sensor 200SS sendo instalado.....  | 28 |
| Figura 9- Relação leitura digital X Tensão no conversor A/D.....   | 29 |
| Figura 10- <i>BaseStation</i> MIB520.....  | 30 |
| Figura 11- Ligação Micaz, placa sensora MDA100 e <i>BaseStation</i> .....  | 30 |
| Figura 12- Relação umidade (cbar) X Tensão (V) no sensor de pressão..  | 32 |
| Figura 13- Relação umidade (cbar) X Tensão (V) no sensor 200SS.....  | 34 |
| Figura 14- Gráficos de medidas de tensão de água no solo em um intervalo de irrigação variando de solo muito seco (150 cbar) a solo saturado (0 cbar)..... | 36 |

## **Lista de tabelas**

Tabela 1- Avaliação da umidade pela tensão de água no solo .....27

Tabela 2- Umidade(cbar) X Tensão (V) no sensor de pressão ligado ao tensiômetro.....31

Tabela 3- Umidade(cbar) X Tensão (V) no circuito oscilador ao qual se conecta o sensor200SS.....33

**MEDIÇÃO DE UMIDADE DE SOLO UTILIZANDO  
TENSÍÔMETRO E SENSOR GRANULAR ADAPTADOS  
A UMA REDE DE SENSORES SEM FIOS**

**RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo a configuração de um sistema de medição de umidade de solo para áreas agrícolas. Tem como motivação coletar dados dos sensores de umidade de solo através de uma rede de sensores sem fios, proporcionando maior rapidez e precisão às leituras e menor esforço humano. Foi criada uma rede com a finalidade de transmitir os dados coletados para uma unidade concentradora (computador) onde os mesmos são tratados e transformados em informação útil. Para a medição da umidade, foram utilizados um tensiômetro e um sensor de umidade 200SS da Watermark, os quais fazem parte da rede. Testes da rede realizados em laboratório apresentaram desvio de 15% utilizando um tensiômetro e de 10% utilizando o sensor de umidade 200SS da Watermark em relação a um medidor padrão.

**Palavras-chave:** Redes de Sensores Sem Fios (RSSF); Medição de umidade de solo; Tensiômetro; Sensor granular.



## **MEASUREMENT OF SOIL MOISTURE USING TENSIO METER AND GRANULES SENSOR ADAPTED TO A WIRELESS SENSORS NETWORK**

### **ABSTRACT**

This work aims at setting up a measurement system for soil moisture in agricultural areas. Motivation is to collect data from sensors of soil moisture through a network of wireless sensors, providing greater speed and accuracy of readings and less human effort. Was created a network with the purpose to transmit the collected data to a concentrator unit (computer) where they are processed and transformed into useful information. For the measurement of moisture, we used a tensiometer and a humidity sensor for the Watermark 200SS, which are part of the network. Tests conducted in the laboratory of the network showed deviation of 15% using a tensiometer and 10% of humidity sensor using the Watermark 200SS on a standard meter.

**Word-key:** Wireless sensor network (WSN); Measurement of soil moisture; Tensiometer; Granules sensor.

## **1. Introdução**

Um país para ter um grande desenvolvimento em sua produtividade, necessita da utilização de tecnologias que requeiram menor mão-de-obra por unidade de área. Essa redução ocorre de forma natural quando o setor urbano-industrial é capaz de absorver a mão-de-obra excedente. Na maioria das vezes, a demanda do setor urbano-industrial, cresce mais lentamente que a força de trabalho agrícola nos países em desenvolvimento. Porém, com investimentos em educação e inovações tecnológicas que permitam utilizar com maior eficiência os fatores, terra e trabalho, o aumento da produtividade da mão-de-obra agrícola pode ser alcançado (Freire, 2000).

A grande utilização da informática atualmente possibilita a criação de sistemas de manejo de irrigação informatizados. A eletrônica é de extrema importância na modernização de atividades agrárias, fazendo com que equipamentos possam ser automatizados tornando as atividades mais rápidas e precisas. Automação de processos é importante por melhorar significativamente a qualidade dos mesmos e por realizar tarefas monótonas e cansativas antes realizadas pelo homem.

Para a utilização de um sistema automático é necessária uma central de controle onde fica armazenado o programa que comanda todas as funções dos equipamentos. Um computador pessoal é capaz de comandar equipamentos enviando sinais através de portas de comunicação, sendo dessa forma, uma central de baixo custo e fácil

acesso (Souza, 2001).

Sensores são dispositivos que recebem e respondem a sinais ou estímulos e podem ser usados para medir quantidades físicas, como temperatura e pressão. Sensores vêm sendo usados para monitoramento em aplicações de climatologia, biologia e indústria.

O monitoramento automático para manejo de irrigação, embora ainda pouco utilizado no Brasil, constitui uma ferramenta importante no controle das aplicações de água para as plantas, e uma maior eficiência do seu uso, assegurando a sustentabilidade do sistema agrícola irrigado, e a preservação do meio ambiente. Nos sistemas de irrigação em jardins é comum à adoção de controle automático da irrigação com o uso do temporizador eletrônico, equipamento que promove a abertura ou o acionamento de motobombas e válvulas em períodos de tempo pré-determinados. Entretanto, esses equipamentos não levam em consideração o teor de água do solo ou outra variável do sistema solo-planta-atmosfera. Existem sistemas automáticos que utilizam o tensiômetro, o qual mede a tensão com que a água é retida pelo solo, porém em pequena escala. O desenvolvimento dessa metodologia constitui uma linha de pesquisa e extensão, no sentido de sempre contribuir para o advento de equipamentos eficientes no controle de irrigação com baixo custo e acessível a agricultores.

Sensores de umidade de solo como o tensiômetro a partir de

adaptações, podem ser acoplados a uma rede de sensores sem fios (RSSF) possibilitando leitura remota da umidade.

As RSSF a cada dia tornam-se um assunto de maior atividade de pesquisas pelo grande avanço das tecnologias de *hardware*. São consideradas uma das principais tecnologias da atualidade e utilizadas em diversas áreas como: a saúde, a segurança, áreas militares e monitoramento de áreas agrícolas. Estas redes possibilitam o monitoramento de determinada área ou fenômeno tornando possível uma intervenção nos mesmos (Gross, 1999).

Neste trabalho foi desenvolvido um medidor de umidade do solo baseado em um tensiômetro, o qual foi adaptado para funcionar acoplado a um nó sensor. Este medidor foi calibrado e testado em laboratório. Seu funcionamento foi comparado ao de um sensor de umidade padrão, o Watermark (Chard, 2004). Foi desenvolvido um módulo funcional para controle do medidor, baseado na linguagem de programação nesC (Gay, 2003). Este módulo é adaptável a outros programas de RSSF baseados no sistema operacional TinyOS (TinyOS, 2007). Este sistema foi ligado a um computador, o qual recebe os dados da RSSF, imprimindo-os na tela do microcomputador. Os dados foram analisados estatisticamente para validação dos resultados. O desenvolvimento de um tensímetro (tensiômetro com processamento digital) para utilização em uma RSSF é importante porque resulta em redução de esforço humano uma vez que possibilita a obtenção da umidade do solo sem a necessidade de se entrar em contato direto com a área monitorada, pois os dados colhidos são enviados à central de controle (microcomputador) onde os dados são

analisados.

## **1.1. Motivação**

Este trabalho tem como motivação a coleta de dados de sensores de umidade de solo através de uma rede de sensores sem fios. Desta forma proporcionando uma maior rapidez e precisão às leituras de umidade e também um menor esforço humano. Com a utilização de RSSF, não é mais necessário entrar em contato direto com a área agrária a ser monitorada, diferentemente de se utilizar leitores manuais. Para utilizar o leitor Watermark, que é padrão no mercado, há a necessidade de conectá-lo diretamente ao sensor de umidade instalado no campo.

## **1.2. Objetivo**

Este trabalho tem por objetivo fazer um nó sensor ler os dados do sensor de umidade de solo, enviá-los para um nó sensor base via rádio, o qual os repassa para um microcomputador, através de uma porta de comunicação USB. Nesse computador os dados brutos são transformados em informação útil.

## **1.3. Organização do trabalho**

Na Seção 2 é apresentado o referencial teórico, onde serão feitas uma revisão de literatura, uma apresentação das principais métricas e características das RSSFs e estado da arte, que mostra a utilização das

RSSFs em outros projetos. Na Seção 3 é descrita a metodologia do estudo proposto, na qual se mostrará os materiais e métodos utilizados durante a execução do projeto. A descrição dos resultados do estudo, é apresentada na seção 4. A seção 5 apresentará a conclusão sobre o projeto e possíveis trabalhos futuros.



## **2. Referencial teórico**

### **2.1. Revisão de literatura**

Os sistemas de automação têm grande potencial de uso na agropecuária e são utilizados na agricultura e na zootecnia de precisão para automatizar processos, monitorar melhor os sistemas, otimizar a produção e reduzir perdas.

De acordo com Gornat e Silva (1990), a automatização do sistema de irrigação apresenta vantagens como:

- Melhor administração da propriedade ou projeto agrícola: controle centralizado, tomada de decisão automática, monitoramento ou supervisão da operação do sistema, obtenção do histórico completo das aplicações de água e fertilizantes;
- Obtenção de maiores produtividades a um menor custo: controle preciso do tempo de aplicação da irrigação, medições precisas das quantidades de água e fertilizante;
- Economia de mão-de-obra: abertura e fechamento automático de válvulas e registros, operação automática de bombas de recalque e de reforço;
- Economia de água;
- Economia de energia;
- Economia de fertilizante: quantidades administradas de forma



precisa.

Há inúmeros exemplos de sistemas de automação de aquisição de dados com os mais variados graus de complexidade, como a aplicação de lógica fuzzy e redes neurais para controlar um sistema de irrigação automático. Na maioria dos casos, é necessário pelo menos um controlador inteligente e possivelmente um meio pelo qual diferentes unidades do sistema possam se comunicar entre si, e com o meio. Um sistema moderno e eficiente para aquisição de dados em campos agrícolas é uma Rede de Sensores Sem Fios (RSSF).

Uma RSSF em uma área agrícola possibilita a realização de diversos tipos de medições em variados locais da área (Beckwith, 2006). Em cada uma dessas áreas podem ser coletados dados como: umidade do solo, a temperatura do ar, temperatura do solo, nível de radiação solar, e outros dados que interessem. Estes são transmitidos pelos nós sensores da rede via rádio até um nó base que os repassa a um microcomputador. A partir da transformação desses dados em informação útil, por um especialista, pode ser feito um mapeamento das condições do meio monitorado e da cultura agrícola presente, tomando-se decisões sobre quando e como atuar na área (Bernardo, 2002).

O objetivo de uma RSSF é coletar dados de uma região sensoriada e permitir a extração destes por uma entidade externa através de um observador (*sink*). Assim, uma função fundamental dessas redes é a de disseminação dos dados coletados até um *sink*.

Uma rede de sensores sem fio (RSSF) pode ser caracterizada pelo uso de uma grande quantidade de nós sensores com a capacidade de se comunicar, por meios não guiados (meios óticos ou sinais de rádio). Dados são transmitidos utilizando-se a técnica de múltiplos saltos (*multi-hop*) entre os nós, realizando uma comunicação ponto-a-ponto. A comunicação por rádio possibilita para a rede, versatilidade, facilidade de instalação e deslocamento, e redução de custos de instalação e manutenção. Os nós sensores podem ser colocados dentro do fenômeno a ser analisado ou próximo a ele, diferentemente das redes de sensores tradicionais (Akyildiz *et al*, 2002). As posições de cada nó podem ser pré-determinadas ou aleatórias e a implantação de redes de sensores pode ser feita em locais de difícil acesso. A comunicação entre estes nós é feita através de uma rede *ad hoc* sem fio, um nó transmitindo a outro nó próximo os valores do sensoriamento. Os avanços recentes em comunicações permitiram o desenvolvimento de sensores pequenos e baratos baseados em microsistemas eletromecânicos (*MEMS – Micro Electro Mechanical Systems*) de baixo consumo de energia. O uso de dispositivos pequenos e baratos possibilita o uso em larga escala para diversas aplicações que tem despertado o interesse da comunidade científica: militar, ambiental e industrial.

Cada nó sensor possui uma unidade de memória, um sistema de comunicação, um microcontrolador e é alimentado por pequenas baterias, o que lhe impõe restrições no consumo de energia (Hill, 2002). É possível a ligação de alguns sensores aos nós a fim de

realizar medições de variáveis do ambiente (Culler, 2004). O microcontrolador e o dispositivo de memória permitem a execução de um protocolo de rede em cada nó sensor, e os dados podem ser trabalhados localmente antes de serem transmitidos (Lewis, 2004). Isto permite o agrupamento e compactação dados antes de serem transmitidos o que proporciona maior economia de energia, uma vez que os rádios transmitem uma maior quantidade de dados em um número menor de transmissões.

As características dos nós sensores, pertencentes à rede, que apresentam graves limitações de espaço de memória, energia e processamento, fazem com que as propriedades que caracterizam as RSSF diferenciem-se das redes comuns de computadores. As limitações dos nós fazem com que um projeto para RSSF deva ser baseado na aplicação, priorizando um maior tempo de vida possível da rede, pois se trata de um aspecto de grande importância.

Um ambiente onde não houvesse interferências nas comunicações, isento de vegetação e plano seria um local ideal para a instalação da rede de sensores sem fios. Neste local, a disposição mais indicada dos nós sensores seria em forma de grelha, onde seriam colocados a uma distância  $d$  entre si, sendo essa distância compatível com o alcance do rádio de cada nó sensor. Porém, grande parte das vezes, a instalação da rede é feita em lugares com características distintas às ideais, impossibilitando uma disposição ótima para os sensores, como quando se está monitorando lugares inóspitos como o fundo do oceano (Isler, 2004).

## 2.2. Métricas das RSSF

Os principais elementos que compõem uma rede sensorial são: o nó sensor, o observador e o fenômeno. O nó sensor é quem faz a monitoração do fenômeno que está sendo analisado, sendo formado por: processador, rádio para comunicação, memória e bateria. Eles fazem a leitura do fenômeno e repassam essa informação para o observador.

O observador é o usuário final que deseja estudar e obter respostas sobre o fenômeno. O fenômeno é o objeto de estudo do observador, é o que está sendo monitorado pela rede sensorial.

A seguir são apresentadas as principais métricas utilizadas em arquiteturas de RSSF (Tilak S. *et al*, 2002):

**Tempo de Vida:** O tempo de vida de uma RSSF pode ser medido com base em parâmetros genéricos, como quando a rede deixa de fornecer as informações sobre o fenômeno monitorado.

**Latência:** é o tempo necessário para a RSSF informar ao observador a ocorrência de algum fenômeno no meio monitorado.

As métricas de RSSF são de grande importância na medição do desempenho das arquiteturas utilizadas. Uma solução ideal deve ser baseada num conjunto de métricas que se relacionam a função a ser desempenhada pela rede, proporcionando uma maior precisão ao monitoramento.

## **2.3. Instalação de uma RSSF**

A instalação dos sensores pertencentes à rede é de elevada importância, pois interfere diretamente na qualidade do sensoriamento e por depender de vários fatores. Nesta seção serão apresentados alguns fatores relevantes.

### **2.3.1. Acessibilidade**

As RSSF apresentam características às quais se adequam a ambientes móveis ou remotos. Um fator de elevada importância é a acessibilidade ao cenário a ser monitorado, pois este pode apresentar limitações ou mesmo impossibilitar o acesso, como o interior de um iceberg. Quando se trata do monitoramento de uma área agrícola há uma acessibilidade muito maior possibilitando a realização de interferências na rede como alteração da disposição dos nós. Outra forma de instalação é agregar o nó sensor ao fenômeno a ser monitorado, como na coleira de algum animal, fazendo com que o sensor acompanhe o fenômeno quando este se move. Com isso há a necessidade do desenvolvimento de mecanismos de localização que possibilitem a coleta dos dados obtidos pelo sensor.

### **2.3.2. Características das RSSF**

As características físicas das RSSF levam em consideração a rede como um todo e os nós como elementos individuais.

Com a finalidade de se obter um número de nós sensores necessários ao monitoramento de determinada área ou fenômeno, deve-se

calcular primeiramente a quantidade mínima necessária de nós tomando como base o monitoramento do fenômeno em condições ótimas. Este cálculo é obtido a partir da equação (1) demonstrada a seguir (Slijepcevic *et al*, 2001), na qual  $NS$  representa o número mínimo de nós sensores necessários à rede,  $r$  o raio de alcance do rádio transmissor de cada nó e  $A$  é a área a ser monitorar.

$$NS = \frac{2A}{r^2 \sqrt{27}} \quad (1)$$

Porém, ao se calcular o número de nós sensores necessários à rede a partir dessa equação considera-se que as mesmas capacidades sensoriais são apresentadas pela totalidade dos nós. Desta maneira, não pode calcular o número de nós em uma RSSF que apresenta dispositivos com capacidades sensoriais diferentes, e não trata a possibilidade dos nós ficarem incomunicáveis devido à variáveis ambientais como árvores ou rochas, já que o cálculo é feito para monitoramento em condições ótimas.

Uma RSSF pode ser composta por nós sensores pertencentes a diferentes classes e em que cada nó dispõe de vários tipos de sensores; em tais cenários é importante escolher o tipo de sensor correto de acordo com as necessidades do observador. Existem inúmeros tipos de sensores que podem ser facilmente aplicados nos nós, tais como sensores de umidade, temperatura, som, imagem, luminosidade, movimento, vibração e pressão arterial. É importante notar que cada tipo de sensor apresenta

consumos energéticos e alcances de monitoramento diferentes.

O desempenho do nó sensor pode ser afetado pelo desempenho dos seus componentes: bateria, memória, processador, sensor, transmissor e receptor.

## **2.4. Tempo da instalação**

RSSF demandam um tempo de instalação baixo comparando-se com o tempo gasto na instalação de redes cabeadas. Podem ser instaladas, dependendo do tamanho da rede, em horas ou mesmo minutos, enquanto podem-se gastar vários dias na instalação de redes cabeadas. Para algumas aplicações o tempo de instalação é extremamente importante, como em monitoramento de pacientes em estado grave, fazendo com que essas aplicações devam estar em operação em um intervalo de tempo muito pequeno. Desta maneira é possível que os médicos instalem rapidamente os sensores no paciente.

## **2.5. Condições do meio ambiente**

Em ambientes exteriores normalmente as ondas rádio podem se propagar mais facilmente. Contudo estes cenários podem apresentar inúmeras características que influenciam o desempenho da RSSF, tais como temperatura, umidade e presença de obstáculos como árvores e pedras.

## **2.6. Sensores de Umidade**

Para que haja um bom desenvolvimento das plantas, o solo faz um papel de reservatório de armazenamento de água nos intervalos entre as chuvas ou irrigações, fazendo com que fique disponível para as plantas. Para que as irrigações possam ser mais bem aproveitadas havendo um menor desperdício possível de água e energia, é importante a utilização de sensores de umidade de solo. A partir das medições dos sensores pode-se saber com que velocidade a água é retirada do solo em diferentes partes da lavoura. Com essas medições, podem-se obter informações precisas sobre a umidade do solo fazendo as irrigações apenas quando for realmente necessário. É importante ressaltar que solos arenosos perdem água mais facilmente que solos argilosos, portanto secam mais rápido. Com a utilização dos sensores, elimina-se a maneira, sem precisão, de estimar a umidade do solo, pois são vários os fatores que influenciam na velocidade com que o solo seca como: temperatura, radiação solar e inclusive o próprio tipo de solo (Tracom, 2008)

### **2.6.1. Características do Tensiômetro**

Tensiômetros são utilizados para medir a tensão com que a água é retida pelo solo, por esta afetar diretamente a absorção de água pelas plantas. É constituído por um tubo plástico, de comprimento variável, em cuja extremidade inferior há uma cápsula de porcelana porosa. É fechado hermeticamente na extremidade superior, onde se encontra um



manômetro de mercúrio ou um vacuômetro, como elemento indicador do vácuo existente dentro do aparelho, quando em operação. As unidades de medida podem se kPa, cbar, mmHg e cmH<sub>2</sub>O.

Tensiômetros têm capacidade para leitura de tensão entre 0-75 kPa, podendo fazer leituras em um intervalo menor que um sensor 200SS Watermark, já que este faz leituras entre 0-200 kPa, sendo recomendados para o manejo da irrigação na maioria das plantas cultivadas em campo ou sob cultivo protegido (Marouelli *et al*).

As irrigações devem ser realizadas a todo o momento que a média das leituras dos tensiômetros instalados for igual ou superior à tensão crítica para a planta de interesse, ou seja, quando as leituras indicarem umidade inferior a requerida.

A quantidade de água a ser aplicada por irrigação pode ser ajustada baseando-se na leitura dos próprios tensiômetros. O ideal é irrigar até que a tensão na profundidade a 10 cm esteja entre 5-10 kPa e a tensão na profundidade a 20-30 cm entre 10-15 kPa. A irrigação é insuficiente caso a tensão a 10 cm, com um intervalo de 1 a 2 horas após a irrigação, tempo necessário para estabilização das leituras, for maior que 10 kPa. Porém, é excessiva se a tensão a 20-30 cm for inferior a 10 kPa (Marouelli *et al*).

## **2.6.2. Características do Sensor 200SS Watermark**

O Watermark (Chard, 2004) é um sensor de matriz granular, semelhante a um bloco de gesso. É constituído por dois eletrodos concêntricos embutidos em uma matriz de referência material, que é cercada por uma membrana sintética de proteção contra a deterioração. A malha de aço inoxidável e a borracha exterior fazem o sensor mais durável. A circulação de água entre o solo e o sensor resulta em alterações na resistência elétrica entre os eletrodos no sensor. A resistência elétrica pode então ser convertida em potencial hídrico do solo.

Sensores Watermark são baratos e podem medir o potencial hídrico do solo, ao longo de um leque mais amplo (0 a 200 kPa) que tensiômetros. São compactos, facilmente instalados, e de baixa manutenção.

Em geral coloca-se mais de um sensor para um determinado local, em diferentes profundidades. Deve-se colocar no mínimo um sensor dentro da camada explorada pelas raízes e outro mais profundo, além do sistema radicular. O sensor colocado em maior profundidade destina-se a verificar se há água aplicada em excesso.

O bom contato do sensor com o solo é essencial. É a medida que o solo seca, se o solo for arenoso, poucos poros estarão preenchidos por água que estará em contato hidráulico com a umidade presente no interior do sensor. Por isso um bom contato com o solo é muito importante e isto depende da qualidade da instalação.

Os sensores possuem um leitor, que é conectado diretamente aos terminais do mesmo por conectores tipo jacaré. Deve-se evitar o contato entre esses terminais para a leitura não ser afetada.

As leituras do medidor Watermark indicam a tensão com que a água encontra-se retida pelo arranjo das partículas do solo. Esta tensão precisa ser superada pelas raízes das plantas para absorver água. A leitura é apresentada em cbar (centi-bars). Cada centibar equivale a 1 kPa (quiloPascal) ou aproximadamente 0,1 mca (metro de coluna de água).

## **2.7. Estado da arte**

As redes de sensores sem fios tem sido utilizadas em áreas agrícolas para pesquisas de diversas finalidades, como implantação das mesmas em vinhedos com o objetivo de se descobrir maneiras de como se poderia encontrar um retorno positivo na área sobre o investimento realizado para implantação de uma rede deste tipo. E tem-se encontrado várias áreas em que RSSF são capazes de fornecer informações valiosas, como através da medição da temperatura, podendo calcular sua variação durante certo tempo, e determinar potencialidade de eventos que podem ocorrer, como gear em determinada área. (Beckwith et. al., 2003)

Em 2004 pesquisadores de várias universidades, como Universidade Wageningen, Universidade de Tecnologia Delft, uniram-se para criação de um ambicioso projeto que utilizava uma RSSF com 150 nós em uma plantação de batatas. Tal

projeto evidenciou a grande dificuldade de se tratar elevado número de sensores ao ar livre, que apresentavam um número considerável de problemas de difícil solução, que emergiam durante todo o projeto (Langendoen *et. al.* 2006).

Foi desenvolvida uma aplicação para redes de sensores sem fios no monitoramento de variáveis fisiológicas de bovinos. A necessidade de se coletar os dados causando menos perturbações no comportamento natural dos animais de interesse, foi a motivação para utilizar-se redes de sensores sem fios (Arce, 2008).

Diversos projetos de sensoriamento remoto tem sido desenvolvidos para estudo de determinadas áreas, como um estudo realizado na região agreste da Paraíba com a finalidade de classificar a vegetação regional, a partir de imagens de satélite. Através desse projeto verificou-se a necessidade de práticas de gestão adequadas para o uso dos recursos naturais, principalmente em regiões de pastagens. (Ribeiro *et. al.*, 2007).



### **3. Metodologia**

Foi realizada uma pesquisa científica que quanto à natureza, classifica-se como tecnológica por ser relacionada à computação. Quanto aos objetivos classifica-se como pesquisa descritiva, pois foi realizada a observação, o registro e a análise dos fenômenos. Em relação aos procedimentos classifica-se como experimental, pois foram feitos estudos em laboratório, simulação e criação de circuitos. Esta pesquisa foi realizada em laboratório.

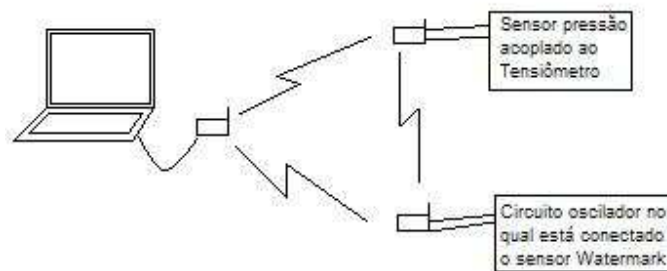
No desenvolvimento deste projeto utilizaram-se dois tipos de sensores diferentes, um tensiômetro e um sensor de umidade 200SS da Watermark. Estes dois sensores foram instalados em um mesmo vaso com terra no laboratório de eletrônica do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras-UFLA, onde foram monitorados.

Os dois sensores apresentam formas distintas de leitura da umidade do solo em que estão instalados. No caso do tensiômetro acoplase um sensor de pressão ao mesmo e a tensão de saída varia de acordo com a pressão dentro do tensiômetro proporcional à umidade. Para utilizar o sensor 200SS Watermark utiliza-se um circuito oscilador ligado aos terminais do sensor e a tensão de saída do circuito varia de acordo com a resistência interna do sensor de umidade proporcional à umidade do solo. Porém as duas formas apresentam como saída um valor de tensão.

Para os dados serem colhidos dos sensores e enviados a uma central de controle (computador), foi utilizada uma rede de sensores sem fios (RSSF).

### 3.1. Rede de Sensores Sem Fios

A figura 1 representa o esquema simplificado da rede de sensores sem fios montada para desenvolvimento do projeto. Utilizou-se um nó sensor Micaz base, responsável por receber os dados e repassá-los ao computador e dois outros nós sensores Micaz. Um responsável por receber os dados do sensor de pressão acoplado ao tensiômetro e o outro por receber os dados do circuito oscilador acoplado aos terminais do sensor de umidade 200SS da Watermark. Ao receber esses dados, repassam essas informações ao nó base.



**Figura 1 - Esquema da RSSF**

Os nós sensores, exigem sistemas operacionais com características próprias, especialmente devido às restrições de energia e recursos computacionais. Neste trabalho foi utilizado o

sistema operacional TinyOS (TinyOS, 2007), o qual é um sistema operacional simples e compacto, destinado aos pequenos dispositivos de RSSF. A programação dos nós sensores é feita utilizando-se a linguagem nesC, que foi desenvolvida especificamente para as RSSFs.

Neste projeto, foram utilizados elementos da plataforma Micaz (Crossbow, 2006) representado na figura 2, que trabalha numa frequência de 2.4Ghz, o qual utiliza o rádio integrado CC2420 da Chipcon (Chipcon, 2004) e o microcontrolador Atmega128L (Atmel, 2004). Para que o nó sensor pudesse receber os dados de saída dos respectivos sensores, foi utilizada uma placa sensora MDA100 (Crossbow, 2006) apresentada na figura 3, a qual é acoplada ao nó. Esta placa possibilita diversas entradas de dados ao nó sensor.

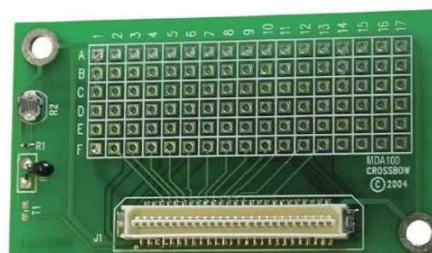
Foi utilizada uma entrada da placa MDA100 (Crossbow, 2006) que possui entradas para conversor A/D contido no Micaz. Este possui um conversor de 10 bits, o que possibilita a geração de números binários de 0 (zero) a 1023 (mil e vinte e três).

Desta forma os dados (Tensão) recebidos pelo sensor base e repassados ao microcomputador vão variar de 0 (zero), quando a tensão de entrada for 0V, a 1023 (mil e vinte e três) quando a tensão de entrada for 3,3V. Como o valor de entrada máximo de tensão para a placa MDA100 é 3V, a voltagem de saída dos sensores passa antes por um resistor para proteger a placa.





**Figura 2 - Nó sensor Micaz**



**Figura 3 - Placa sensora MDA100**

### **3.2. Utilizando o Tensiômetro**

Para a utilização do tensiômetro neste trabalho, na sua parte superior, onde ocorre a vedação do mesmo, foi adaptado um sensor de pressão MPX5100 (vacuômetro), com a utilização de uma agulha de seringa, a qual mede a tensão com que a água é retida pelo solo, a qual está ligada diretamente a umidade em que o solo se encontra. Com o sensor acoplado e o tensiômetro instalado na terra, podem-se medir as tensões elétricas de saída do sensor de pressão, para diferentes umidades de solo. As leituras foram comparadas com um medidor padrão (Watermark) para que se

pudesse obter uma relação entre os valores obtidos pelo tensiômetro e pelo padrão Watermark, assim fazendo a calibração da nova forma de se medir a umidade do solo.

As figuras 4 e 5 ilustram um tensiômetro com sensor de pressão acoplado e um sensor de pressão MPX5100 (vacuômetro) utilizados na execução deste projeto.

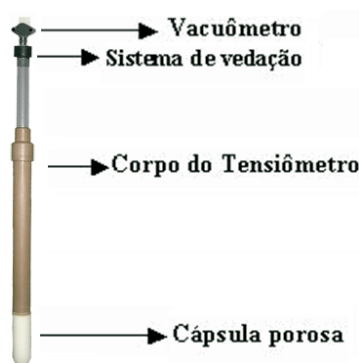


Figura 4 -Tensiômetro



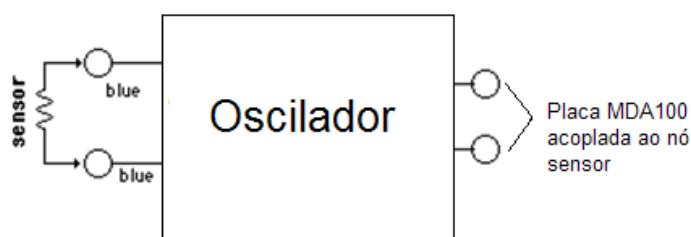
Figura 5 - Sensor de pressão MPX5100

### 3.2. Utilizando o Sensor 200SS Watermark

Para se utilizar o sensor 200SS da Watermark (Chard, 2004), houve a necessidade de se desenvolver um circuito eletrônico para obtenção da leitura dos dados do sensor, apresentado pela figura 6. Este

circuito possui a possibilidade de se medir a tensão (V), a corrente (A) ou a frequência (Hz). Neste projeto optou-se por utilizar uma ligação que resulte como saída a tensão do circuito.

Com o sensor ligado a esse circuito, podem-se medir as tensões de saída, a partir de diferentes umidades do solo em que o sensor se encontra. A cada medição realizada com esse circuito, foi realizada uma medição com leitor já existente no mercado pra estabelecer-se uma relação entre os valores encontrados e ser feita uma calibração da nova forma de medição.



**Figura 6** - Esquema de acoplamento entre sensor 200SS e RSSF

A figura 7 ilustra um sensor Watermark e seu respectivo leitor padrão.



**Figura 7-Sensor 200SS e leitor Watermark**

Em geral as leituras obtidas através de sensores de umidade podem ser interpretadas conforme tabela 1:

**Tabela 1- Avaliação da umidade pela tensão de água no solo (Tracom, 2004)**

| LEITURA (CBAR) | INTERPRETAÇÃO  |
|----------------|--|
| 0 – 10         | solo próximo da saturação (capacidade de campo). Mais saturado que este valor (valores menores) o solo passa a perder água por drenagem, percolando para camadas mais profundas pela ação da gravidade |
| 10 – 30        | solo adequadamente úmido, exceto solos muito arenosos em que acima de 15-20 cbar já indica solo perdendo umidade tornando-se seco  |
| 30 – 60        | faixa normalmente encontrada no campo em solos irrigados de textura média a argilosa.  |
| maior que 60   | solo tornando-se muito seco comprometendo desenvolvimento das plantas  |



**Figura 8-Sensor 200SS sendo instalado**

O gráfico apresentado pela figura 9 representa a relação entre a leitura enviada para o microcomputador a partir de um conversor A/D de 10 bits contido na placa MDA100, representando assim valores de 0 (zero) a 1023 (mil e vinte e três). Como a tensão de alimentação do circuito é 3,3V, portanto o valor máximo de tensão, o valor 0 representará 0V, enquanto o valor 1023 representa 3,3V. Essa relação é apresentada pela função  $y = 310x$ , onde  $y$  representa a leitura digital e  $x$  o respectivo valor da tensão (V).

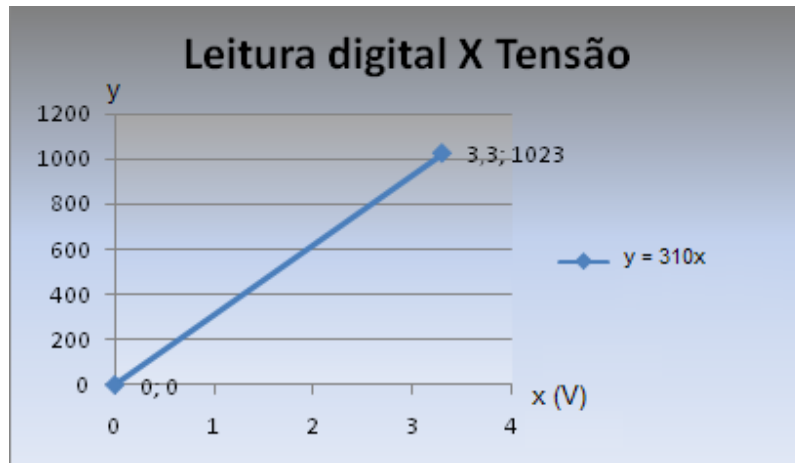


Figura 9- Relação leitura digital X Tensão no conversor A/D

Para que o nó sensor pudesse receber os dados da placa MDA100, houve a necessidade de ser feita uma programação para o nó, a qual foi realizada utilizando-se sistema operacional TinyOS. Este já possui diversos módulos prontos para serem compilados para utilização do nó. A programação realizada para o nó utiliza alguns desses módulos com algumas modificações.

Com a finalidade de leitura dos dados recebidos pela placa MDA100, utilizou-se um módulo contido no TinyOS chamado *Oscilloscope*. Este é previamente programado para leitura dos sensores, contidos na placa MDA100, de temperatura e de luminosidade. Para que pudessem ser lidos os dados dos sensores externos de umidade foram necessárias algumas mudanças na programação. Foram mudadas as chamadas do programa para os novos módulos criados fazendo com que

os dados coletados fossem dos sensores externos em detrimento aos contidos na própria placa. Esses novos módulos foram criados baseados nos já contidos no TinyOS.

Foi utilizado um módulo já contido no TinyOS para o envio das mensagens via rádio para os outros nós sensores. Estas são enviadas pelos nós sensores até o nó sensor base, conectado a uma *BaseStation* MIB520 (Crossbow, 2006), que possibilita sua conexão direta com o microcomputador via porta USB. A unidade MIB520 é vista na figura 10.

No nó sensor conectado a MIB520, é instalado um módulo programando o nó sensor para receber as mensagens enviadas por outros nós e enviá-las ao microcomputador onde os dados colhidos, após serem transformados em informação útil, são apresentados na tela. A figura 11 apresenta o sensor Micaz acoplado a placa MDA100 e ao MIB520.



**Figura 10-BaseStation MIB520**



**Figura 11-Ligação Micaz, placa sensora MDA100 e BaseStation**

## 4. Resultados e Discussão

Foi construído um medidor de umidade do solo adaptável a uma RSSF, o qual pode ser utilizado em substituição ao padrão de mercado (Watermark).

Com os sensores instalados em solo foram realizadas medições em variadas umidades e os dados coletados foram comparados ao leitor padrão da Watermark. A partir dessa comparação pôde-se obter as relações apresentadas nas tabelas 2 e 3. A partir dessas relações puderam-se obter as curvas do gráfico e equações às quais foram utilizadas para tratamento dos dados brutos e consequente transformação dos mesmos em informação útil, tanto para o tensiômetro com sensor de pressão adaptado, quanto para o sensor de umidade 200SS da Watermark. Esses gráficos e equações são apresentados pelas figuras 14 e 15, que relacionam-se com o tensiômetro e com o sensor de pressão 200SS da Watermark respectivamente.

**Tabela 2-Umidade (cbar) X Tensão(V) no sensor de pressão ligado ao tensiômetro**

| <b>Umidade</b> | <b>Sensor Pressão</b> |
|----------------|-----------------------|
| 20 cbar        | 0,50 V                |
| 22 cbar        | 0,65 V                |
| 23 cbar        | 0,68 V                |
| 85 cbar        | 2,65 V                |
| 131 cbar       | 3,27 V                |



O gráfico da figura 12 foi feito a partir das tensões obtidas através das medições realizadas em diferentes unidades do sensor de pressão acoplado ao tensiômetro, e a leitura do sensor padrão Watermark, para ser feita uma calibração da nova forma de medição de umidade de solo, dados estes demonstrados na Tabela 2, logo acima. Este apresenta também a curva de tendência demonstrando aproximadamente os valores não colhidos em experimento e sua respectiva função  $y = 3,2414x^3 - 4,9478x^2 + 17,97x + 11,805$ , onde y representa o valor em cbar da umidade e x a tensão colhida a partir do circuito, a qual foi utilizada para tratar os dados brutos colhidos e transformá-los em informação útil, neste caso a umidade do solo.

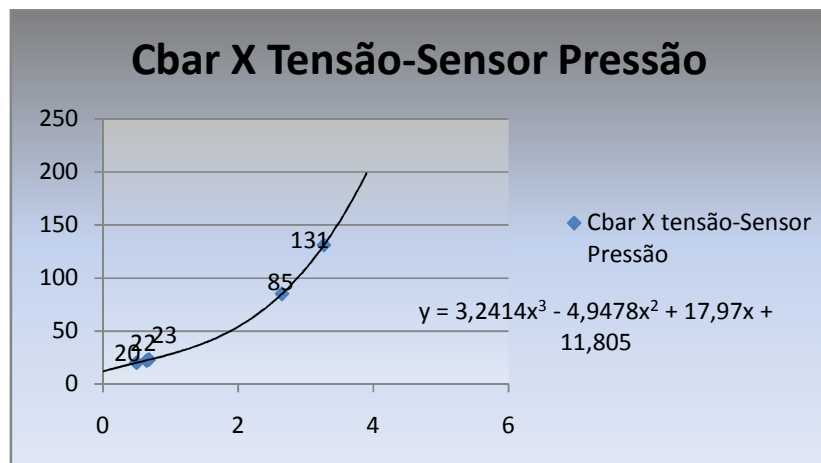
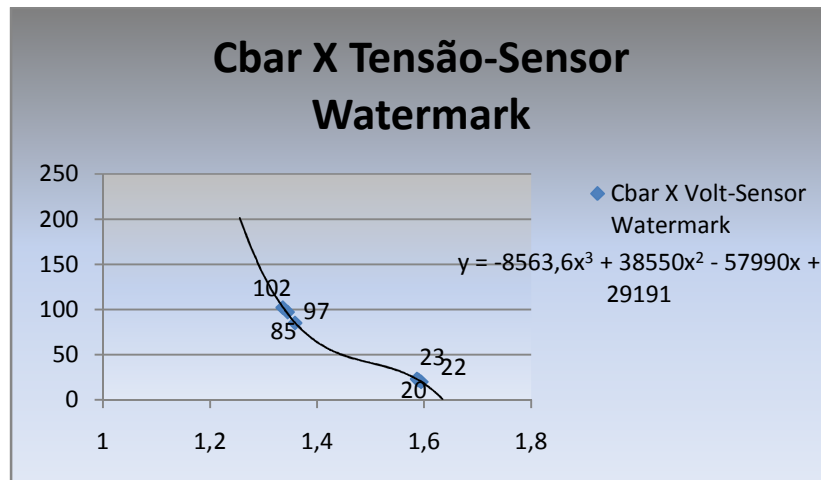


Figura 12-Relação umidade (cbar) X Tensão (V) no sensor de pressão

**Tabela 3- Umidade (cbar) X Tensão (V) no circuito oscilador ao qual se conecta o sensor 200SS**

| <b>Umidade</b> | <b>Sensor 200SS<br/>Watermark</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 20 cbar        | 1,595 V                           |
| 22 cbar        | 1,590 V                           |
| 23 cbar        | 1,587 V                           |
| 85 cbar        | 1,359 V                           |
| 97 cbar        | 1,345 V                           |
| 102 cbar       | 1,336 V                           |

O gráfico da figura 13 foi feito da mesma forma que a Figura 12, explicitado anteriormente, comparando-se as leituras obtidas em testes (tensão) com as leituras do sensor padrão Watermark, dados estes demonstrados na Tabela 3 acima. Porém demonstra tratamento dos dados colhidos a partir do sensor 200SS da Watermark. Pelo gráfico pôde-se obter a curva de tendência e sua respectiva função  $y = -8563,6x^3 + 38550x^2 - 57990x + 29191$ , na qual y representa o valor da umidade em cbar e x representa a tensão colhida a partir do circuito oscilador. Esta função é utilizada no programa para tratar os dados brutos colhidos (Tensão) e transformá-los em informação útil (umidade).



**Figura 13-Relação umidade (cbar) X Tensão (V) no sensor 200SS**

Desenvolveu-se um módulo de programa para acionamento e controle dos sensores, o qual funciona sobre o sistema operacional TinyOS. Esse módulo foi baseado em outros já contidos no SO (TinyOs) e utiliza alguns módulos já prontos do próprio SO (TinyOs).

Como a placa MDA100 apresenta um conversor A/D de 10bits, os dados brutos lidos variam de 0 (zero) a 1023 (mil e vinte e três) e a relação entre esses dados recolhidos pelo nó sensor é apresentada na figura 10, a qual representa a relação com sensor Watermark e sensor de pressão. Os dados brutos coletados são enviados ao microcomputador onde são transformados em informação útil através de funções apresentadas pelas figuras 12 e 13. Após serem transformados esses dados são apresentados na tela do microcomputador, graficamente, demonstrando a umidade do solo em tempo real.

A figura 14 demonstra um teste realizado, em laboratório, com os sensores instalados em um vaso com terra, inicialmente seca,

apresentando uma medição de 150 cbar de acordo com medidor padrão, efetuando-se uma irrigação da mesma. Desta forma, em pouco tempo, cerca de 10 minutos para o tensiômetro e 18 minutos para o sensor granular, os sensores captam a mudança da umidade do solo. Esta é transmitida periodicamente pelos nós sensores para o microcomputador, fazendo com que se possa ver essa variação, assim que detectada pelos sensores, instantaneamente na tela. Na figura 16, as curvas de umidade decrescem drasticamente pelo fato de ter sido feita uma irrigação abundante, umedecendo o solo rapidamente.

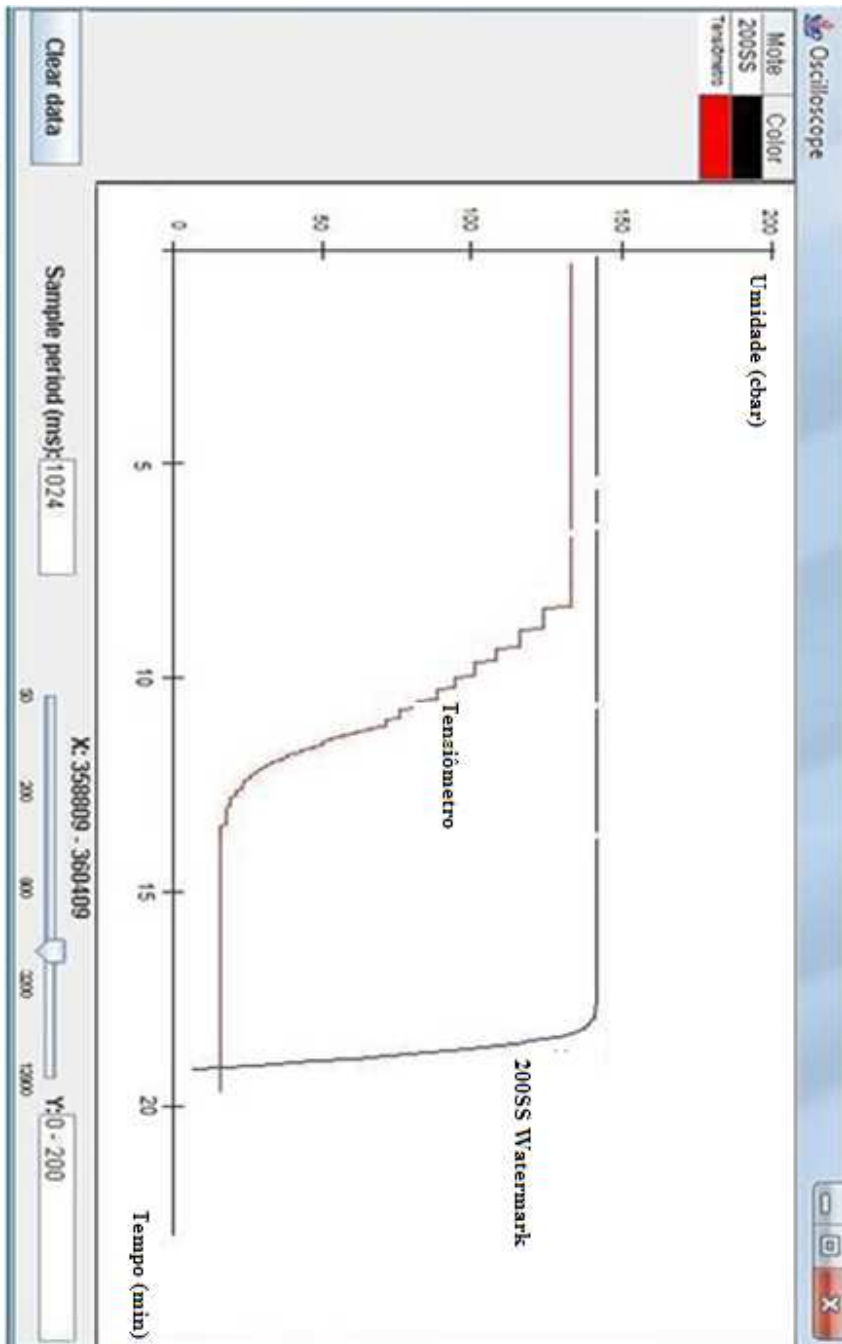


Figura 14. Gráficos de medidas de tensão de água no solo em um intervalo de irrigação variando de solo muito seco (150 char) a solo saturado (0 char)

No teste apresentado pela figura 14, os dois sensores estavam instalados em um mesmo vaso, portanto deveriam estar apontando o mesmo valor de umidade. Esta diferença pode ser eliminada com uma maior demanda de tempo calibrando-se os sensores e tratando o desvio ocasionado pela temperatura, pois a mesma interfere na leitura dos dados. Outro fator que também influencia nos dados coletados é o tempo demandado no teste realizado, pois os sensores necessitam de um tempo maior para poderem se estabilizar.



## **5. Conclusão e Trabalhos futuros**

### **5.1. Conclusão sobre RSSF no sensoriamento de umidade de solo**

Neste trabalho desenvolveu-se uma forma de medição de umidade de solo remota, utilizando-se uma rede de sensores sem fios (RSSF). As medições feitas com o tensiômetro e as medições feitas com o sensor 200SS, ambos acoplados a RSSF, foram comparadas com as medições obtidas de um medidor Watermark, que é um padrão de mercado. Com o tensiômetro observou-se um desvio de 15% em relação ao padrão e com o sensor 200SS um desvio de 10%.

O foco principal do projeto foi viabilizar a coleta de dados pelos sensores, transmiti-los por uma RSSF, tratar os dados brutos e transformá-los em informação útil, possibilitando a leitura da umidade de solo remotamente e sua apresentação em um microcomputador. Portanto a calibração exata dos sensores não foi realizada, devido demandar elevado tempo para serem feitas as coletas dos dados e posterior calibração. Os desvios observados devem-se a baixa quantidade de coletas de dados, ocasionando aproximações das equações utilizadas para calibrar. Podem ser tratados a partir de uma maior demanda de tempo na calibração dos sensores com um maior número de coleta de dados comparando-os ao sensor de umidade padrão.



## **5.2. Trabalhos futuros**

Os trabalhos futuros compreendem fazer um maior número de coleta de dados e comparação com o leitor padrão, para uma melhor calibração desta maneira de se obter a umidade de solo (a partir de uma RSSF).

O desvio ocasionado pela mudança de temperatura pode ser tratado, fazendo assim com que se obtenham resultados com uma precisão ainda maior neste sensoriamento.

Podem-se fazer testes com a RSSF contendo um maior número de nós sensores e uma maior quantidade de sensores de umidade de solo, coletando-se os dados e monitorando o comportamento de uma rede de maior escala.

## 6. Referências Bibliográficas

Akyildiz, W. Su; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci., E. Wireless sensor networks: a survey, *Computer Networks*, 2002. vol. 38, n. 4, p.393–422.

Arce, A. I. C.; Redes de sensores sem fio na coleta de dados fisiológicos de bovinos para aplicações na zootecnia de precisão. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

Atmel Corporation; Atmega128L – 8-bit AVR® Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash (manual do fabricante); 328 p., 2004. Disponível em <www.atmel.com>. Acesso em: Nov/2008.

Beckwith, R.; Teibel, D.; Bowen, P.; Report from the Field: Results from an Agricultural Wireless Sensor Network, 2006.

Bernardo, S. – Manual de Irrigação. Ed. UFV. 6 ed., 2002. 656 p.

Chard, J.; Watermark soil moisture sensors: Characteristics and Operating Instructions, 2004.

Chipcon CC2420 – Single Chip Very Low Power RF Transceiver (rev. 21); Manual do fabricante. 2004. 53 p. Disponível em <<http://www.chipcon.com>>. Acesso em: Nov/2008.

- Crossbow Technology, Inc.; Mica2 Wireless Measurement System; Rev. B, 2006. 2 p. Disponível em <<http://www.xbow.com>>. Acesso em: Out/ 2008.
- Culler, D.; Estrin, D. & Srivastava, M.; Overview of Sensor Networks; Special Issue in Sensor Networks, IEEE Computer, vol.37, no 8. pp. 41-49. Aug/2004.
- Freire, C.R.F. Análise do trabalho rural no nordeste do Brasil. Piracicaba, 2000. 75p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Gay, D et alii; nesC 1.1 Language Reference Manual; 2003, 28p. Disponível em <<http://nesc.sourceforge.net>>. Acesso em: Fev/2009.
- Gornat, B.; Silva, W. L. V. Sistemas de controle e automatização da irrigação. Irrigação e tecnologia moderna, n. 41, p.20-24, 1990.
- Gross, N. 21 ideas for 21st century, Business Week, August 1999.
- Hill, J. & Culler, D.; Mica: A Wireless Platform for Deeply Embedded Networks; IEEE Micro, vol. 22, no 6, pp. 12-24. Nov/Dec, 2002.
- Isler, V.; Daniilidis, K.; and Kannan, S.; Sampling based sensor-network deployment. In IEEE/RSJ. International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2004.

- Langendoen, K.; Baggio, A.; Visser, O.; Murphy Loves Potatoes, Experiences from a Pilot Sensor Network Deployment in Precision Agriculture. Delft University of Technology, The Netherlands Faculty of Electrical Engineering, Mathematics, and Computer Science.
- Lewis, F. L.; “Wireless Sensor Network”, in “Smart Enviroments: Technologies, Protocols and Applications “. D. J. Cook and So Ko Das, Ed. John Wiley, New York, 2004.
- Marouelli W. A.; Silva H. R.; Silva W. L. C.; Carrijo O. A.; Tensiômetro para manejo de irrigação em hortaliças; Disponível em <<http://www.cnph.embrapa.br/public/folders/tensiometro.html> #Preparo> Acesso em: Set/2008.
- Ribeiro, G. N.; Teotia, H. S.; Neto, J. M. M.; Araújo, S. M.; Estudo do uso atual da terra através de tecnologias de sensoriamento remoto em parte do agreste paraibano. 2007.
- Souza, R. O. R. M.; Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais, 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Slijepcevic S.; Potkonjak M.; Power efficient organization of wireless sensor networks, In ICC, Helsinki, Finland, June 2001.
- Tilak S.; Abu-Ghazaleh N.; Heinzelman W.; A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models, ACM SIGMobile Computing and Communications Review (MC2R), vol. 6, April 2002.

Tinyos: A Component-based OS for the Networked Sensor Regime;  
2007. Disponível em <<http://www.tinyos.net>>. Acesso em:  
Out/2008.

TRACOM INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE;  
Watermark manual de instalação e medição do potencial de água  
no solo (umidade). Disponível em:  
<<http://www.tracom.com.br/Irrrometer/pdf/watermark.pdf>>.  
Acesso em Nov/ 2008.