

LEONARDO RIBAS LIMA

**UM ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE REDE DE SENSORES SEM
FIO NO CONTROLE DA CRIAÇÃO DE GADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Ciência da Computação.

UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS

Orientador: Prof. Eduardo Macedo Bhering

BARBACENA

2004

LEONARDO RIBAS LIMA

UM ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE REDE DE SENSORES SEM FIO NO CONTROLE DA CRIAÇÃO DE GADO

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado à obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência da Computação da Universidade Presidente Antônio Carlos.

Barbacena – MG, 23 de Junho de 2004.

Prof. Eduardo Macedo Bhering - Orientador do Trabalho

Prof. Gustavo Campos Menezes - Membro da Comissão Examinadora

Prof. M. Sc. Emerson Rodrigo Alves Tavares - Membro da Comissão Examinadora

AGRADECIMENTOS

*Agradeço
à Deus, por iluminar meu caminho
aos meus pais Leonardo e Marília, meus irmãos André e
Ricardo e minha namorada Paula por me apoiarem e me
ajudarem sempre.*

RESUMO

Rede de sensor sem fio é uma forma especializada de redes móveis onde os dispositivos computacionais são pequenos nós remotos, capazes de sensoriar, processar e comunicar dados. Esse tipo de rede pode ser aplicado no monitoramento, rastreamento, coordenação e processamento em diferentes contextos. Neste trabalho serão abordados conceitos de redes, de sensores e também os principais conceitos de Redes de Sensores Sem-fio, e o objetivo deste trabalho é um estudo sobre a utilização de rede de sensores sem fio no controle da criação de gado.

Palavras-chave: Redes, Sensores, Redes de Sensores Sem Fio.

SUMÁRIO

<u>LISTAS DE FIGURAS.....</u>	<u>7</u>
<u>LISTAS DE TABELAS.....</u>	<u>8</u>
<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>9</u>
<u>2 PESQUISA BIBLIOGRAFICA.....</u>	<u>11</u>
<u>3 PROPOSTA DE MODELO.....</u>	<u>42</u>
<u>4 CONCLUSÃO.....</u>	<u>54</u>
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>56</u>
<u>ANEXO A.....</u>	<u>58</u>

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 2.1 COMPONENTES DE UM NÓ-SENSOR.....	13
FIGURA 2.2 NÓS-SENSORES ESPALHADOS EM UM CAMPO DE SENSORIAMENTO.....	33
FIGURA 2.3 A PILHA DE PROTOCOLOS DE UMA REDE DE SENSORES SEM-FIO.....	34
FIGURA 3.4 TELA PRINCIPAL DO PROGRAMA.....	46
FIGURA 3.5 TELA DE CADASTRO DE ANIMAIS.....	47
FIGURA 3.6 TELA QUE FORNECE AS INFORMAÇÕES DO CELEIRO.....	48
FIGURA 3.7 INFORMAÇÕES DOS ANIMAIS EM TEMPO REAL.....	49
FIGURA 3.8 INFORMAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO DE LEITE.....	50
FIGURA 3.9 INFORMAÇÕES SOBRE O PESO DO ANIMAL.....	51
FIGURA 3.10 TELA DE CADASTRO DE SENSORES.....	52
FIGURA 3.11 TEMPERATURA ATUAL DO ANIMAL SELECIONADO.....	53

LISTAS DE TABELAS

TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS NÓS-SENSORES MACRO MOTES.....	15
TABELA 2.2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MICA MOTES.....	16
TABELA 2.3 – CARACTERÍSTICAS DOS NÓS-SENSORES SMART DUST.....	17
TABELA 2.4 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS μAMPS.....	18
TABELA 2.5 – ESTADO OPERACIONAL E CONSUMO DO NÓ-SENSOR μAMPS.....	19
TABELA 2.6 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS NÓS-SENSORES PICO RADIO.....	20
TABELA 2.7 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO NÓ-SENSOR WINS ROCKWELL.....	21
TABELA 2.8 – CONSUMO DE ENERGIA PARA COMBINAÇÃO PROCESSADOR, SENSOR E RÁDIO.....	22
TABELA 2.9 – MÓDULOS DOS SENSORES PARA NÓS WINS ROCKWELL.....	22
TABELA 2.10 – CARACTERÍSTICAS DO NÓ-SENSOR WEB 1.....	23
TABELA 2.11 – CARACTERÍSTICAS DO NÓ-SENSOR WEB 2.....	23
TABELA 2.12 – CARACTERÍSTICAS DO NÓ-SENSOR MEDUSA MK-2.....	24

1 INTRODUÇÃO

As redes de sensores sem-fio vem sendo objeto de estudo há algum tempo, principalmente devido às inovações tecnológicas. O princípio de uma rede de sensores sem-fio é o uso de uma grande quantidade de nós-sensores interligados e sujeitos a falha. É essencial que esses nós-sensores consumam pouca energia, sejam pequenos no tamanho e de baixo custo. Estas restrições implicam em uma série de requisitos para a escolha dos protocolos de comunicação e também para a escolha do tipo de sensor.

O objetivo deste trabalho é estudar as possibilidades da utilização de rede de sensores sem fio no controle da criação de gado. Para isso, serão abordados assuntos relativos à redes, sensores e, principalmente, redes de sensores sem fio.

O restante do trabalho está organizado como se segue: no capítulo 2, a seção 2.1 apresenta o conceito de redes em geral. Na seção 2.2 serão apresentadas características dos sensores utilizados nas redes de sensores sem fio e também serão mostrados e descritos todos os elementos que compõem um sensor. Na seção 2.3 serão apresentadas as características de cinco projetos de sensores que estão sendo desenvolvidos. E a seção 2.4 descreve as características, as áreas de aplicação, os fatores determinantes e a arquitetura das RSSF's. No

capítulo 3 será apresentada a proposta de modelo sugerida. Na seção 3.1 será mostrada a modelagem do software que deve ser desenvolvido para processar as informações recebidas dos sensores e na seção 3.2 serão apresentadas as telas sugeridas para este software. No capítulo 4 é apresentada a conclusão do desenvolvimento deste trabalho.

2 PESQUISA BIBLIOGRAFICA

2.1 REDES

Rede é um grupo de pelo menos dois computadores que são interligados de forma que possam se comunicar uns com os outros. A maioria das redes é baseada em alguma espécie de cabo que é usado para ligar os computadores. No entanto, mais do que apenas hardware está envolvido. Os cabos e conexões são essenciais para a comunicação de rede; contudo, sem o software do computador para usá-los eles são meramente decorativos [FREED, 1993].

Uma visão realmente simplista da comunicação de rede tem estas três exigências fundamentais:

Conexões: Incluem as peças físicas de equipamento necessárias para conectar um computador a uma rede. Levando em conta que o equipamento que liga o computador a uma rede age como um intermediário entre o computador e a rede, este equipamento é chamado

interface de rede. Sem conexões físicas, os computadores ficam isolados da rede e não há meios de se entrar em contato com eles [FREED, 1993].

Comunicações: Estabelece as regras de como os computadores se comunicam uns com os outros e o seu significado. Os computadores devem ser capazes de falar uma “linguagem compartilhada” para serem capazes de ter sucesso na comunicação. Sem esse padrão chamado protocolo, os computadores são incapazes de trocar informações entre si permanecem isolados [FREED, 1993].

Serviços: Define as tarefas que os computadores podem fazer uns para os outros, como enviar ou receber arquivos, enviar ou receber mensagens, verificar informações e se comunicar com impressoras. Sem serviços os computadores permaneceriam isolados [FREED, 1993].

2.2 SENSORES

Sensores são dispositivos que possuem a capacidade de mapear as condições de uma propriedade do ambiente em medidas quantitativas. Podem ser aplicados em tarefas de segurança, exploração espacial, monitoração de propriedades químicas e biológicas, previsão de fatores climáticos, preservação de espécies em extinção, etc [SILVA, 2003].

Cada sensor é composto de bateria, transceptor, processador, memória e dispositivo de sensoriamento, conforme a figura 2.1 [SILVA, 2003].

É a bateria que provê energia ao sensor e sua capacidade é finita. Existem vários tipos de baterias em relação ao consumo de energia. A escolha da bateria a ser utilizada em um sensor tem que levar em consideração características como volume, condições de temperatura e capacidade inicial. As baterias mais comumente encontradas são linear simples, lítio NR e lítio Coin Cell [SILVA, 2003].

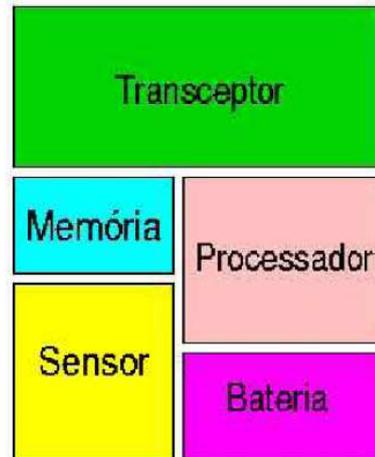


Figura 2.1 Componentes de um nó-sensor

O transceptor inclui todo o sistema de transmissão e recepção, amplificador e antena. Seu consumo de energia depende da operação efetuada – a transmissão de dados consome mais energia que a recepção. Os dados coletados são passados de sensor para sensor até chegar no dispositivo chamado sorvedouro (ponto fixo de coleta de dados) que repassa esses dados aos computadores para serem apresentados aos interessados. É necessário apenas um sorvedouro para monitorar uma área de quilômetros quadrados. A comunicação pode ser [SILVA, 2003]:

1) Óptica (laser): o transmissor utiliza raios laser para enviar a informação. A principal vantagem desse tipo de comunicação é o baixo consumo de energia, porém exige que os nós estejam direcionados.

2) Rádio Frequência (RF): é baseado em ondas eletromagnéticas. As frequências variam de dezenas de KHz a centenas de GHz. Para otimizar a comunicação o tamanho da antena deve ser de pelo menos $\frac{1}{4}$ do comprimento da onda.

A memória e o processador estão envolvidos nas atividades da computação realizada pelo nó. O consumo de energia é diretamente proporcional à frequência do processador. O consumo de processamento pode ser medido pelo número de ciclos de relógio por diferentes tarefas. Operar em baixa frequência (4 MHz), baixo custo com energia e baixa capacidade de armazenamento (entre 4 e 128 KB) são algumas das características dos processadores utilizados nos sensores [SILVA, 2003].

O dispositivo de sensoriamento produz uma resposta mensurável para uma mudança na condição física (temperatura, pressão, presença ou ausência de movimento, áudio, vídeo, etc). Os dispositivos sensores, geralmente, têm características físicas e teóricas diferentes, e, portanto, os nós-sensores podem ser construídos baseados na necessidade das aplicações. Os principais tipos de sensores utilizados são [SILVA, 2003]:

- Magnetômetro: sensoria o campo magnético;
- Acelerômetro: capaz de medir a distância entre uma massa de referência e uma massa de prova;
- Luz: sensoria a intensidade de luz no ambiente;
- Temperatura: sensoria a temperatura do ambiente;
- Pressão: sensoria a pressão do ambiente. Pode ser usado para medidas de altitudes;
- Umidade: sensoria a umidade relativa.

Quanto menor o tamanho do sensor menor o tamanho e a capacidade de seus componentes. À disposição de milhares de sensores sem fio é dado o nome de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) [SILVA, 2003]. Na próxima sessão serão apresentados os principais projetos de pesquisa e desenvolvimento de nós-sensores.

2.3 PROJETOS DE SENSORES

Nesta seção serão descritos cinco projetos de sensores: Projeto Motes, Projeto μ AMPS, Projeto WINS RockWell, Projeto Sensor Web e o Projeto Medusa MK-2 [SILVA, 2003].

Projeto Motes

O sensor conhecido como Motes foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Berkeley e teve como um dos seus principais objetivos o de consumir menor quantidade de energia possível durante suas atividades [SILVA, 2003].

Existem três gerações dos nós-sensores Motes: Macro Motes ou COTS dust Motes, Rene Motes e MICA Motes. Eles podem ser encontrados sob diversas formas, tamanhos e características. As características mais frequentes dos nós-sensores Motes são [SILVA, 2003]:

Características	Descrição
Processador	Atmel AT90LS8535 micro controlador r Mhz, 35 pinos (I/O), voltagem de operação de 2.7 a 5,5 V. Consome 19,2 mJ/s no modo ativo, 5,7 mJ/s Idles e menos de 3 mJ/s no modo Sleep (medidas para consumo com 4MHz, 3V e 20graus C).
Comunicação	Rádio transceptor RF 916,5 Mhz, com capacidade e transmitir em média 10Kbps. O dispositivo de comunicação mais comum é o TR1000 que possui gastos de energia com transmissão e recepção de 36 mJ/s e de 5,4 mJ/s a 14.4mJ/s e de 5,4 mJ/s a 14.4 mJ/s respectivamente.
Sistemas Operacional	TinyOS, que é um sistema operacional dirigido a eventos desenvolvido par aos nós-sensores. É designado para suportar as operações de concorrência intensiva requerida pelas redes de sensores, utilizando poucos recursos de hardware, já que ocupa apenas 178 bytes de memória.
Memória	8 KB de memória programável, 512 B de memória SRAM para dados e 32 KB de EEPROM.

Tabela 1 – Características Gerais dos Nós-sensores Motes

Os **MacroMotes** foram os primeiros sensores a serem desenvolvidos pela Universidade de Berkeley (UCB). Existe uma boa quantidade de nós-sensores classificados como Macro motes: WeC Motes, RF Mote, Laser Mote, CCR Mote, Mini Motes, MALT Motes e IrDA Motes. A diferença entre estes dispositivos está no fato de que cada um deles possui um subconjunto dos tipos de sensores disponíveis, e um determinado tipo de dispositivo de comunicação. As opções dentre sensores e dispositivos de comunicação disponíveis são apresentadas na tabela 1.1[SILVA, 2003].

Características	Descrição
Sensores	temperatura, luz, umidade, pressão, magnetômetro e acelerômetro.
Dispositivos de comunicação	transceptor RF, módulo Laser e um refletor CCR (Corner Cube Reflector).

Tabela 2.1 – Características Gerais dos Nós-sensores Macro Motes

O CCR é um dispositivo composto de três espelhos mutuamente ortogonais que refletem a luz diretamente de volta para o laser de origem [SILVA, 2003].

Os micros sensores COTS Dust foram desenvolvidos para que testes básicos, que visam observar o comportamento de sensores com pequenas dimensões e reduzidas capacidades de armazenamento de energia, pudessem ser realizados. O objetivo dos pesquisadores da UCB era, na realidade, a realização destes testes utilizando os chamados Smart Dust, que possuem a dimensão de um grão de areia. No entanto, como a finalização deste tipo de nó-sensor ainda levará algum tempo para se concretizar, uma solução mais rápida, objetiva e viável foi a fabricação dos Macro Motes, para efeitos de simulação [SILVA, 2003].

Os **Mica Motes** são sensores pertencentes à última geração, também desenvolvidos pela UC Berkeley. Os pesquisadores, ao desenvolver os MICA Motes, mantiveram o objetivo de se construir dispositivos de sensoriamento que contassem com pouca energia disponível e que pudesse suportar comunicação sem fio. Além disso, maior capacidade de armazenamento e largura de banda para comunicação foram outros requisitos atendidos pelo projeto. As características gerais dos Mica Motes são apresentadas a seguir [SILVA, 2003].

Características	Descrição
Transceptor	Rádio transceptor RFM TR1000 de 916Mhz ou 433 Mhz, com taxa de transmissão de 50 Kbps.
Comunicação	Aproximadamente de 30 a 90 metros. Gasta 36mJ/s para transmitir dados e 5,4 mJ/s para receber.
Bateria	Equipado com duas baterias AA. Energia Externa: 3.0 V.
Sensore disponíveis	Luz, temperatura, aceleração, sísmico, acústico e magnético.
Características especiais	Expansão. Possui 51 pinos que permitem que outros elementos possam ser agregados ao sensor.
Sistema operacional	Tiny OS.
Dimensões	Possui aproximadamente 5 cm ³ .
Processador	O MICA Motes está equipado com micro controlador Atmega103 de 4Mhz e 8 bits, assim como os Motes tradicionais. O processador operando no modo ativo gasta cerca de 16,5 mJ/s, 4,8 mJ/s no modo Idle e no modo Sleep menos de 60µJ/s são necessários.
Memória	Contém uma memória Flash de 128 KB, 4KB de RAM, 4KB de ROM e ainda uma memória Flash externa de 512 KB.

Tabela 2.2 – Características Gerais do Mica Motes

Dados estes valores e a quantidade de energia disponível, o nó-sensor MICA Motes consegue permanecer ativo durante um ano no modo de operação Idle, e durante uma

semana operando normalmente. Os MICA Motes são ideais em aplicações onde é necessária a utilização de redes de sensores sem fio de larga escala, ou seja, pelo menos mil pontos de sensoriamento utilizados [SILVA, 2003].

O **Smart Dust** é um tipo de sensor que ainda está em desenvolvimento. O objetivo dos pesquisadores da UCB é conseguir miniaturizar os elementos de um nó-sensor, para que este fique com as dimensões de um grão de poeira, ou seja, um cubo de aproximadamente um milímetro. Os componentes disponíveis para este dispositivo serão um sensor, uma bateria, um circuito analógico, um dispositivo de comunicação óptica bidirecional e um microprocessador programável [SILVA, 2003].

Características	Descrição
Transceptor	Óptico. CCR ou laser.
Comunicação	A comunicação pode ser passiva, através de um CCR transmitindo a uma taxa de 10Kbps, utilizando 1 μ W de energia e com uma área de alcance de 1Km. Outra opção é a transmissão ativa através de laser, transmitindo a 1Mbps, com o gasto de energia de 10 mW e área de alcance de 10 Km. Os dois tipos de comunicação citados acima são conhecidos como comunicação óptica.
Bateria	Possui uma bateria thick-film que provê 1J de energia ao sensor por milímetro cúbico. Além disso, células de captação solar são capazes de prover 1J por dia, por milímetro quadrado quando exposto à luz solar, ou de 1 a 10 Mj em ambientes fechados. O Smart Dust conta ainda com um capacitor que provê 10mJ por milímetro cúbico.
Sensores disponíveis	Luz, temperatura, vibração, magnético, acústico e Wind Shear.
Dimensões	Aproximadamente 1mm ³ . O volume total de um nó-sensor Smart Dust chega a 1,5mm ³ e a massa total 5mg.
Processador	Os objetivos para este Motes ainda não foram alcançados. Espera-se que haja ainda um conversor AC-DC que utilize 1nJ por amostra, e que toda computação dentro do Dust gaste 1pJ por instrução.
Aplicações	Como exemplo de aplicações para os Smart Dust podemos citar: teclados virtuais, monitoração da qualidade de produtos, Smart Office Spaces e também espionagem.

Tabela 2.3 – Características dos Nós-sensores Smart Dust

A comunicação através de transceptores RF é bastante inadequada para os nós deste tipo, devido a vários aspectos como as antenas serem muito grandes para os Smart Dust e o alto consumo de energia. Por isso que a transmissão óptica é a mais adequada, e é utilizada tanto na forma passiva quanto ativa. Na forma passiva os motes não precisam irradiar energia e a assimetria pode ser bastante explorada. No entanto, requer uma linha de visão direta para a estação base e, portanto, pode ser afetada por chuvas e turbulências. Na forma ativa eles possuem alcance e área de transmissão maiores que a passiva, porém, requer

mais energia para operar. Nem todos os nós precisam ter uma linha de visão alinhada à estação base sendo vulneráveis à chuvas e turbulências [SILVA, 2003].

As contribuições que este projeto, quando concluído, trará para a área de pesquisa em redes de sensores sem fio serão incontáveis, visto que um nó-sensor com dimensões tão pequenas e características tão restritivas, permitirão sensoriamentos nas mais diversas áreas [SILVA, 2003].

Projeto μ AMPS

Os nós-sensores μ MAMPS (μ -Adaptive Multi-domain Power Aware Sensor) possuem uma política de gerenciamento de energia, conhecida por power-aware ou energy-aware, que permite que o nó-sensor seja capaz de fazer com que seu consumo de energia se adapte às características e variações do ambiente onde se encontra, dos recursos que ele próprio dispõe e das requisições dos usuários da rede. Esta metodologia é, portanto, ideal para aplicações onde existem muitas variações no ambiente. Os pesquisadores da MIT (Massachusetts Institute of Technology) são os responsáveis pelo desenvolvimento do μ AMPS [SILVA, 2003].

As características gerais do μ AMPS são apresentadas na tabela abaixo [SILVA, 2003]:

Características	Descrição
Transceptor	Utiliza o rádio transceptor National Semiconductor's LMX3162. Opera na banda ISM na frequência 2,45 Ghz.
Comunicação	Consegue um máximo de 1Mbps, em transmissões sem fio, ponto a ponto. Camada de enlace utiliza TDMA. Alcance entre 10 e 100 metros.
Bateria	Necessita de 3,6V DC, que pode ser provido por uma única e pequena bateria de lítio (cell lithium ion).
Sensores disponíveis	Acústico e sísmico, os quais requerem 5mA a uma tensão de 5V.
Características especiais	A camada de enlace é integrada ao rádio PCB, e age como um bloco de memória de armazenamento.
Sistema operacional	μ OS, que é uma adaptação do micro kernel eCos para suportar a metodologia power aware.
Dimensões	Não disponível.
Processador	CPU estática CMOS StrongARM SA-1100, mantida em um módulo com 55mm ² .
Memória	16MB SRAM e 512KB de Flash ROM.

Tabela 2.4 – Características Gerais dos μ AMPS

Existem atualmente 13 estados de consumo de energia que compõe a característica de power-aware do micro sensor μ AMPS. Dentro estes estados, o alcance de transmissão pode variar entre 10 e 100 metros. A tabela 1.5 apresenta os cinco estados mais distintos e o respectivo consumo de energia associado ao rádio transceptor [SILVA, 2003].

Estados do nó-sensor	Consumo associado ao rádio transceptor
Desligado	Não consome energia
Idle	60 mW
Recebimento	280 mW
Transmissão – baixa (10 metros)	330 mW
Transmissão – alta (100 metros)	1,1 W

Tabela 2.5 – Estado operacional e consumo do nó-sensor μ AMPS

Redes distribuídas de micro sensores requerem a utilização de algoritmos power-aware e protocolos que permitam um longo tempo de vida para o sistema. O DVS, Dinamic Voltage Scaling, permite adaptação da qualidade de energia (energy quality scaling), para a redução adaptativa de energia. Se a carga do processador está baixa ou o atraso tolerável é alto, pode-se reduzir a tensão e a frequência do processador, para reduzir o consumo de energia. DVS é a tecnologia chave disponível para o μ AMPS [SILVA, 2003].

Projeto PicoRadio

O PicoRadio, que está sendo projetado na Universidade de Berkeley, é um tipo de micro sensor conhecido como picoSensor. Este tipo de nó é projetado como o objetivo de que a dissipação de energia do sensor, tanto em processamento quanto em comunicação, seja extremamente baixa. Os limites aceitáveis em relação à energia são de 10pJ/bit corretamente transmitido ou processado, e em relação à potência, o máximo é de 1mW. Para que tais objetivos possam ser alcançados, as seguintes técnicas serão utilizadas [SILVA, 2003]:

- Energy scavenging: essa técnica tenta fazer com que o nó-sensor retire o máximo de energia possível do ambiente onde se encontra, por exemplo, energia provida do sol e de vibrações.

- Baixo consumo de energia na arquitetura do PicoSensor e seus circuitos, ou seja, escolher os componentes (processador, rádios, etc) que possuem um baixo consumo de energia.
- Sistema Operacional dirigido a eventos, já que resultados de testes mostraram que este tipo de sistema pode ser mais econômico do que sistemas operacionais de propósito geral, no que diz respeito a energia.

A tabela 2.6 apresenta as características gerais dos nós-sensores PicoRadio [SILVA, 2003].

Características	Descrição
Transceptor	Taxa de transmissão de dados de 1 a 100Kbps, com alcance de 1 a 100 metros.
Comunicação	Largura de banda de 5Ghz. Camada de enlace (MAC0 utiliza TDMA. Possui transmissão reativa ou auto engatilhada.
Bateria	Não disponível
Sensores	Acelerômetro, magnetômetro e temperatura.
Características especiais	Ideal para um grande número de nós.
Sistema Operacional	Não disponível.
Dimensões	Não disponível.
Processador	Strong ARM.
Aplicações	Identificação inteligente, controle e monitoração de ambientes, segurança e formação de redes instantâneas.

Tabela 2.6 – Características Gerais dos Nós-sensores Pico Radio

Projeto WINS RockWell

Rockwell Science Center, com colaboração de pesquisadores da UCLA (University of California, Los Angeles), desenvolveram o protótipo de um nó-sensor, chamado WINS 1. O nó-sensor combina capacidade de sensoriamento (tais como sísmica, acústica e magnética) com um processador RISC embutido e um rádio de transmissão. Algumas das principais exigências para o desenvolvimento são: pequenas dimensões, robustez quando sujeito a condições climáticas, baixo consumo de energia e custo razoável [SILVA, 2003].

Características	Descrição
Transceptor	O alcance do rádio pode ultrapassar os 100 metros. O módulo do rádio usa o Conexant RDSSS9M que implementa uma comunicação RF spread spectrum a uma frequência de 900

	Mhz (ISM). O rádio opera em um dos 40 canais, escolhido pelo controlador.
Comunicação	Camada de enlace (MAC) utiliza TDMA. Transmissão: o protocolo da camada de enlace permite transmissão de dados a uma taxa de 100 Kbps.
Bateria	WINS 1 irá funcionar continuamente por 15 horas em duas baterias 9V, podendo este tempo ser estendido, diminuindo-se a coleta de dados e a transmissão. Operando com o máximo da sua capacidade, gasta menos que 300mJ/s, no modo típico ou normal gasta menos que 200mJ/s, no Idle gasta menos que 40 mJ/s e no Sleep menos que 0,8 mJ/s.
Interface de rádio	3 wire (GND, RX e TX) RS-232.
Interface de sensor	Conexões com os sensores são realizadas através da interface 4 wire SPI.
Interface externa	Possui interfaces JTAG e RS-232
Sensores disponíveis	Ver tabela 10.
Características especiais	Radiated RF Power: é capaz de operar a vários níveis de energia para transmissão, podendo variar de 1 mW até 100 mW, permitindo assim o uso de algoritmos de otimização do consumo de energia para a transmissão; Controlador embutido: micro controlador 65C02 com 32 KB de memória SRAM e 1 MB memória Flash bootável; Voltagem de entrada: 4-15 V; Voltagens de saída: pode variar entre os valores máximos de 1,5 V/160 mA; 3,0V/20mA e 3,3V/300mA.
Sistema operacional e software	Os pesquisadores da RockWell desenvolveram softwares para os protocolos básicos de comunicação, um Kernel runtime, drivers para os sensores, aplicações para processamento de sinais e APIs.
Dimensões	6,98 cm x 6,66 cm x 8,89 cm.
Processador	Intel StrongARM 1100 @ 133 MHz, 150 MIPS. Oferece 16 KB de cache para instruções e 8KB par adados, e possui E/S serial e interface JTAG. Pode ser executado em três estados: normal, idle e sleep, que podem ser controlados para reduzir o consumo de energia.
Memória	Possui 128 KB de SRAM e 1 MB de memória Flash bootável.
Aplicações	Os pesquisadores estão desenvolvendo uma série de aplicações para o WINS 1, tais como militares, espaciais e industriais. Tem trabalhado em parceria com a marinha americana e com U.S. Army, monitorando desertos, florestas e terrenos urbano. Além disso, testes de monitoração de máquinas complexas e processos em fábricas estão sendo feitos. O principal objetivo é reduazir monitoração humana e prover coninuamente e detalhadamente o estado de operação do equipamento. Picosatélites são modificações do WINS 1 para monitorar o espaço.

Tabela 2.7 – Características Gerais do Nó-sensor WINS RockWell

O nó-sensor **WINS RockWell** consome por volta de 1 W de energia em momento de pico, sendo 300 mW do processador, 600 mW para transmissão de dados ou 300 mW para recepção e menos que 100 mW para os transdutores. Possui duas baterias de 9V cada. A tabela 2.8 mostra uma comparação entre o consumo de energia para combinações de uso do processador, sensor e rádio [SILVA, 2003].

Processador	Sensor Sísmico	Rádio	Energia (mW)
Ativo	Ligado	RX	751,6
Ativo	Ligado	Idle	727,5

Ativo	Ligado	Dormindo	416,3
Ativo	Ligado	Removido	383,3
Dormindo	Ligado	Removido	64,0
Ativo	Removido	Removido	360,0

Tabela 2.8 – Consumo de Energia para Combinação Processador, Sensor e Rádio

O nó-sensor WINS RockWell pode ser equipado com diferentes tipos de dispositivos sensores. A tabela 2.9 apresenta os tipos de dispositivos sensores utilizados pelo WINS RockWell e suas características [SILVA, 2003].

Módulo dos Sensores	Descrição
Sísmico	Usa o Mark IV geophone, designado para detecção de eventos sísmicos a baixas frequências. A sensibilidade é por volta de 1µg.
Acústico	Usará uma miniatura de um microfone, o Knowles BL1785. A previsão para a frequência é de 4Hz até 2 KHz. Está sendo desenvolvido.
Magnetômetro	O protótipo está sendo testado. Emprega o Honeywell HMC1001, possuindo uma sensibilidade de 27 µGauss, podendo detectar uma libra de ferro a 6 pés.
Acelerômetro	Está sendo criado para monitorar vibrações em máquinas. A banda é de 20 KHz, e possui entrada para sensores de temperatura e de pressão.

Tabela 2.9 – Módulos dos Sensores para Nós WINS RockWell

Projeto Sensor Web

O Jet Propulsion Laboratory (JPL) do Califórnia Institute of Technology está desenvolvendo um projeto chamado SensorWeb. Este projeto consiste em um sistema sem fio, com nós-sensores que comunicam entre si, distribuídos espacialmente, que podem ser dispostos para monitorar e explorar novos ambientes. Uma característica exclusiva do Sensor Web é que a informação coletada em um nó-sensor é compartilhada e usada por outros nós [SILVA, 2003].

O laboratório JPL foi formado para atender aos interesses da NASA, que tem como meta a exploração do Sensor Web em diversas aplicações. Já foram desenvolvidos três tipos de nós-sensores: Sensor Web 1, Sensor Web 2 e Sensor Web 3 [SILVA, 2003].

Sensor Web 1: foi desenvolvido para permitir testes iniciais dos conceitos mais simples do Sensor Web. A tabela 2.10 apresenta as características dos protótipos dos nós Sensor Web 1 [SILVA, 2003].

Características	Descrição
-----------------	-----------

Transceptor	Chips para transmissão e recebimento e micro controlador.
Comunicação	O alcance do rádio de transmissão pode chegar a 40 metros, com uma taxa de transmissão de 20 Kbps a uma frequência de 916 MHz.
Bateria	3 V Lítio.
Sensores disponíveis	Luz e temperatura.
Características especiais	Em um ciclo de um conjunto de medidas por segundo, é estimado que se precise de 50 mW de energia.
Sistema operacional	Não disponível.
Dimensões	Peso de 50g.
Processador	Não disponível.

Tabela 2.10 – Características do Nó-sensor Web 1

Sensor Web 2 e 3: Enquanto o Sensor Web 1 foi designado a testes laboratoriais, Sensor Web 2 foi aplicado em situações reais. A manipulação de dados é feita a uma taxa que pode ultrapassar 50 Kbps [SILVA, 2003].

Características	Descrição
Transceptor	O alcance do rádio pode chegar a 150 metros. A frequência de transferência é de 916 MHz.
Comunicação	Taxa de transmissão é de 28.8 Kbps.
Bateria	Possui uma bateria de 8V que pode ser recarregada por raios solares.
Sensores disponíveis	Luz e temperatura.
Características especiais	Sensor Web 2 possui características mais avançadas que o Sensor Web 1.
Sistema operacional	Não disponível.
Dimensões	Maior e mais pesado que o Sensor Web 1. Tem as seguintes dimensões: 5cm x 10cm x 16cm.
Processador	Não disponível.

Tabela 2.11 – Características do Nó-sensor Web 2

Essas características também pertencem ao Sensor Web 3. Mas algumas melhoras foram feitas, como o design para suportar altas temperaturas (-55 até +70C) e intensos jatos de água. O micro controlador também foi melhorado. Mas a principal diferença entre Sensor Web 2 e 3 é a interface do usuário final. Uma interface gráfica (GUI) foi desenvolvida para que os dados coletados possam ser visualizados através da internet [SILVA, 2003].

O Sensor Web 3 foi e ainda está sendo testado em várias aplicações, monitorando diferentes ambientes [SILVA, 2003].

A Nasa tem grande interesse no Sensor Web, já que permite um novo paradigma para monitoração de ambientes e funcionamento de naves espaciais, além de exploração planetária, o que pode gerar um significativo impacto no design de naves e no planejamento de missões espaciais [SILVA, 2003].

Projeto Medusa MK-2

Medusa MK-2 é um nó-sensor desenvolvido no laboratório de Engenharia Elétrica da Universidade da Califórnia com objetivo de se fazer testes reais de redes de sensores sem fio, que operam sem a supervisão humana [SILVA, 2003].

A tabela 2.12 apresenta as principais características do nó-sensor Medusa MK-2 [SILVA, 2003]..

Características	Descrição
Transceptor	O rádio possui uma potência de transmissão de 0,75 mW e seu alcance pode chegar aos 20 metros. A taxa de transferência pode variar de 2.4 Kbps até 115 Kbps.
Comunicação	A comunicação é feita através de um rádio TR1000 e um barramento serial RS-485.
Bateria	Possui bateria recarregável Lithium-ion de 540 mAh e um conversor DC-DC que possui uma saída de 3,3V e pode prover até 300mA de corrente vinda da bateria. Não tendo sensores conectados, o nó requer menos do que 165mJ/s para o seu funcionamento. No entanto, o suprimento de energia foi designado para prover 990mJ/s, utilizados para oferecer a energia adicional necessária aos sensores que podem ser colocados no nó como acessórios de bordo.
Sensores disponíveis	Acelerômetro (ADXL202E) e temperatura.
Dimensões	Não disponível.
Interfaces	É composto de um conjunto de interfaces: entradas 10-bit ADC, portas seriais e várias portas de E/S de propósito geral (GPIO).
Sistema computacional	Consiste em dois micro controladores. O primeiro é um ATmega 128L. MCU (Atmel) de 8 bits e 4MHz, com 32 KB de flash e 4KB de RAM. O segundo é um processador AT91FR4081 ARM THUMB (Atmel), de 16/32 bits e 40 MHz, com 136 KB de RAM e 1MB de memória Flash on-chip. As tarefas são distribuídas entre os dois micros controladores, sendo que o ATmega128L MCU fica incumbido das funções que necessitam de menos processamento.

Tabela 2.12 – Características do Nó-sensor Medusa MK-2

Comparativo entre os Nós-Sensores

As RSSFs são dependentes da aplicação. Assim, a escolha dos elementos para a composição de uma RSSF está diretamente ligada à aplicação que se deseja desenvolver. Existem nós-sensores que, dadas as suas dimensões, taxa de transmissão e alcance, por

exemplo, são ideais para uma aplicação e totalmente inadequados para outras. Em outros casos, nós que parecem adequados a um tipo de aplicação no que diz respeito ao hardware apresentam limitações quanto ao software que se quer utilizar. Portanto, não faz sentido classificar um nó-sensor como melhor ou pior do que outro sem se conhecer a aplicação para a qual se destina [SILVA, 2003].

2.4 REDES DE SENSORES SEM FIO

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são redes formadas por microsensores compactos com capacidade de comunicação sem fio. Os microsensores podem ser colocados dentro do fenômeno ou próximos a ele. As posições de cada nó não precisam ser pré-determinadas ou pré-calculadas, nesse caso o protocolo de comunicação deve tratar a posição do sensor, logo isto quer dizer que os protocolos de comunicação e gerenciamento da rede devem ter capacidades de auto-organização. Outra característica fundamental de uma rede de sensores sem-fio é a limitação das fontes de energia. Uma forma de economizar energia seria um nó transmitir os valores do sensoriamento ao nó mais próximo, este nó, por sua vez, se encarrega de passar os dados para o próximo nó, e assim sucessivamente até chegar no destino esperando, dessa forma o transmissor não precisará utilizar um sinal com potência muito elevada, devido à proximidade com o nó vizinho [TAVARES, 2002].

Uma rede de sensor sem fio é uma rede sem-fio descentralizada (ad-hoc) e necessitam de algoritmos de roteamento especiais que possuem requisitos diferentes do que os das redes sem fio centralizadas comumente encontradas em redes de computadores sem fio. Um dos principais requisitos é o fato da limitação dos recursos de energia, implicando em um roteamento com base em informações quanto a energia disponível no sistema e gastos inerentes a transmissão e recepção do sinal. Outros requisitos incluem poder computacional, canais de comunicação, capacidade dos sensores e tolerância a falhas [TAVARES, 2002].

Uma RSSF tem o potencial de ser usada em diferentes aplicações. Por exemplo, na indústria para instrumentação das fábricas; em grandes metrópoles para monitorar

densidade de tráfego; na engenharia para monitorar prédios; no meio-ambiente para monitorar florestas, oceanos, agricultura de precisão, etc [TAVARES, 2002].

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

As características de uma RSSF dependem de seu objetivo e área de aplicação. A aplicação influencia diretamente nas funções exercidas pelos nós da rede, assim como na arquitetura desses nós, na quantidade de nós que compõem a rede, na distribuição inicialmente planejada para a rede, no tipo de posição dos nós no ambiente, na escolha dos protocolos da pilha de comunicação, no tipo de dado que será tratado, no tipo de serviço que será provido pela rede e conseqüentemente no tempo de vida dessa rede [LOUREIRO, 2002].

Abaixo estão alguns itens que podem classificar as RSSFs:

Endereçamento dos sensores ou nós. Dependendo da aplicação, cada sensor pode ser endereçado unicamente ou não. Por exemplo, se os sensores precisarem ser embutidos em peças numa linha de montagem ou colocados no corpo humano eles são endereçados unicamente, pois nesse caso se deseja saber exatamente o local de onde o dado está sendo coletado. Por outro lado, se os sensores estiverem monitorando o ambiente numa dada região externa possivelmente não precisam ser identificados individualmente já que o ponto importante é saber o valor de uma determinada variável nessa região [LOUREIRO, 2002].

Agregação dos dados. Indica a capacidade de uma RSSF de agregar ou não os dados coletados pelos sensores. Caso a rede tenha essa funcionalidade é possível reduzir o número de mensagens que precisam ser transmitidas pela rede. Os dados coletados são combinados e sumarizados ainda na rede, antes de serem enviados à estação base [LOUREIRO, 2002].

Mobilidade dos sensores. Indica se os sensores podem se mover ou não em relação ao sistema em que estão coletando dados. Por exemplo, sensores colocados numa floresta para coletar dados de umidade e temperatura são tipicamente estáticos, enquanto sensores colocados na superfície de um oceano para medir o nível de poluição da água são

móveis. Por outro lado, sensores colocados no corpo humano de uma pessoa para monitorar o batimento cardíaco durante o seu dia de trabalho é estático [LOUREIRO, 2002].

Restrições dos dados coletados. Indica se os dados coletados pelos sensores têm algum tipo de restrição como um intervalo de tempo máximo para disseminação de seus valores para uma dada entidade de supervisão [LOUREIRO, 2002].

Quantidade de sensores. Redes contendo de 10 a 100 mil sensores são previstas para aplicações ambientais como monitoramento em oceanos e florestas [LOUREIRO, 2002].

Limitação da energia disponível. Em muitas aplicações, os sensores serão colocados em áreas remotas, o que não permitirá facilmente o acesso a esses elementos para manutenção. Neste cenário, o tempo de vida de um sensor depende da quantidade de energia disponível. Aplicações, protocolos e algoritmos para RSSF's devem ser escolhidos considerando, além da capacidade, a quantidade de energia consumida. Assim, o projeto de qualquer solução para esse tipo de rede deve levar em consideração o consumo, o modelo de energia e o mapa de energia da rede [LOUREIRO, 2002].

Auto-organização da rede. Sensores numa RSSF podem ser perdidos por causa de sua destruição física ou falta de energia. Sensores também podem ficar incomunicáveis devido a problemas no canal de comunicação sem fio ou por decisão de um algoritmo de gerenciamento da rede. Neste caso, isso pode acontecer por diversas razões como, por exemplo, para economizar energia ou por causa da presença de outro sensor na mesma região que já coleta o dado desejado. A situação contrária também pode acontecer: sensores inativos se tornarem ativos ou novos sensores passarem a fazer parte da rede. Em qualquer um dos casos é necessário haver mecanismos de auto-organização para que a rede continue a executar a sua função. Essa configuração deve ser automática e periódica já que a configuração manual não é viável devido a problemas de escalabilidade [LOUREIRO, 2002].

Tarefas colaborativas. O objetivo principal de uma RSSF é executar alguma tarefa colaborativa onde é importante detectar e/ou estimar eventos de interesse e não apenas prover mecanismos de comunicação. Devido às restrições das redes de sensores sem fio, normalmente os dados são “fundidos” ou sumarizados para melhorar o desempenho no

processo de detecção de eventos. O processo de sumarização é dependente da aplicação que está sendo executada [LOUREIRO, 2002].

Capacidade de responder consultas. Uma consulta sobre uma informação coletada numa dada região pode ser colocada para um nó individual ou um grupo de nós. Dependendo do grau de sumarização executado, pode não ser viável transmitir os dados através da rede até o nó sorvedouro. Assim, pode ser necessário definir vários nós sorvedouros que irão coletar os dados de uma dada área e responderão consultas referentes aos nós sob sua “jurisdição” [LOUREIRO, 2002].

2.4.2 ÁREAS DE APLICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO

Redes de sensores podem obter dados como temperatura, pressão, umidade, luminosidade, níveis de ruído, presença ou ausência de certos tipos de objetos, medidas de posição, velocidade e aceleração de um objeto, concentração de substâncias, etc [TAVARES, 2002].

Os sensores podem ser usados para sensoriamento contínuo ou apenas detecção de um evento, além da possibilidade de acionarem atuadores locais. Justamente este grande número de possibilidades de sensoriamento é que faz com que muitos acreditem no surgimento de novas áreas de estudo e aplicações para as redes de sensores sem fio [TAVARES, 2002].

Algumas possíveis aplicações estão listadas abaixo:

Aplicações Médicas

Criação de interfaces para deficientes físicos, monitoramento integrado de pacientes, diagnóstico e administração de drogas para pacientes, monitoramento de dados fisiológicos, monitoramento de médicos e pacientes em um hospital, etc [TAVARES, 2002].

Aplicações Ambientais

Detecção de incêndio em florestas: as RSSF's podem ser densas e dispostas aleatoriamente sobre florestas, o que permite saber a exata localização de um foco de incêndio muito antes do fogo se tornar incontrolável [TAVARES, 2002].

Detecção de enchentes: é possível detectar enchentes em locais menos acessíveis com o auxílio das RSSF's [TAVARES, 2002].

Agricultura de precisão: monitorar a concentração de pesticidas na água, o grau de erosão do solo e o nível de poluição do ar, tudo em tempo real [TAVARES, 2002].

Aplicações Domésticas

Automação doméstica: de acordo com o avanço da tecnologia os sensores podem ser embutidos em eletrodomésticos, criando uma rede de cooperação entre eles [TAVARES, 2002].

Ambientes inteligentes: podem ser criados centrados no homem ou na máquina. No caso destes serem centrados na máquina o homem deve aprender a lidar com a máquina. O inverso é válido então para um sistema centrado no homem, o que atualmente é muitas vezes chamado de computação ubíqua. No caso da computação ubíqua, sistemas com redes de sensores sem-fio são muito úteis. Os eletrodomésticos, móveis e portas de sua casa, por exemplo, poderiam se comunicar, cada um informando o outro sobre seu estado e possíveis eventos [TAVARES, 2002].

Aplicações Militares

As Redes de Sensores Sem Fio podem ser uma parte integral de sistemas militares de comando, controle, comunicações, computação, inteligência, vigilância, reconhecimento e mira. As características presentes em uma rede de sensores sem-fio se mostram ideais para tais aplicações onde o problema principal é a **urgência**. A rápida instalação, a auto-organização e a tolerância à falha são exatamente o que os militares vem procurando nas redes de sensores sem-fio. Exemplos de aplicações militares são monitoramento de forças amigas, equipamento e munição; vigilância em campo de batalha; reconhecimento de forças inimigas

e terreno; sistemas de mira; avaliação de danos em batalha; detecção e reconhecimento de ataques nucleares, biológicos ou químicos [TAVARES, 2002].

2.4.3 FATORES DETERMINANTES EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Como o algoritmo para um RSSF tem que ser capaz de lidar com os requisitos impostos pela rede, os fatores mais importantes a serem considerados em um projeto de RSSF são [TAVARES, 2002]:

Tolerância à Falha: em RSSF falhas são possíveis e aceitáveis e a rede deve saber lidar com elas de maneira automática e natural. Sensores podem falhar por diversos motivos como falta de energia, falta de visibilidade para outro nó da rede ou até mesmo algum dano físico. Como eles são dispostos em grande quantidade no campo a ser sensoriado a falha de alguns poucos não deve atrapalhar o funcionamento do resto da rede [TAVARES, 2002].

Escalabilidade: A ordem de grandeza do número de nós de uma rede de sensores sem-fio pode variar das centenas aos milhares. Em algumas aplicações específicas podendo até atingir a casa dos milhões. Os novos esquemas devem ser capazes não somente de lidar com este elevado número de nós, mas também de utilizá-los em todo o seu potencial [TAVARES, 2002].

Custo de Produção: Como uma rede de sensores sem-fio é feita a partir de um grande número de nós sensores, temos então o preço unitário como um fator fundamental para viabilizar a produção de uma rede de sensores sem-fio. Obviamente se o custo de uma rede de sensores sem-fio é maior do que a utilização de sensores tradicionais não há motivos financeiros para a utilização da rede [TAVARES, 2002].

Restrições de Hardware: Tamanho dos nós-sensores, pequeno consumo de energia, o baixíssimo custo de produção, a autonomia e a adaptabilidade para com o ambiente, etc [TAVARES, 2002].

Topologia de Redes de Sensores Sem-fio: Com um número tão alto de nós-sensores que devem funcionar sem intervenção e sujeitos a falhas frequentes, a manutenção da topologia da rede é algo fundamental para o seu funcionamento [TAVARES, 2002].

Dependendo da aplicação os sensores podem ser jogados de um avião, colocados no campo de sensoriamento por uma bala de artilharia, míssil ou foguete, instalados na fábrica em certos aparelhos, colocados um a um, seja por uma pessoa ou um robô, etc. Esses métodos de instalação devem objetivar sempre: um baixo custo de instalação, a não necessidade de qualquer tipo de pré-organização e pré-planejamento, o aumento da flexibilidade de arranjo dos nós-sensores e promover auto-organização e tolerância à falhas [TAVARES, 2002].

Após a disposição dos nós no ambiente a mudança na topologia da rede deve ser prevista, principalmente devido à posição, alcance, energia disponível, mau funcionamento e à tarefa a ser desempenhada pela rede [TAVARES, 2002].

Mesmo quando se trata de uma rede em que os sensores não têm a capacidade de se movimentar eles são considerados extremamente dinâmicos devido a problemas de falta de energia, destruição do nó-sensor e/ou adição de nós-sensores na rede, conseqüentemente, a topologia da rede muda com frequência após a disposição inicial [TAVARES, 2002].

Ambiente de Operação: As redes de sensores geralmente irão trabalhar sensoriando locais diversos, sujeitos a ruído, calor ou frio extremo, como por exemplo, no interior de maquinarias, no fundo de um oceano, dentro de um furacão, em um campo contaminado biológica ou quimicamente, etc [TAVARES, 2002].

Meio de Transmissão: Os meios de transmissão numa rede de sensores sem-fio, atualmente, podem ser de três tipos: rádio frequência, infravermelho e comunicação óptica [TAVARES, 2002].

A utilização de rádio-frequência (RF): devido aos problemas de energia, tamanho e baixo custo dos nós as frequências utilizadas na comunicação devem ser da faixa de frequência *ultrahight*. A liberdade de uso das faixas de frequência desregulamentadas (não há necessidade de pedir licença para sua utilização junto às autoridades governamentais) da ISM

está incentivando as pesquisas na área, porém, nessas faixas de frequência ocorrem muita interferência no funcionamento dos nós devido aos possíveis ruídos provocados por outros aparelhos que utilizem a mesma frequência. Atualmente a maior parte das redes de sensores implementadas utiliza estas faixas de frequência com transmissores Bluetooth [TAVARES, 2002].

A segunda opção é a utilização de infravermelho. Também é um meio sem a necessidade de uma licença com uma vantagem clara: é robusto quanto a interferência elétrica provocada por outros dispositivos elétricos. O seu problema principal é a necessidade de uma linha de visão entre os dois nós que irão se comunicar, visto que, geralmente, os sensores são dinâmicos e estão sujeitos à falhas. É simplesmente por causa desse problema que o infravermelho não é utilizado em redes de sensores sem-fio [TAVARES, 2002].

A terceira opção é a utilização de uma comunicação óptica. Dois sistemas de transmissão são sugeridos, um por um sistema de espelhos (três) passivo e outro pela utilização de um laser com um sistema de mira. Este tipo de rede ainda está em estudo [TAVARES, 2002].

Consumo de Energia: O consumo de energia numa rede de sensores sem-fio é o fator fundamental do projeto na maioria das vezes. Pelo fato de as fontes de energia serem escassas, onde for possível, devem ser utilizados métodos de economia de energia. Muitas pesquisas têm sido feitas para melhorar os algoritmos responsáveis pela transmissão e encaminhamento de dados na rede além do desenvolvimento de novos tipos de transmissores mais eficientes quanto a utilização de energia [TAVARES, 2002].

2.4.4 ARQUITETURA DE REDES SENSORES SEM FIO

Normalmente, os nós-sensores são espalhados em um campo de sensoriamento como mostra a figura 2.2. Cada sensor tem a capacidade de coletar dados e roteá-los de volta para o sorvedouro, também conhecido como *sink*, e para o usuário final. O roteamento dos dados de volta ao usuário final utiliza uma arquitetura *multi-hop* (com múltiplos saltos). O

sorvedouro pode se comunicar com o nó gerenciador de tarefas pela Internet ou por satélite [TAVARES, 2002].

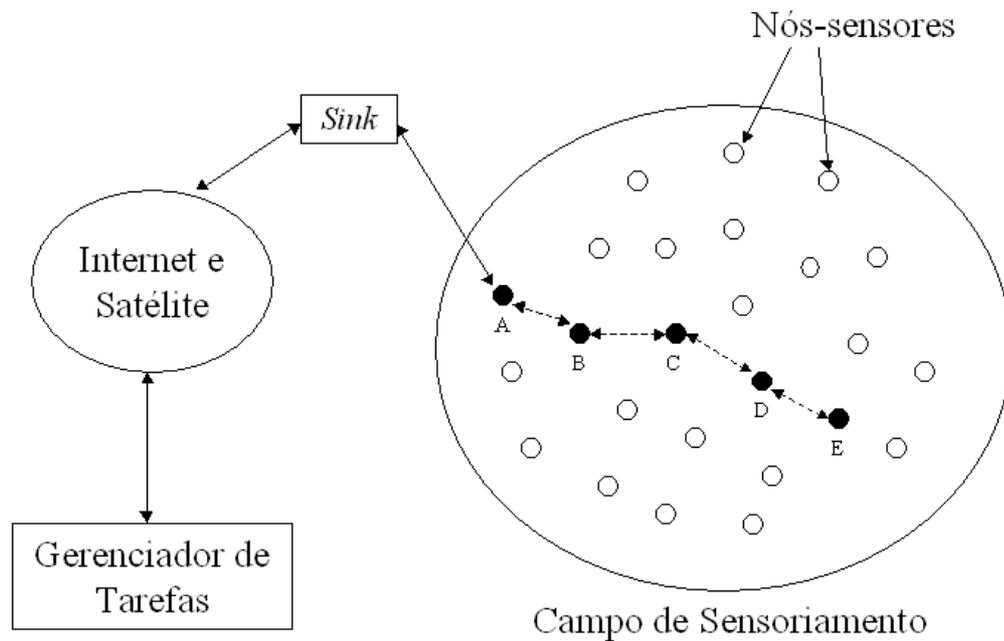


Figura 2.2 Nós-sensores espalhados em um campo de sensoriamento.

A figura 2.3 ilustra uma pilha de protocolos utilizada pelas redes de sensores. Esta pilha de protocolos combina um conhecimento da energia e do roteamento, integra os dados com os protocolos de rede, realiza a comunicação de forma eficiente quanto à energia por um meio sem-fio e promove os esforços de cooperação entre os nós-sensores. A pilha de protocolos consiste de uma camada de aplicação, uma camada de transporte, uma camada de rede, uma camada de enlace e uma camada física, além de planos de gerenciamento de energia, gerenciamento de mobilidade e gerenciamento de tarefas. Os planos de energia, mobilidade e tarefas monitoram a energia, movimentação e distribuição de tarefas entre os nós-sensores. Esses planos ajudam os nós-sensores a coordenar as tarefas de sensoriamento e reduzir o consumo total de energia. Dependendo das tarefas de sensoriamento diferentes tipos de softwares de aplicação podem ser feitos e utilizados na camada de aplicação [TAVARES, 2002].

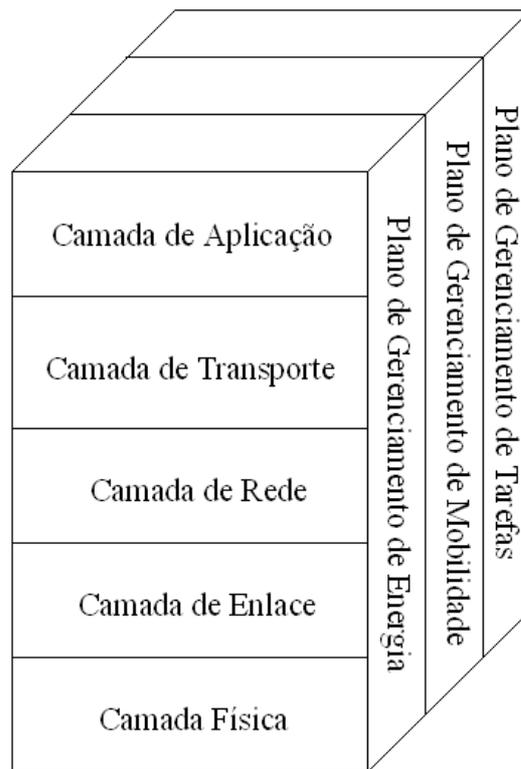


Figura 2.3 A pilha de protocolos de uma rede de sensores sem-fio.

Camada de Aplicação

Apesar de muitas áreas de aplicação para redes de sensores sem-fio estarem definidas e propostas, outras camadas de aplicação ainda esperam por ser descobertas, principalmente devido ao fato de as redes sensores ainda estarem em desenvolvimento [TAVARES, 2002].

Projetar um protocolo de gerenciamento na camada de aplicação tem muitas vantagens. Redes de sensores têm muitas áreas de aplicação e o acesso a elas por redes como a Internet é um objetivo em alguns projetos atuais. Um protocolo de gerenciamento na camada de aplicação faz com que o hardware e o software das camadas inferiores sejam transparentes para o gerenciamento das aplicações das redes de sensores. Por outro lado, um protocolo da camada de aplicação capaz de disponibilizar ao usuário uma interface eficiente para a disseminação de interesses é útil para as camadas de operação mais baixas, como roteamento [TAVARES, 2002].

Hoje em dia existem vários protocolos de aplicação em desenvolvimento, dentre eles estão o SMP (*sensor management protocol* ou protocolo de gerenciamento de sensores), o TADAP (*task assignment and data advertisement protocol* ou protocolo de designação de tarefas e anúncio de dados) e o SQDDP (*sensor query and data dissemination protocol* ou protocolo de consulta de sensores e de disseminação de dados) [TAVARES, 2002].

Sensor Management Protocol

Como as redes de sensores são formadas por nós que não possuem uma identificação global e, normalmente, são sistemas sem infraestrutura, o SMP precisa acessar os nós-sensores por parâmetros como localização ou atributos específicos dos nós [TAVARES, 2002].

O SMP é um protocolo de gerenciamento que fornece as operações de software necessárias para se realizar tarefas administrativas do tipo introduzir as regras relacionadas a agregação de dados, nomenclatura por atributos e agrupamento dos nós-sensores; trocar dados referentes aos algoritmos de descobrimento de localização; sincronizar no tempo os nós-sensores; mover nós-sensores; ligar ou desligar nós-sensores; consultar a configuração da rede de sensores e o estado dos nós e então reconfigurar a rede e etc [TAVARES, 2002].

Task Assignment and Data Advertisement Protocol

Esse protocolo disponibiliza ao usuário uma interface eficiente para a disseminação de interesses. Portanto, para o usuário obter informações sobre um determinado atributo do fenômeno ou um evento temporal, basta que ele envie seu interesse a um nó-sensor, ou a um sub-conjunto dos nós-sensores ou a toda a rede. Outra possibilidade é o nó-sensor avisar sobre novos dados disponíveis ao usuário, e o usuário então consulta os dados nos quais ele possui interesse [TAVARES, 2002].

Sensor Query and Data Dissemination Protocol

O SQDDP disponibiliza ao usuário interfaces para se fazer consultas, responder a consultas e coletar respostas. Estas consultas, geralmente, são feitas para um grupo de sensores e não para um sensor em particular. Atributos dos nós-sensores ou parâmetros de

localização são preferidos para o uso nestas interfaces. Por exemplo, “localizações onde a temperatura está acima de 24°C” é um atributo dos nós-sensores [TAVARES, 2002].

O SCTL (Sensor query and tasking language ou linguagem de consulta e delegação de tarefas para sensores) é proposto como uma aplicação que fornece um número maior de serviços. Ele permite o uso de três tipos de eventos definidos pelas palavras-chave *receive*, *every* e *expire*. *Receive* define os eventos gerados pelo sensor quando o nó-sensor recebe uma mensagem. *Every* define eventos ocorridos periodicamente devido ao estouro de um determinado tempo. E *expire* define eventos ocorridos quando um timer está expirado. Apesar do SCTL ser proposto, tipos diferentes de SQDDP podem ser desenvolvidos para várias aplicações. O uso do SQDDP pode ser único para cada aplicação [TAVARES, 2002].

Camada de Transporte

Esta camada é necessária principalmente quando o sistema é planejado para ser acessado pela Internet ou por outra rede externa. Até hoje nenhum esquema para discussão de problemas relacionados a camada de transporte foi proposto. O TCP com seu esquema de transmissão atual por janelas não é capaz de suportar as exigências extremas de uma rede de sensores. Diferentemente do TCP, os esquemas de comunicação ponta a ponta numa rede de sensores não são baseados num endereçamento global. Estes esquemas devem considerar que o endereçamento por atributos ou por localização é usado para indicar os destinos dos pacotes de dados. Os fatores como consumo de energia e escalabilidade, e as características como roteamento com agrupamento de dados precisam de diferentes tratamentos na camada de transporte, mostrando a necessidade de novos tipos de protocolos de transporte [TAVARES, 2002].

O desenvolvimento de protocolos de transporte é um problema desafiador, principalmente em se tratando de hardware com energia e memória limitada. Isto é, cada nó-sensor não pode guardar grandes quantidades de dados como um servidor Internet, e confirmações são muito dispendiosas em redes de sensores [TAVARES, 2002].

Camada de Rede

A principal função da camada de rede é rotear pacotes de um nó origem para um nó destino. O algoritmo de roteamento é a parte do software da camada de rede responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser usada na transmissão do pacote de entrada [GONDIM].

De um algoritmo de roteamento para redes sem fio espera-se que ele seja capaz de escolher a melhor rota para enviar um pacote. Ele deve ser simples, podendo oferecer serviços com uma quantidade mínima de processamento, e deve ser robusto, funcionando corretamente durante muitos anos sem que ocorram falhas no sistema. Independente do aumento ou da diminuição do número de nós da rede, o algoritmo deve continuar funcionando bem; deve ser capaz de se adaptar às mudanças freqüentes na topologia da rede e escolher a melhor rota quando houver mudanças na localização dos nós. O algoritmo também deve funcionar na maior variedade de computadores e meios físicos, e todos os nós devem ter acesso aos recursos providos pela rede [GONDIM].

Vários algoritmos de roteamento já foram propostos na literatura. Esses algoritmos se diferem na forma em que novas rotas são determinadas e como as existentes são modificadas. A maioria desses algoritmos possui duas características comuns: o fato de não levar em consideração a localização física dos nodos e o uso de *flooding* para enviar uma mensagem quando não encontra uma rota para o nodo destino. O uso de *flooding* diminui a eficiência e escalabilidade dos protocolos [CÂMARA].

Os algoritmos de roteamento podem ser classificados em reativos, pró-ativos e híbridos [GONDIM].

Algoritmos Reativos

É o tipo de algoritmo onde um nó cria a rota somente quando requisitado, possibilitando economia de banda e de bateria, mas leva um tempo maior para obtenção de rotas [GONDIM].

O DSR (Dynamic Source Routing) é exemplo de um algoritmo reativo. Nesse algoritmo o nó de origem cria uma rota completa do pacote que seguirá pela rede e o envia para o primeiro nó indicado na lista. Cada nó mantém um cachê com as rotas que aprende e, quando receber um pacote, verifica se ele possui uma rota para o destino. Se existir a origem usa esta rota para enviar os pacotes, caso contrário, a origem usa o protocolo de descobrimento de rotas para encontrar uma rota para o destino. Quando o tempo de vida das rotas na cachê termina, esta rota é retirada da mesma [GONDIM].

Sempre que ocorrem erros no roteamento, desligamento do nó ou mudança de posição os nós utilizam um protocolo de descobrimento de rotas. Neste, o nó origem envia por broadcast, para seus vizinhos, um pacote de requisição de rota contendo o endereço de origem, o destino da comunicação e o registro de rotas. Cada nó, ao receber este pacote, verifica se há em seu cachê uma rota para o nó destino. Se existir ele envia para o nó origem um pacote de resposta de rota contendo uma lista com a seqüência de todos os nós até o destino, mas se não existir essa rota, os nós inserem seu endereço no registro de rota e repassam o pacote para seus vizinhos. Este procedimento se repete até que o pacote chegue ao destino ou até que algum nó tenha uma rota para ele [GONDIM].

Esse algoritmo possui um mecanismo para manutenção de rotas devido à topologia da rede ser dinâmica. Cada nó é capaz de monitorar os pacotes de confirmação de outros nós ou ouvir todas as comunicação que passam por ele, e assim, quando houver problemas com um nó seu vizinho envia um pacote de erro de rota para o nó origem [GONDIM].

Esse algoritmo tem como vantagens a economia de banda e energia, e como desvantagem o fato de utilizar o *flooding* [GONDIM].

Pró-Ativos

É o tipo de algoritmo onde um nó atualiza suas rotas de forma periódica [GONDIM].

O GSR (Global State Routing) é exemplo de um algoritmo pró-ativo. Nele, quando um nó detecta uma mudança de topologia causada pelo mal funcionamento ou o desligamento de um nó, esta informação é mantida em uma tabela de topologia, onde já devem estar armazenadas informações de alteração recebidas pelos seus vizinhos. Essas informações são preparadas e disseminadas periodicamente apenas para os vizinhos. Além desta tabela, cada nó possui uma lista de vizinhos, uma tabela de próximo nó e uma tabela de distâncias [GONDIM].

Com a finalidade de reduzir o tamanho das mensagens de atualização, o GSR utiliza duas técnicas [GONDIM]:

- Fresh Update: somente informações consideradas úteis são encaminhadas aos vizinhos, economizando largura de banda e energia.
- Fisheye: mantém um alto volume de informações sobre os nós mais próximos e diminui o detalhe das informações dos nós mais distantes.

Híbridos

É o tipo de algoritmo onde apenas alguns nós fazem atualizações periódicas [GONDIM].

O ZRP (Zone Routing Protocol) é exemplo de um algoritmo híbrido. Nesse algoritmo, a zona é definida por cada nó e inclui os nós que estão a uma distância mínima de *hops* do nó em questão. Na maioria das vezes a distância é um número pré-definido que é denominado como raio da zona. Se o destino estiver dentro da zona do nó que disparou o procedimento, então o pacote é imediatamente enviado, senão, ele envia o pacote através de *multicast* para todos os nós que estão na borda da zona de roteamento, perguntando se conhecem uma rota para o destino. Se conhecerem, os nós mandam uma resposta afirmativa e a conexão é fechada. Caso não conheçam, eles enviam a mensagem para os nós da borda de

sua zona. Este procedimento segue até que uma confirmação chegue ou até que todos os nós tenham sido pesquisados [GONDIM].

Esse algoritmo tem várias vantagens, como o fato de o roteamento em um ZRP pode ocorrer rapidamente em nós que estão na mesma zona, pois os caminhos já são previamente conhecidos; o algoritmo apresentar boa escalabilidade; a rapidez na detecção das mudanças na topologia e o pequeno tamanho das tabelas de roteamento. A desvantagem nas intra-zonas é que como o protocolo de roteamento não é especificado, várias zonas podem ter protocolos diferentes [GONDIM].

A camada de rede de uma rede de sensores é normalmente projetada baseando-se na eficiência quanto ao gasto de energia; no roteamento, que, na maioria das vezes é baseado em conteúdo; na agregação de dados, isso sem atrapalhar o esforço conjunto dos nós-sensores e nos atributos e localização dos sensores [TAVARES, 2002].

Camada de Enlace

A camada de enlace é responsável pela multiplexação dos fluxos de dados, detecção dos quadros, acesso ao meio e controle de erro. Ela garante comunicação ponto a ponto e ponto a multiponto em uma rede de comunicação [TAVARES, 2002].

O controle de acesso ao meio (MAC) em uma rede de sensores sem-fio deve atingir dois objetivos. O primeiro é a criação de uma infraestrutura, pois, numa rede de sensores, milhares de sensores estão espalhados densamente num campo de sensoriamento, logo o MAC deve estabelecer comunicação salto a salto e fornecer a rede a habilidade de se auto-organizar. O segundo objetivo é a divisão justa e eficiente dos meios de comunicação entre os nós-sensores. Os esquemas de MAC atuais não funcionam muito bem em uma rede de sensores. Novos MACs estão sendo pesquisados [TAVARES, 2002].

Outra função importante da camada de enlace é o controle de erros. Dois modos de controle de erros em redes de comunicação são o FEC (forward error correction) e o ARQ (automatic repeat request). Apesar de versões adaptativas com baixo gasto de energia existirem para redes móveis, o ARQ ainda continua pouco explorado nas redes de sensores

pela sua limitação devido a necessidade de retransmissão e do overhead imposto. Já o FEC é mais complexo de ser decodificado e necessita de circuitos dedicados. Considerando isto, pode-se concluir que a melhor opção para uma rede de sensores seja sistemas de controle de erros simples com baixa complexidade de codificação e decodificação, e também que ainda há muito espaço para pesquisa na camada de enlace, tanto nos protocolos MAC como no controle de erros [TAVARES, 2002].

Camada Física

A camada física é responsável pela seleção de frequências, geração da frequência portadora, detecção de sinal, modulação e codificação. É sabido que comunicações sem-fio a longas distâncias podem ser dispendiosas em se tratando de energia e complexidade de implementação. A minimização de energia se mostra de alta importância quando se trata de um projeto de uma camada física para uma rede de sensores, é até mais importante que os problemas tradicionais de uma comunicação sem-fio como reflexão, sombreamento, etc. Alguns problemas enfrentados pela camada física podem ser resolvidos pelas camadas de cima. Por exemplo, os efeitos de uma comunicação com multipath não são tão graves quando um nó-sensor se comunica apenas com o nó vizinho. Logo o projetista deve ter estes problemas e restrições em mente para melhor projetar a camada física [TAVARES, 2002].

No caso da camada física ainda há espaço para pesquisa em circuitos de baixíssimo consumo de energia, específicos para redes de sensores. Ainda há pouco estudo abordando diretamente os problemas das redes de sensores na camada física [TAVARES, 2002].

3 PROPOSTA DE MODELO

A idéia do projeto aqui proposto é o desenvolvimento de uma aplicação para gerir o controle de pecuária de grande porte, visando melhorar a qualidade dos serviços e das informações. A utilização desse projeto evitará ocasiões em que o funcionário tenha que procurar por um animal em toda a extensão da fazenda, ou que a criação fique sem comida e/ou água, ou até que um animal venha desenvolver alguma doença através de controle de peso e temperatura, dentre outros.

O projeto vai utilizar antenas, sensores e um software que, além de receber os dados colhidos pelos sensores, também vai controlar a criação do gado mantendo informações como filiação, doenças que o animal já teve, vacinação, tipo de gado (corte ou leiteiro), peso, temperatura, produção leiteira, localização, etc.

Cada animal teria um sensor instalado que passaria informações como temperatura e localização. Também teria sensores nos cochos para coletar informações sobre a quantidade de comida e água disponíveis para os animais. Esses cochos ficariam abertos somente na hora em que os animais forem comer, para não ocorrer de algum animal comer mais que o necessário.

No curral teria um computador “cliente”, com acesso restrito, que passaria as seguintes informações ao servidor: peso, produção leiteira se for o caso, estoque de ração, sal, etc. Esse computador também teria permissão para cadastrar um novo animal e fazer determinadas alterações.

O “servidor”, com acesso irrestrito, receberia as informações dos sensores e também do computador “cliente”, e, do local onde o servidor estiver instalado, o usuário teria a capacidade de controlar toda a criação, sabendo exatamente a localização de cada animal, sua paternidade, sua produção, vacinação, etc.

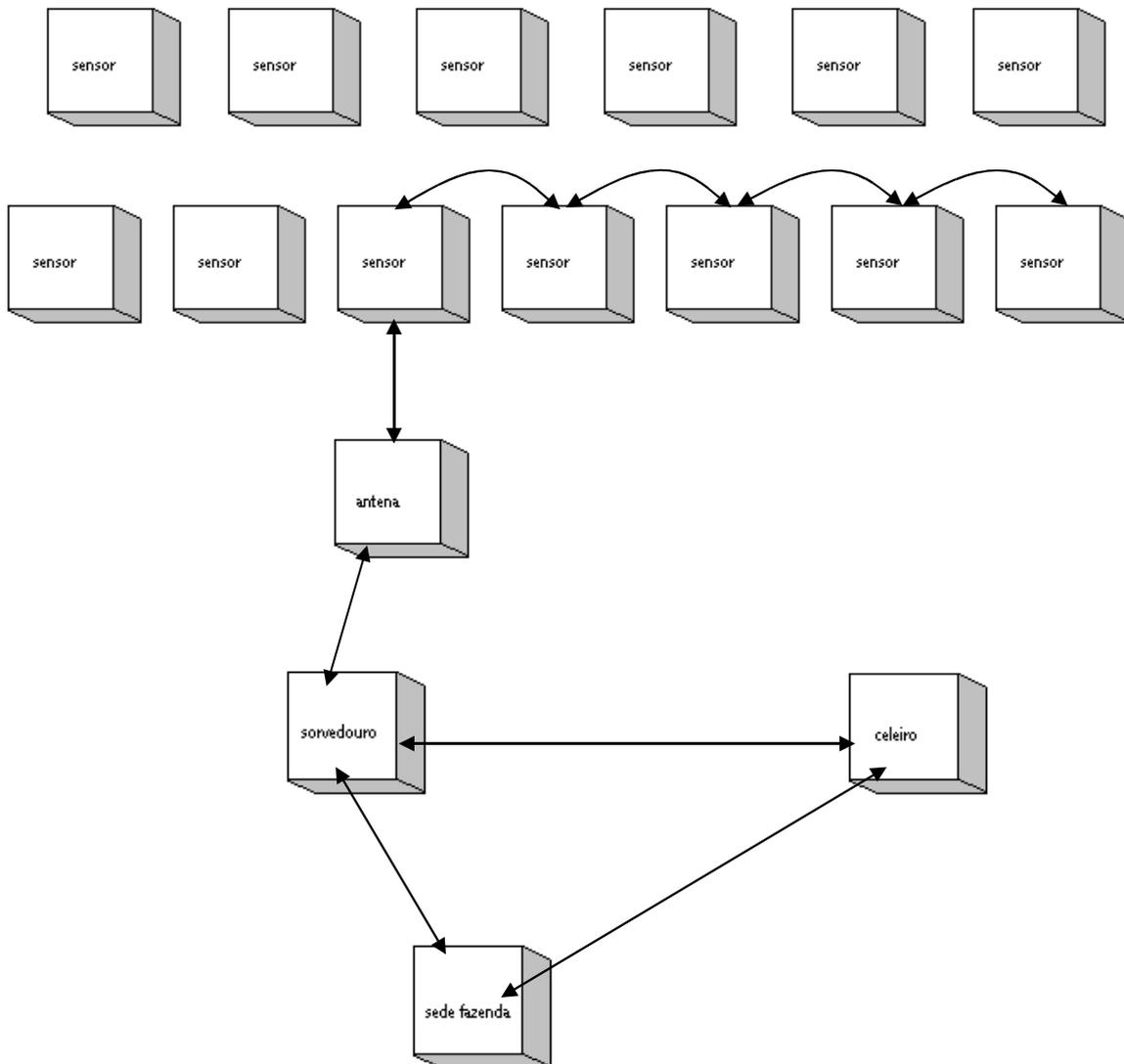
Para esse tipo de aplicação é necessária a utilização de sensores que tenham um baixo consumo de energia. Para um sensor transmitir informações ele precisa se comunicar com o sensor mais próximo a ele, que por sua vez se comunica com o outro mais próximo, e assim sucessivamente, até que as informações cheguem ao nó sorvedouro, este último então envia as informações ao usuário. Para o usuário enviar informação a um determinado sensor o sorvedouro envia a informação para o nó sorvedouro que vai enviando sempre para o sensor mais próximo até chegar ao sensor destinatário da informação. É necessário utilizar um protocolo que garanta o funcionamento da rede mesmo quando um nó-sensor saia da área de cobertura.

Dentre os projetos de sensores estudados na sessão 1.3, o mais viável para esse tipo de aplicação é o sensor PicoSensor, do Projeto PicoRadio. O principal objetivo no desenvolvimento deste projeto é o menor gasto de energia tanto em processamento quanto em comunicação. Dentre os tipos de sensores que esse projeto disponibiliza, o que controla temperatura e o que monitora distância e localização (acelerômetro) são ideais para a aplicação em questão. Outra característica relevante desse projeto é o fato de ele utilizar a técnica do Energy harvesting que tenta fazer com que o nó-sensor retire o máximo de energia possível do ambiente onde se encontra, na aplicação o sensor poderia, por exemplo, obter energia do sol, do vento e de vibrações.

3.1 MODELAGEM DE SOFTWARE

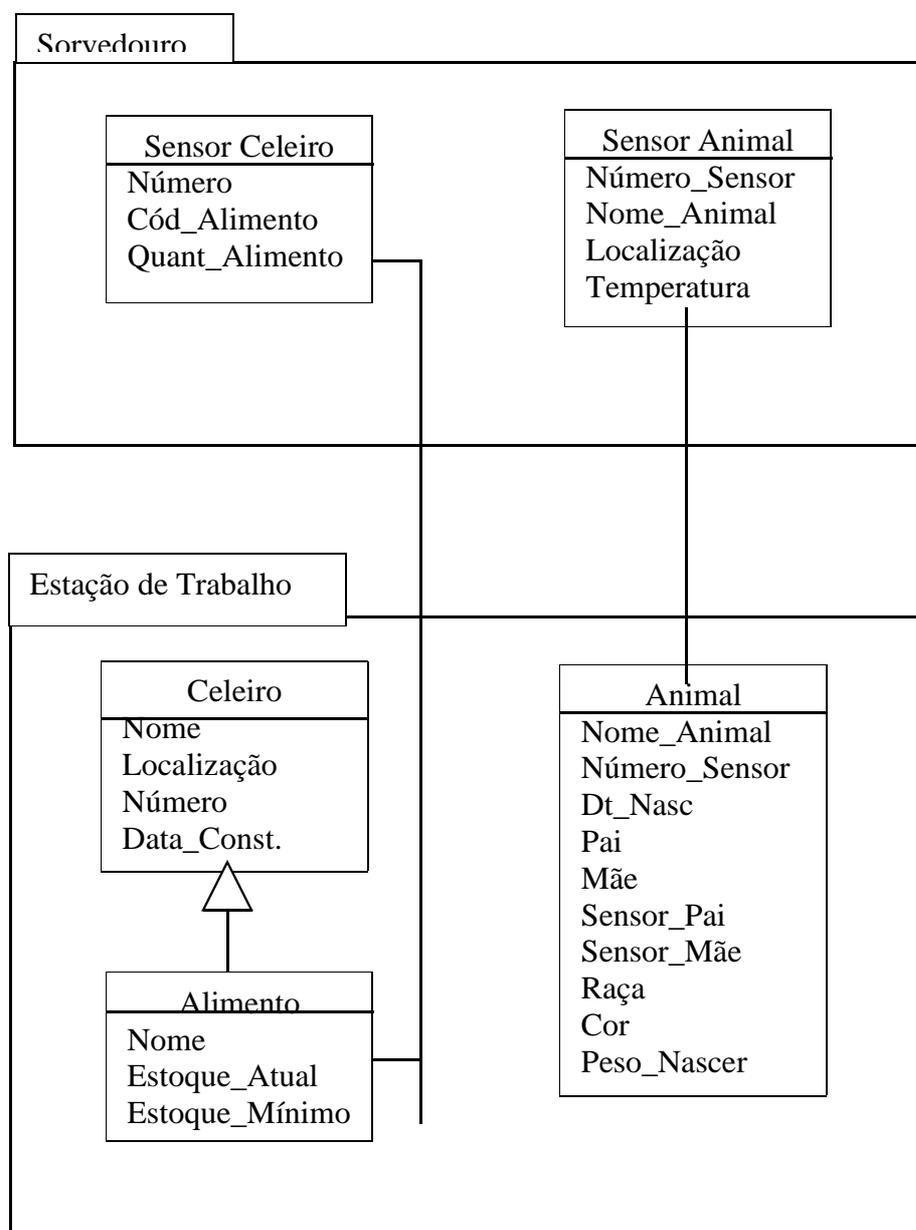
3.1.1 DIAGRAMA DE IMPLANTAÇÃO

O diagrama abaixo mostra como seria o tráfego de informações na rede. O sensor remetente envia as informações para seu nó vizinho, esse por sua vez envia para seu vizinho mais próximo, e assim sucessivamente até chegar no nó mais próximo a antena, esta envia as informações ao nó sorvedouro. O sorvedouro passa e recebe as informações para o celeiro e/ou a sede da fazenda. As setas indicam que o fluxo é bidirecional e ocorre sempre dessa forma, enviando a informação para o nó mais próximo até chegar no destinatário.



3.1.2 DIAGRAMA DE CLASSES

Este diagrama mostra a relação entre as entidades. Na parte do sorvedouro tem-se a classe sensor celeiro e sensor animal, cada qual com suas informações. A entidade *sensor celeiro* se relaciona com a entidade *alimento*, através do campo número do sensor. A entidade *sensor animal* se relaciona com a entidade *animal*, através dos campos número do sensor e nome do animal.



3.2 SOFTWARE PROPOSTO

As telas a seguir fazem referência ao software que deve ser desenvolvido para processar as informações recebidas dos sensores e assim ser capaz de emitir as respostas solicitadas pelo usuário. A tela principal sugerida para este software pode ser vista na figura 3.1.



Figura 3.4 Tela Principal do Programa

O botão *Localizar* possibilita ao usuário saber, em tempo real, a localização de cada animal em uma fazenda. Clicando em *animais* o usuário poderá obter informações de um determinado animal ou também adicionar animais. Em *sensores* ele vai poder saber informações de cada sensor ativo ou inativo, adicionar sensores, relacioná-los aos animais e manipulá-los. Em *celeiro* será possível verificar a quantidade de alimentos que tem em cada cocho e o estoque total dos mesmos. E em *empresa* o usuário poderá cadastrar os dados de sua fazenda. Em arquivos é possível acessar os mesmos serviços dos botões *localização*, *animais*, *sensores*, *celeiro* e *empresa* além de conter o botão *sair* para sair do programa e

desligar que serve para desligar o computador. Em *relatórios* o usuário pode tirar relatório na tela ou impresso de localização, sensores, empresa, animais, celeiro, peso, temperatura, produção, vacinação, filiação, doenças e procriação. Em *utilitários* o usuário pode gerar ou restaurar um backup. Em *ajuda* ele obtém informações de como utilizar o software e informações sobre desenvolvimento, autoria e versão do software.

The screenshot shows a window titled "Cadastro de Animal" with the following fields and controls:

- Nome:** Text input field.
- Sensor:** Text input field.
- Data Nascimento:** Date input field (format: / /).
- Filiação:** Sub-section containing:
 - Pai:** Text input field.
 - Mãe:** Text input field.
 - Sensor:** Text input field.
 - Origem:** Radio buttons for "Comprado" and "Criação Própria".
- Veterinário(a):** Text input field.
- Local do Parto:** Text input field.
- Raça:** Dropdown menu.
- Foto:** Large empty rectangular area for a photo.
- Cor Predominante:** Dropdown menu.
- Horário:** Text input field.
- Peso ao Nascer:** Text input field.
- Tipo de Reprodução:** Radio buttons for "Natural" and "Inseminação".
- Observações:** Text input field.
- Buttons:** "Adicionar" (with floppy disk icon), "Alterar" (with magnifying glass icon), "Reset" (with circular arrow icon), "Remover" (with trash can icon), "OK" (with checkmark icon), and "Cancelar" (with red X icon).

Figura 3.5 Tela de Cadastro de Animais

A tela representada na figura 3.2 se abriria ao clicar no botão *animais* na tela principal sugerida, e possibilitaria cadastrar, excluir ou alterar informações de um animal. Para o cadastramento de um animal, após o preenchimento de todos os campos disponíveis, seria necessário clicar no botão *adicionar*. O botão *Reset* teria a função de apagar todos os campos, de uma só vez, de um cadastro ainda não efetuado. Se o usuário quisesse excluir ou alterar algum dado de um determinado animal ele precisaria digitar o nome do animal para que todos os dados disponíveis aparecessem na tela, a então conseguiria alterar algum dado, clicando no botão *alterar* ou excluir esse registro clicando no botão *excluir*.

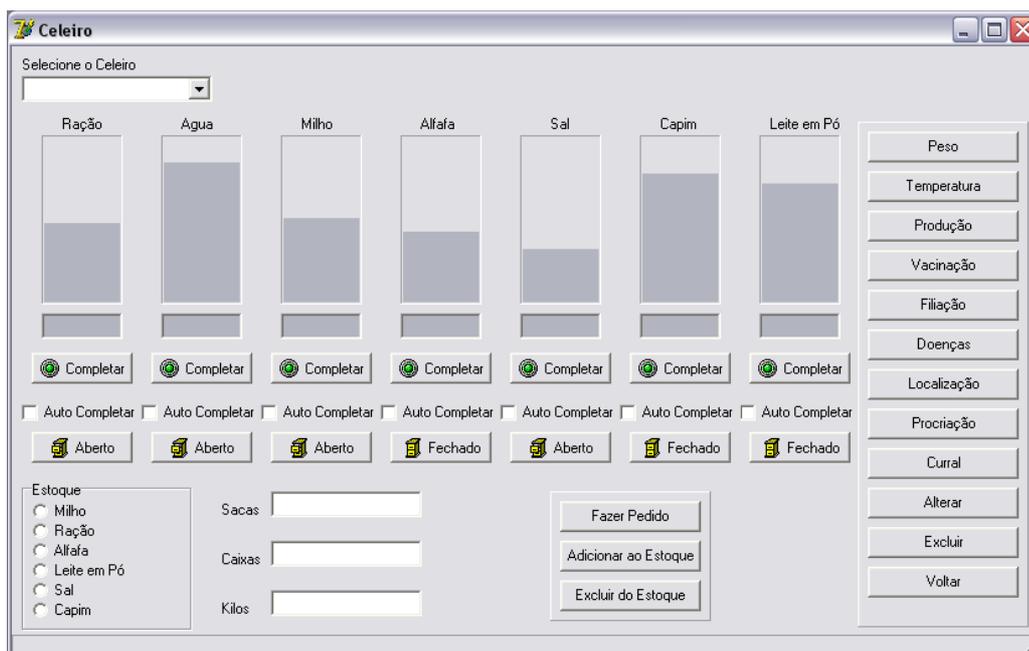


Figura 3.6 Tela que fornece as informações do celeiro

A tela representada na figura 3.3 se abriria ao clicar em *celeiro* na tela principal sugerida, e possibilitaria ao usuário saber o estado atual de um determinado celeiro, obtendo informações como estoque atual de todos os alimentos disponíveis e também a quantidade de comida em cada cocho. Na caixa de texto *Selecione o celeiro* o usuário tem que escolher o celeiro que ele precisa obter informações. Se algum cocho estiver com nível de comida ou água abaixo do permitido basta que ele dê um clique no botão *Completar* para aumentar o nível, ou ele pode também optar por deixar selecionado o item *Auto Completar* e assim, sempre que algum alimento ou a água alcançar o nível mínimo permitido, automaticamente será completado até o nível máximo. Se o cocho estiver aberto será habilitado o botão *Fechar* que permite fechar o cocho. E se o cocho estiver fechado o botão *Aberto* será habilitado permitindo abrir o cocho para que os animais possam se alimentar. No item *estoque* o usuário selecionaria qual o alimento que ele obteria informações sobre estoque. Quando algum alimento estiver com estoque baixo bastaria marcar o alimento e clicar no botão *fazer pedido*, então, quando fosse gerado um relatório sobre o estoque dos alimentos esse estaria marcado com estoque baixo. Os botões *Adicionar ao Estoque* e *Excluir do Estoque* permitem, respectivamente, a inclusão e a exclusão de um alimento.

O painel localizado no lado direito desta tela é exibido também em outras telas do sistema e fornecem as informações peso, temperatura, produção, vacinação, filiação, doenças, localização e procriação de um determinado animal, informações sobre o curral, além de possibilitar alterar ou excluir um animal, e voltar para a tela principal.

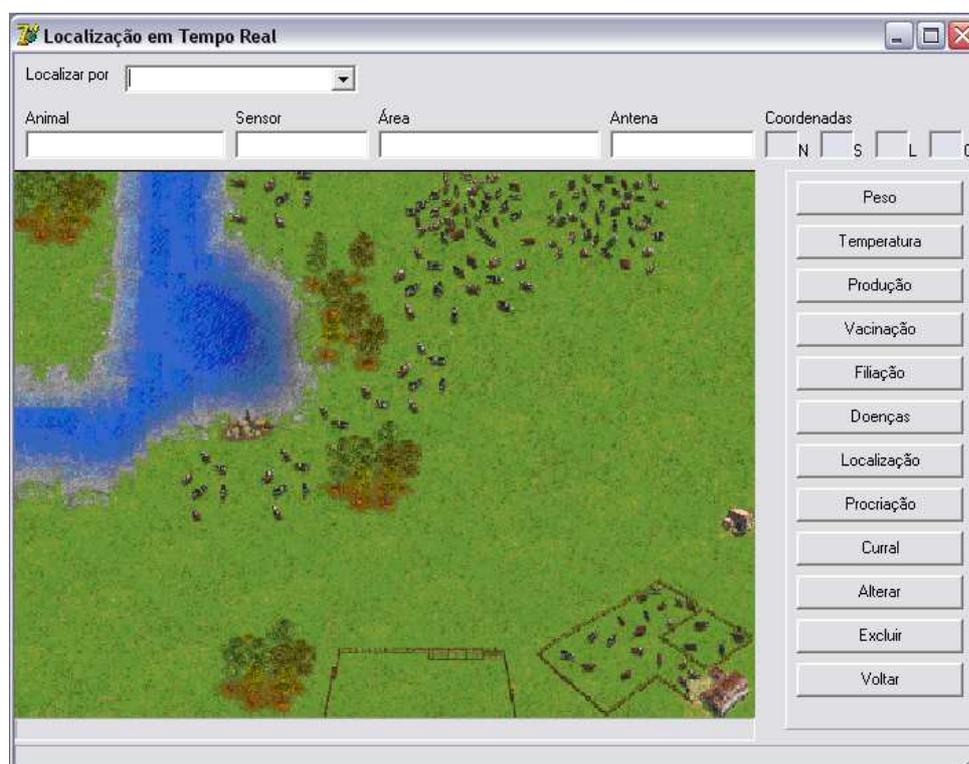


Figura 3.7 Informações dos animais em tempo real

Na tela representada na figura 3.4 tem-se a localização em tempo real de cada animal e, conseqüentemente, dos sensores também. O usuário tem a opção de escolher a localização por animal, por sensor, por área ou por antena, a após o processamento serão exibidas as coordenadas indicando a exata localização. Esta localização pode também ser feita através do mapa clicando-se em um animal desejado.



Figura 3.8 Informações sobre a produção de leite

A tela representada na figura 3.5 é sugerida para controlar a produção de leite. O usuário poderá escolher o animal pelo nome ou pelo número do sensor. O botão *Mês Anterior* mostrará ao usuário um relatório completo sobre a produção leiteira do animal selecionado referente ao mês anterior. Mas se ele quiser um relatório de um outro mês basta clicar no botão *Selecione o Mês*. O botão *Média* fornece ao usuário a média da produção leiteira por mês e por ano. O botão *Gráfico* gera um gráfico (como o exibido na figura 3.5) do relatório que está sendo visualizado no momento. Clicando no botão *Previsão de Fertilidade* o usuário obtém a previsão de fertilidade do animal. O botão *Prenha* informa ao usuário quanto tempo já dura a gestação e a previsão do nascimento, ou se já ocorreu o nascimento informa se a vaca ainda está amamentando ou não.

No botão *Adicionar Valores* o usuário consegue cadastrar o valor, em litros, da produção de um determinado animal em um dia, divididos em turnos manhã e tarde. O botão *Reset* apaga de uma só vez todos os campos que o usuário digitou. O botão *OK* confirma o cadastro e o botão *Cancelar* fecha a janela sem salvar as alterações.

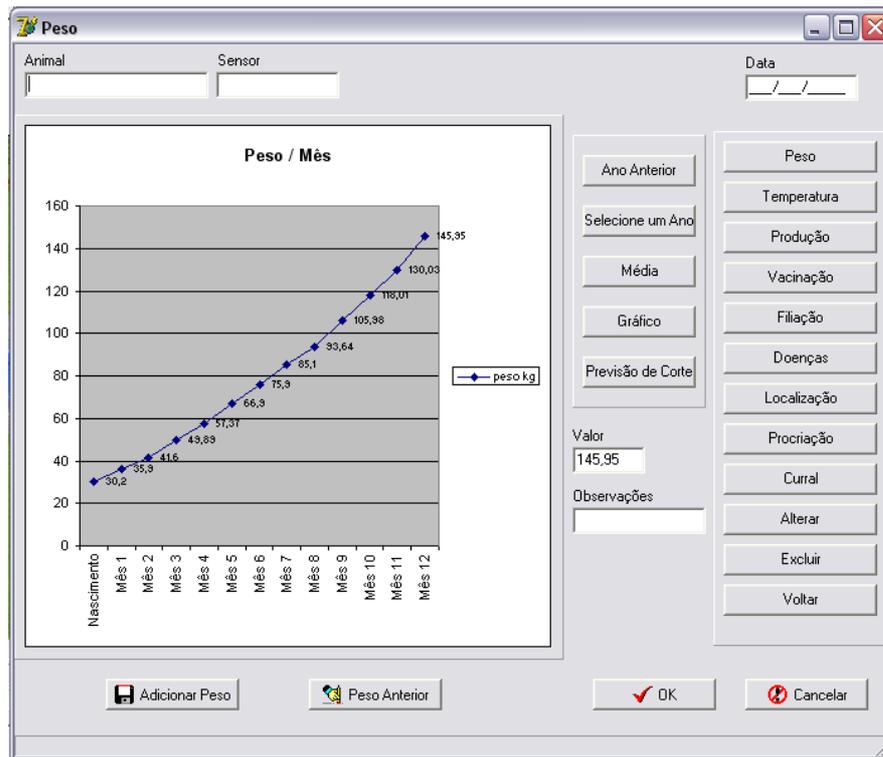


Figura 3.9 Informações sobre o peso do animal

A tela representada na figura 3.6 é sugerida para o controle de peso do animal. O usuário poderá escolher o animal pelo nome ou pelo número do sensor. O botão *Ano Anterior* gera para o usuário um gráfico mostrando as variações de peso do animal mês a mês. Se ele quiser saber informações de outro ano basta clicar no botão *Selezione um Ano*. O botão *média* fornece ao usuário qual foi a média de crescimento do animal no ano selecionado. O botão *Gráfico* fornece ao usuário um gráfico mostrando os pesos do animal nos últimos 12 meses. O botão *Previsão de Corte* informa ao usuário quando o animal provavelmente estará com peso suficiente para o abate.

A caixa de texto *Valor* fornece o peso atual do animal. O botão *Adicionar Peso* possibilita ao usuário alterar o peso do animal e o botão *Peso Anterior* permite desfazer a operação de alteração de peso retornando com o peso anterior à alteração. O botão *OK* confirma a alteração e o botão *Cancelar* fecha a janela sem salvar.

The screenshot shows a window titled "Sensor" with the following fields and controls:

- Animal:** A text input field.
- Sensor:** A text input field.
- Tipo de Sensor:** A dropdown menu.
- Número de Série:** A text input field.
- Transceptor:** A text input field.
- Comunicação:** A text input field.
- Dimensões:** A text input field.
- Sistema Operacional:** A text input field.
- Data Aquisição:** A date input field (MM/YY).
- Processador:** A text input field.
- Data Instalação:** A date input field (MM/YY).
- Observações:** A large text area for notes.
- Localização em Tempo Real:**
 - Área:** A text input field.
 - Antena:** A text input field.
 - Coordenadas:** Four checkboxes labeled N, S, L, O.
 - Memória:** A progress bar from 0 to 100%.
 - Bateria:** A progress bar from 0 to 100%.
- Estatus:** Three radio buttons: Ativado, Espera, Desativado.
- Buttons:** Adicionar, Alterar, Reset, Remover, OK, Cancelar, and a large button labeled "Antenas".

Figura 3.10 Tela de cadastro de sensores

Na tela representada na figura 3.7 o usuário teria a possibilidade de cadastrar um novo sensor e também já associá-lo ao animal que ele irá sensoriar, e também serve de controle do sensor, armazenando características como localização em tempo real, qual antena ele está utilizando, o status que informa se ele está ativo, inativo ou esperando (em desuso temporariamente), e também informa quantidade de memória e bateria disponíveis para o sensor.

No botão *Antenas* o usuário irá configurar suas antenas de sensoriamento.

O botão *Adicionar* habilita os campos para que o usuário realize o cadastro de outro sensor. O botão *Alterar* permite que o usuário altere dados de sensores já cadastrados. O botão *Reset* apaga de uma só vez todos os campos digitados pelo usuário. O botão *Remover* permite excluir um sensor cadastrado. O botão *OK* confirma o cadastro e o botão *Cancelar* fecha a janela sem salvar as alterações.

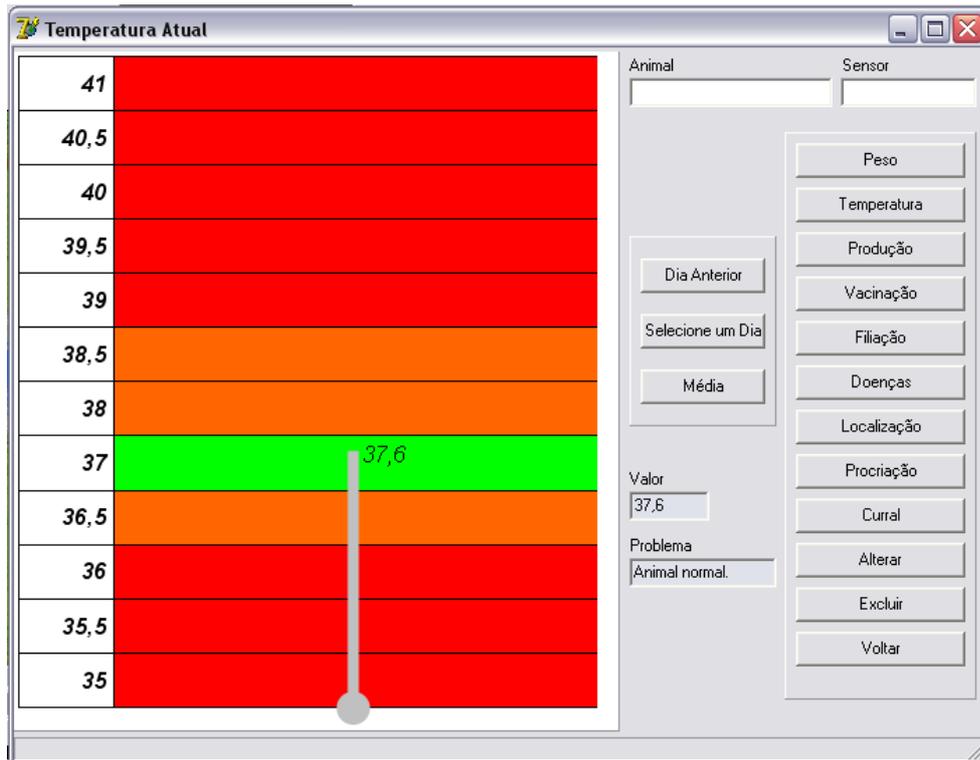


Figura 3.11 Temperatura atual do animal selecionado

A tela representada na figura 3.8 mostrará ao usuário a temperatura do animal selecionado. O usuário poderá escolher o animal pelo nome ou pelo número do sensor. O sensor passará em tempo real a temperatura do animal e também coletará informações periodicamente para manter o usuário informado sobre o animal no caso de, por exemplo, ele estar com uma temperatura elevada demais podendo indicar uma doença.

O botão *Dia Anterior* gera para o usuário um gráfico mostrando a temperatura de um determinado animal no dia anterior. Se ele quiser saber informações de outro dia basta clicar no botão *Selecione um Dia*. O botão *média* fornece ao usuário qual foi a média da temperatura do animal referente ao dia selecionado.

A caixa de texto *Valor* informa o número exato da temperatura do animal no momento. E a caixa de texto *Problema* informa se o animal está com algum problema.

4 CONCLUSÃO

O foco principal deste trabalho foi o estudo sobre a utilização de rede de sensores sem fio no controle da criação de gado. Os cinco projetos de sensores apresentados na seção 2.3 do capítulo 2 deixaram claro porque as RSSF's são dependentes da aplicação, pois às vezes um sensor que, dadas as suas dimensões, taxa de transmissão e alcance é ideal para uma aplicação é totalmente inadequado para outras. Também ocorrem situações em que o sensor que parece adequado a um tipo de aplicação no que diz respeito ao hardware, apresenta limitações quanto ao software que se quer utilizar. Para a aplicação escolhida para estudo, chegou-se a conclusão que, dentre os cinco projetos apresentados, o sensor PicoRádio é o mais viável.

Na aplicação, dados são processados e transmitidos a todo instante, e o principal objetivo deste tipo de sensor é a baixa dissipação de energia tanto em processamento quanto em comunicação. Para atingir esse objetivo o sensor PicoRadio utiliza técnicas que tentam fazer com que o nó-sensor retire o máximo de energia possível do ambiente onde se encontra, e como o cenário principal da aplicação é uma fazenda de grande extensão, os sensores poderiam obter energia do sol ou de ventos, por exemplo. Outra técnica é utilizar um sistema

operacional dirigido a eventos, gerando economia no consumo de energia. Outras características também influenciaram na conclusão como o fato de este tipo de sensor visar aplicações de controle e monitoração de ambientes e formação de redes instantâneas, e também por ele ser ideal em aplicações que contenham um grande número de nós, o que é o caso da aplicação em estudo.

Hoje em dia esse tipo de aplicação é muito necessária, visto que as pessoas procuram, cada vez mais, praticidade e qualidade e segurança de dados, porém, no momento ela ainda não é viável, devido ao alto custo do desenvolvimento. Em um futuro próximo, quando problemas como tolerância à falha, mudança de topologia, custo, hardware e consumo de energia forem superados, as redes de sensores sem fio farão parte integrante em nossas vidas e esse tipo de aplicação terá grande ênfase no mercado. Várias pesquisas já estão em andamento para a resolução desses problemas e também para a criação de novas técnicas de redes de sensores sem fio.

A sugestão para trabalhos futuros na área de redes de sensores sem fio é o desenvolvimento da aplicação sugerida nesse projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[**BARROS, 2002**] BARROS, Flávio Alencar do Rego. **Rede de Sensores Sem Fio**. UFRJ, 2002.

[**TAVARES, 2002**] TAVARES, Pedro Lemos. **Redes de Sensores Sem-fio**. UFRJ – Rio de Janeiro, 2002.

[**STOCHERO**] STOCHERO, Jorgito Matiuzzi, PINTO, Antonio José Gonçalves, REZENDE, José Ferreira de. Roteamento com agregações de dados em redes de sensores. Grupo de Teleinformática e Automação, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

[**LOUREIRO, 2002**] LOUREIRO, Antonio A.F., NOGUEIRA, José Marcos S., RUIZ, Linnyer Beatrys, MINI, Raquel Aparecida de Freitas, NAKAMURA, Eduardo Freire, FIGUEIREDO, Carlos Maurício Serôdio. **Redes de Sensores Sem Fio**. DCC/UFMG – Belo Horizonte, 2002.

[**FREED, 13**] FREED, Les, DERFLER, Jr., FRANK, J. **Guia para Netware**. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e Científicos, 1993.

[**SILVA, 2003**] SILVA, Fabrício Aguiar, BRAGA, Thais Regina de Moura, RUIZ, Linnyer Beatrys, NOGUEIRA, José Marcos Silva. **Tecnologia de Nodos Sensores Sem Fio**. DCC/UFMG – Belo Horizonte, Janeiro/2003.

[**VIEIRA**] VIEIRA, Marcos Augusto M., VIEIRA, Luiz Filipe M., RUIZ, Linnyer Beatrys, LOUREIRO, Antônio Alfredo F., FERNANDES, Antônio O., NOGUEIRA, José Marcos S., JR. Diógenes Cecílio da Silva. **Como obter o mapa de energia em Redes de Sensores Sem Fio? Uma abordagem tolerante a falhas**. Departamento de Ciência da Computação e Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG. Belo Horizonte.

[**GONDIM**] GONDIM, Paulo Roberto de Lira, AMORIM, Glauco Fiorott, SANTOS, Myrna Cecília Martins dos, SOBRAL, André Luiz Avelino. **Roteamento em redes de comunicação sem fio “Ad Hoc”**. Instituto Militar de Engenharia. Departamento de Engenharia de Sistemas, Rio de Janeiro – RJ.

[**CÂMARA**] CÂMARA, Daniel. **Algoritmo de Roteamento para Redes Móveis Ad hoc Baseados em GPS**. Departamento de Ciência da Computação – UFMG. Belo Horizonte.

ANEXO A

Relação das siglas citadas no trabalho:

- RSSF – Rede de Sensor Sem Fio
- RF – Rádio Frequência
- RISC – Computador com Conjunto de Instruções Reduzido
- SMP - Protocolo de Gerenciamento de Sensores
- TADAP – Protocolo de Designação de Tarefas e Anúncio de Dados
- SQDDP – Protocolo de Consulta de Sensores e de Disseminação de Dados
- SCTL – Linguagem de Consulta e Delegação de Tarefas para Sensores
- TCP – Protocolo da Camada de Transporte
- MAC – Controle de Acesso ao Meio