

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

Clerivaldo José Roccia

**Avaliação de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas à Cultivos de**  
**Milho, Eucalipto e Pinhão**

Limeira, 2011.

07/2011

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação/Tese  
defendida por Clerivaldo José Roccia  
e aprovada através da Comissão Julgadora.  
Data 13/11/11 Orientador: [Assinatura]

Clerivaldo José Roccia

## **Avaliação de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas a Cultivos de Milho, Eucalipto e Pinhão**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia e Inovação

Orientador: Prof. Dr. Francisco José Arnold  
Co-orientador: Prof. Dr. Leonardo Lorenzo  
Bravo Roger

Limeira  
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR SILVANA MOREIRA DA SILVA SOARES –  
CRB-8/3965  
BIBLIOTECA UNIFICADA FT/CTL  
UNICAMP

Unidade 341  
TI/UNICAMP  
Cutter 16.130.2011  
V. 1 Ed.  
Tombo BC 93330  
Proc. 16.130.2011  
C D 1  
Preço R\$ 11,00  
Data 06/12/2011  
Cód. tit. 831361

R581a Roccia, Clerivaldo José, 1973-  
Avaliação de redes de sensores sem fio aplicadas a cultivos de milho, eucalipto e pinhão / Clerivaldo José Roccia. – Limeira, SP : [s.n.], 2011.  
Orientador: Francisco José Arnold.  
Coorientador: Leonardo Lorenzo Bravo Roger.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.  
  
1. Agricultura de precisão. 2. Caracterização.  
3. Desempenho. I. Arnold, Francisco José.  
II. Bravo Roger, Leonardo Lorenzo. III. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Performance evaluation of a wireless sensor network applied to corn crops, eucalyptus and pine nuts

Palavras-chave em inglês (Keywords):

- 1- Precision agriculture
- 2- Characterization
- 3- Performance
- 4- WSNs
- 5- ZigBee technology

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Titulação: Mestre em Tecnologia

Banca examinadora: Francisco José Arnold, Barbara Janet Teruel Mederos, Carlos Henrique da Silva Santos

Data da Defesa: 24-08-2011

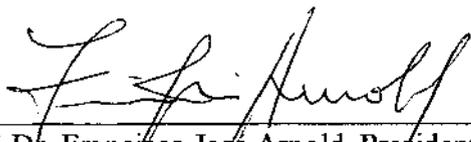
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

**AVALIAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO APLICADAS A CULTIVOS DE MILHO, EUCALIPTO E PINHÃO**

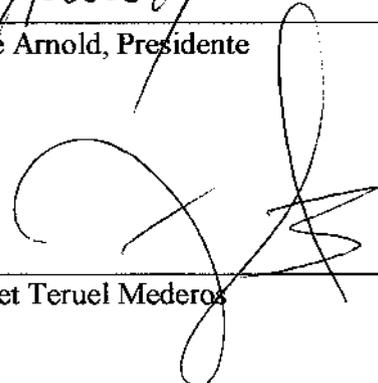
**Autor:** Clerivaldo José Roccia

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



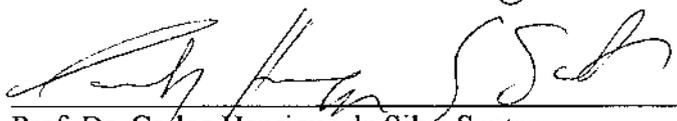
---

Prof. Dr. Francisco José Arnold, Presidente  
FT/ UNICAMP



---

Profa. Dra. Bárbara Janet Teruel Mederos  
FEAGRI/ UNICAMP



---

Prof. Dr. Carlos Henrique da Silva Santos  
IFSP

201107195

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus familiares pelo amor, apoio e compreensão e em especial: aos meus pais Paschoal e Carmen, a minha esposa e companheira Ana Lúcia, as minhas princesas Yasmin e Isabelli, aos meus irmãos, Cláudia, Clair, Claudemir e Clóvis e a memória de meus antepassados.*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo Seu imenso amor, por estar comigo em todos os momentos, por me conceder oportunidades e meios de realizá-las.

Agradeço a minha família por ter me ajudado a superar todos os obstáculos para que eu pudesse concluir este trabalho, em especial a papai e mamãe.

Agradeço a minha esposa Ana Lúcia, pelo amor e carinho, e as minhas princesas Yasmin e Isabelli.

Ao Professor Dr. Francisco José Arnold, meu orientador, a quem aprendi a admirar pelo amor e dedicação com que faz suas atividades cotidianas, por sua enorme paciência, por suas valiosas orientações, apoio e amizade.

Ao Professor Dr. Leonardo L. Bravo Roger, meu co-orientador pelas valiosas orientações, apoio e amizade.

A minha querida amiga Aline Tietz e família, que gentilmente me auxiliou a encontrar os locais para a realização dos testes.

Ao querido amigo Luis Camolesi Junior, por ter acreditado em mim e por ter me apoiado nesta caminhada, a quem sou muito grato.

Ao senhor Ademir Assarice, por permitir a realização dos testes no cultivo de milho e ao senhor Daniel Casagrande por permitir a realização dos testes no cultivo de eucalipto.

A minha querida tia Edimilde Verde e seus familiares pela hospitalidade e por permitir a realização dos testes no cultivo de pinhão.

Aos professores, funcionários e colegas da FT, pelo grato período de convivência, e em especial ao Rodrigo e ao João.

Aos amigos Alberto Martins Junior e Marcos César Ruy pelo apoio e incentivo.

Aos recursos financeiros do projeto FINEP que proporcionaram a aquisição da RSSF para que este trabalho pudesse ser realizado.

A minha querida amiga Elaine Cangussu pelo apoio durante os testes iniciais.

A todos os amigos que ganhei durante este período, e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

*A mente que se abre a uma nova idéia jamais  
voltará ao seu tamanho original.  
Albert Einstein(1879-1955)*

## Resumo

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) são utilizadas, normalmente, em ambientes de difícil acesso tais como vulcões, florestas, caldeiras, agricultura de precisão e gasodutos. As unidades fundamentais dessas redes são os nós sensores que trocam informações e dados usando tecnologia sem fio. Como em qualquer tipo de rede de comunicação, podem ocorrer falhas que prejudiquem a operação da RSSF. Por essa razão, é necessário avaliar as métricas de desempenho da rede para que se estabeleçam condições para instalação das mesmas em ambientes específicos. Este trabalho apresenta a avaliação de uma RSSF, baseada na plataforma IRIS, desenvolvida pela Universidade de Berkeley e distribuída comercialmente pela empresa *Crossbow Technology Inc*, operando no modo de Requisição Resposta (RR) em quatro cenários distintos: campo aberto e cultivos agrícolas de milho, de pinhão e de eucalipto. Esta avaliação tem o objetivo de estabelecer distâncias máximas de separação entre os nós em cada ambiente, mas conservando as condições de operacionalidade da RSSF. O desempenho da rede nestes cenários foi avaliado através das métricas de perda de pacotes, tempo de resposta, consumo de baterias, utilização de largura de banda, consumo de memória e intensidade do sinal de rádio no receptor (RSSI). Nos experimentos foi encontrado que a distância máxima de separação entre os nós na cultura de milho deve ser de 16m, enquanto no pinhão e no eucalipto são de 25,5m e 46m, respectivamente. Os resultados permitem concluir que a densidade da vegetação entre os nós afeta o desempenho das RSSFs.

Palavras-chave: RSSFs, Agricultura de Precisão, Tecnologia ZigBee, Caracterização, Desempenho.

## Abstract

Wireless Sensor Networks (WSNs) are used in tough environments such as volcanoes, forests, boilers, agriculture precision and pipelines. The fundamental units of these networks are sensor nodes that exchange information and data using wireless technology. As with any type of network communication, faults can occur that jeopardize the operation of the WSN. For this reason, it is necessary to evaluate the network performance metrics for aiming to establish conditions for network installation in specific environments. This work presents the evaluation of a WSN-based IRIS platform developed by UC Berkeley and distributed commercially by *Crossbow Technology Inc.* operating in the Request for Response (RR) mode in four different scenarios: an open field and the other scenarios crops of corn, pine nuts and eucalyptus. The network performance in these scenarios was evaluated by metrics such as packet loss, response time, consumption battery, bandwidth, memory consumption and intensity of radio signal receiver (RSSI). In the experiments it was found that the maximum distance separating the nodes in the corn should be 16m, while in pine and eucalyptus were 25,5m and 46m, respectively. The results lead to the conclusion that the density of vegetation between the nodes affects the performance of WSNs.

Keywords: WSNs, Precision Agriculture, ZigBee technology, characterization, Performance.

## Lista de Ilustrações

Figura 3.2.2.1 - Fluxograma da Metodologia empregada.....	18
Figura 3.2.4.1 - Representação da estação de base e do nó sensor posicionados a 0,80m do solo em campo aberto. ....	22
Figura 3.2.4.2 - Estação de base empregada no cenário em campo aberto.....	23
Figura 3.2.4.3 - Ilustração do campo de milho ( <i>Zea mays L.</i> ) localizado na cidade de Charqueada.....	24
Figura 3.2.4.4 - Deslocamento do nó sensor (S1) em relação à estação de base e nó sensor (S2) melhorando a qualidade da área de cobertura através do recurso de multicaminho.....	25
Figura 3.2.4.5 – Estação de base instalada no campo de milho. ....	26
Figura 3.2.4.6 – Nó sensor XM2110 com placa MDA300 instalada cultivo de milho a uma altura de 0,80m do solo. ....	26
Figura 3.2.4.7 - Cultivo de Pinhão-paraguaio ( <i>Jatropha curcas L.</i> ) localizado na cidade de Charqueada-SP. ....	27
Figura 3.2.4.8 – Estação de base instalada no campo de pinhão. ....	28
Figura 3.2.4.9 - Nó sensor XM2110 com placa MDA300 instalado no campo de pinhão a uma altura de 0,80m do solo. ....	28
Figura 3.2.4.10 - Plantio de Eucalipto ( <i>Eucalyptus grandis</i> ) localizado na cidade de Charqueada-SP.....	29
Figura 3.2.4.11 - Estação de base instalada no campo de eucalipto. ....	29
Figura 3.2.4.12 - Nó sensor XM2110 com placa MDA300 instalado no campo de eucalipto a uma altura de 0,80m do solo. ....	30
Figura 4.3.1 - Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância em campo aberto. ....	33
Figura 4.3.2 - Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos em campo aberto. ....	34
Figura 4.3.3 – Utilização da largura de banda durante os experimentos em campo aberto. ....	35
Figura 4.3.4 – Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos de campo	

	aberto.....	36
Figura 4.4.1 -	Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância para o campo de milho. ....	37
Figura 4.4.2 -	Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos no campo de milho. ....	37
Figura 4.4.3 -	Utilização da largura de banda durante os experimentos no cultivo de milho..	38
Figura 4.4.4 -	Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos no cultivo de milho. ....	38
Figura 4.5.1 –	Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância para o campo de pinhão. ....	39
Figura 4.5.2 -	Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos no campo de pinhão.....	40
Figura 4.5.3 -	Utilização da largura de banda durante os experimentos no cultivo de pinhão.	40
Figura 4.5.4 -	Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos no cultivo de pinhão. ....	41
Figura 4.6.1 -	Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância para o campo de eucalipto.....	42
Figura 4.6.2 -	Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos no campo de eucalipto.....	42
Figura 4.6.3 -	Utilização da largura de banda durante os experimentos no cultivo de eucalipto. ....	43
Figura 4.6.4 -	Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos no cultivo de eucalipto. ....	43
Figura 4.8.1 -	Consumo de bateria do XM2110 no modo HP com envios de pacotes a cada 2s. ....	45
Figura 4.8.2 -	Consumo de baterias do XM2110 no modo LP com envio de pacotes a cada 2s. ....	45
Figura 4.9.1 -	Curva comparativa de RSSI nos quatro cenários avaliados. ....	48

## Lista de Tabelas

Tabela 4.1.1 -	Varição da intensidade do sinal RSSI (dBm) em função da variação da altura com distância fixa de 10m entre transmissor e receptor. ....	31
Tabela 4.2.1 -	Distancias máximas obtidas entre transmissor e receptor em função da potência de sinal empregada.....	32
Tabela 4.7.1 -	Consumo de memória <i>RAM</i> e <i>FLASH</i> utilizada pelos programas XMESHBASE (estação de base) e XMDA300 (nó sensor).....	44
Tabela 4.9.1 -	Coeficientes angulares são proporcionais à taxa de variação da RSSI em função da distância.....	48

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ACKNOWLEDGEMENT	Mensagem de confirmação de recebimento de mensagem
AD HOC	Tipo de rede que não possui um nó ou terminal especial
AM	Agentes Móveis
BACKBONE	Seção central de alta velocidade pela qual outros segmentos de rede estão conectados
BEST EFFORT	Melhor Esforço
BIT	Dígito binário
BRIDGE	Interface que conecta segmentos de redes diferentes
BYTE	Conjunto de 8 bits
DBM	É uma abreviatura para a relação potência em decibéis (dB) da potência medida referenciada a um <i>miliwatt</i> (mW)
DOWNSTREAM	Entrega de pacotes da estação de base para o(s) nó(s)
EEPROM	Memória programável eletricamente
EG	Entidade de Gerenciamento
ELP	<i>Extended Low Power</i>
ER	Elemento Gerenciado
ETHERNET	Padrão de redes locais (LAN)
FFDS	<i>Full Functional Devices</i>
FLASH	Memória não-volátil de armazenamento de chips de computador que pode ser apagada e reprogramada eletricamente
GATEWAY	Interface entre a RSSF e o computador
GUARANTEED DELIVERY	Garantia de Entrega
HEALTH PACKET	PACOTE DE GERENCIAMENTO OU SAÚDE
HP	<i>High Power</i>
IEEE	<i>Institute Eletrical and Engineers</i>
IRIS	Plataforma de sensoriamento da <i>Crossbow Technology Inc.</i>
KILOBYTE	Conjunto de 1024 <i>bytes</i>

LOGS	Registros de eventos
LP	<i>Low Power</i>
MANNA	Arquitetura de Gerenciamento de RSSF
MDA100	Placa sensora para o mote XM2110
MDA300	Placa sensora para o mote XM2110
MEMS	Micro-eleto-mecânica
MIB	<i>Management Information Base</i>
MOTE	Módulo de processamento e comunicação sem fios
MULTIHOP	Múltiplos saltos através do enlace
NE	Notificação de Eventos
NESC	Linguagem de programação para o desenvolvimento de Aplicativos para o TinyOS
O-QPSK	<i>Offset Quadrature Phase Shift Keying</i>
OTAP	<i>Over the Air Programming</i>
POE	<i>Power Over Ethernet</i>
POSTGRESQL	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Objeto Relacional de código aberto
QOS	Qualidade de Serviço
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Rádio Frequência
RFDS	<i>Reduced Functional Devices</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RR	Requisição/Resposta
RSSF	Rede de Sensores Sem Fios
RSSI	Intensidade do sinal de RF no receptor
SINGLE HOP	Entrega de pacotes para a vizinhança do nó somente
SNIFFER	Interceptador e analisador de pacotes de redes
SRAM	Memória estática de acesso aleatório
TINYOS	Sistema operacional de código aberto escrito em linguagem NesC, usado em sistemas embarcados como RSSF

TINYSCRIPT	Linguagem de programação do TinyOS
TOSBASE	Baseada nos algoritmos nativos do TinyOS
ULA	Unidade Lógica e Aritmética
UPSTREAM	Entrega de pacotes de um nó para a estação de base
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTP CROSSEVER	Tipo de cabo padrão Ethernet para conectar dispositivos sem a presença dos concentradores de cabos
WHIP	Antena isotrópica monopolo
WINDOWS GUI	Interface gráfica do sistema operacional Microsoft Windows
XM2110	Modelo de mote da plataforma IRIS
XMESHBASE	Código baseado no protocolo de rede desenvolvido pela Crossbow
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
XOTAP	Aplicativo para programação remota dos nós sensores
XSERVE	Aplicação versátil que permite monitorar e gerenciar a RSSF

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	MOTIVAÇÕES.....	3
1.2	OBJETIVOS .....	3
1.3	CONTRIBUIÇÕES .....	4
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	4
2	REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSFs) .....	7
2.1	A TECNOLOGIA DAS REDES E AS CARACTERÍSTICAS DOS NÓS SENSORES .	7
2.2	GERENCIAMENTO DE REDES DE SENSORES SEM FIO .....	9
2.3	APLICAÇÕES DE REDES DE SENSORES SEM FIO NA AGRICULTURA .....	13
3	METODOLOGIA .....	15
3.1	OBJETIVOS DA AVALIAÇÃO .....	15
3.2	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA RSSF .....	15
3.2.1	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	15
3.2.2	AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE RSSF.....	17
3.2.3	MATERIAIS UTILIZADOS NOS TESTES .....	19
3.2.4	DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS .....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1	AVALIAÇÃO DA ALTURA DO NÓ SENSOR NO COMPORTAMENTO DA INTENSIDADE DO SINAL DE RÁDIO - RSSI.....	31
4.2	DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA MÁXIMA DE COMUNICAÇÃO ENTRE TRANSMISSOR E RECEPTOR EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA DE RÁDIO.....	32

4.3	AVALIAÇÃO DA RSSF EM CAMPO ABERTO .....	32
4.4	AVALIAÇÃO DA RSSF NO CULTIVO DE MILHO .....	36
4.5	AVALIAÇÃO DA RSSF NO CULTIVO DE PINHÃO .....	39
4.6	AVALIAÇÃO DA RSSF NO CULTIVO DE EUCALIPTO .....	41
4.7	AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE MEMÓRIA RAM E ROM PELOS PROGRAMAS NOS <i>MOTES</i> .....	44
4.8	DURAÇÃO DAS BATERIAS NOS MODOS DE ENERGIA <i>HIGH POWER E LOW POWER</i> .....	44
4.9	DISCUSSÕES .....	46
5	CONCLUSÃO .....	51
	REFERÊNCIAS .....	53
	APÊNDICE A - ARQUITETURA DA RSSF.....	57
	ANEXO A – INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS PROGRAMAS NA ESTAÇÃO DE BASE E NOS NÓS SENSORES .....	79

# 1 INTRODUÇÃO

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) são redes do tipo *ad hoc* utilizadas, normalmente, em ambientes de difícil acesso tais como vulcões, florestas, caldeiras, agricultura e gasodutos. RSSFs têm aplicações militares, comerciais e científicas (AKYILDIZ et al., 2002) incluindo monitoramento de oceanos, de florestas (SON; HER; KIM, 2006) e de *habitats* biológicos (MAINWARING et al., 2002), aplicações em instrumentação industrial (BULUSU et al., 2004) e em agricultura de precisão (BECKWITH et al, 2004) e (GIACOMIN 2006).

As unidades fundamentais dessas redes são os nós sensores. Estes nós trocam informações e dados usando tecnologia sem fio e, dependendo da configuração da rede e das necessidades de operação, podem se comunicar e se reconfigurar de diferentes formas. Na maior parte dos casos, os nós sensores estão presentes em grandes quantidades e apresentam recursos limitados de *hardware* e *software*. Apesar das limitações inerentes aos nós, também é usual que estes apresentem capacidade para realizar operações de sensoriamento, processamento, armazenamento e controle.

A utilização das RSSFs tem se disseminado nos últimos anos. Isto está sendo alavancado pelo desenvolvimento tecnológico que vem permitindo a concepção de dispositivos e sistemas voltados ao sensoriamento, ao processamento, ao armazenamento e ao controle em condições cada vez mais miniaturizadas, de baixo custo e de menor consumo de energia. Por conta destes aspectos, as redes podem ser disseminadas em aplicações em ambientes restritos, perigosos e inóspitos.

Assim com em qualquer tipo de rede de comunicação, falhas no funcionamento dos nós podem comprometer a operação da RSSF (MILLER et al, 2005). Isso implica que, naturalmente, as RSSFs necessitem de algum tipo de gerenciamento para mantê-la em funcionamento por longo tempo e para que o uso de seus recursos seja despendido de forma racional.

Para se estudar e controlar o comportamento da RSSF é necessário escolher uma

abordagem que defina a operação da rede. Algumas abordagens são utilizadas no gerenciamento de RSSFs tais como agentes móveis (AM), requisição/resposta (RR) e notificação de eventos (NE). As duas últimas são as mais comuns em aplicações em agricultura, pois as condições de instalação em culturas em geral não incluem a mobilidade dos nós. Neste trabalho foi escolhida a abordagem requisição/resposta (RR).

Neste tipo de abordagem, os gerentes requisitam as informações aos elementos da rede (agentes), que retornam respostas com as informações solicitadas. Caso necessário, os gerentes enviam mensagens de atribuição para alterar parâmetros dos elementos gerenciados (SILVA, 2006).

A adoção da abordagem RR é baseada na vantagem de que o processo do elemento gerenciado e o protocolo de comunicação são simples quando comparados com outras abordagens. Em contrapartida, tem-se como desvantagem o tráfego intenso de dados nas proximidades do gerente durante o processo de requisições e respostas. Essa desvantagem causa o consumo extra de recursos da RSSF, tendo-se em vista que mesmo aqueles agentes que não sofreram modificações de valores ou que sofreram modificações irrelevantes no contexto geral da aplicação, respondem às requisições dos gerentes. Mudanças nos protocolos de rede e nos softwares de gerenciamento podem corrigir essa característica pela seleção dos nós que serão requisitados, preservando os recursos da rede quanto ao consumo de baterias e utilização da largura de banda.

Nesta dissertação é apresentado um estudo sobre o comportamento de uma RSSF em cenários de cultivo agrícola. Uma metodologia para avaliar uma RSSF com abordagem RR foi desenvolvida e comparada com os resultados colhidos em um cenário de campo aberto. Este estudo foi realizado utilizando-se as seguintes métricas de gerenciamento: consumo de energia, largura de banda, tempo de resposta, perda de pacotes, requisitos de memória e intensidade do sinal no receptor (RSSI). Os resultados obtidos permitiram estimar o comportamento de uma RSSF em aplicações de agricultura e avaliar a sua viabilidade neste tipo de cenário.

## **1.1 MOTIVAÇÕES**

RSSF é um tema de intensa atividade de pesquisa atualmente (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008) com trabalhos voltados ao estudo de diversos problemas próprios deste tipo de rede, tais como técnicas de gerenciamento adequadas, projetos de protocolos específicos e ampliação da capacidade dos nós sensores aliados a redução de custo e tamanho destes últimos.

Utilizar RSSFs para coletar informações de variáveis do campo já foi tema de estudo em outros trabalhos (GIACOMIM, 2007; PODEROSO 2009). Uma das aplicações das RSSF em campo mais importantes encontra-se na agricultura.

No Brasil a utilização de RSSF na agricultura ainda é tímida. Especialmente em culturas com alto valor agregado e maior sensibilidade às variações ambientais, o uso de RSSF permite um controle maior da evolução da cultura. Tendo em vista que os custos para instalação e manutenção das RSSFs estão se reduzindo a cada ano, a massificação das mesmas pode contribuir para produção de maior qualidade e mais lucrativa.

A utilização de RSSFs em culturas agrícolas pode, portanto, representar um avanço tecnológico que contribua para a melhoria da qualidade dos produtos e gere ganhos econômicos para o produtor e para a indústria.

Aplicar a abordagem de gerenciamento RR em cultivos diferentes permitiu avaliar o comportamento de uma RSSF neste tipo de ambiente e forneceu argumentos importantes quanto a sua utilização.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o comportamento de uma RSSF que opere no

modo Requisição/Resposta (RR) sob condições ambientais, típicas de algum tipo de cultivo agrícola. Pretende-se identificar e associar ao tipo de cultura, distâncias adequadas para a instalação de nós sensores, visando viabilizar, de forma particular, um desempenho satisfatório das RSSFs, segundo um conjunto de métricas de avaliação.

### **1.3 CONTRIBUIÇÕES**

As principais contribuições deste trabalho relacionam-se a metodologia para projetos de RSSFs em culturas agrícolas e são elencadas a seguir:

- Avaliação de uma RSSF sob a abordagem de gerenciamento RR em algum tipo de cultivo;
- Levantamento dos aspectos que devem ser considerados pelos projetistas de RSSF quando utilizarem o gerenciamento em RSSFs no modo RR em culturas agrícolas;
- Identificação de procedimentos a serem seguidos quando da implantação de RSSF que operem no modo requisição/resposta em algum tipo de cultivo agrícola.
- Avaliação do comportamento da rede sob o ponto de vista de métricas de gerenciamento em condições reais de empregabilidade dos nós sensores.

O estudo desses pontos deve desencadear outras investigações que poderão subsidiar novos trabalhos de pesquisa.

### **1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Na seção 2 são descritas as condições tecnológicas atuais das RSSFs e suas aplicações. Nas subseções 2.1, 2.2 e 2.3 as características das redes de dos nós sensores, as abordagens de gerenciamento das RSSF e as aplicações em agricultura.

Na seção 3 é discutida a metodologia de avaliação deste trabalho. Estão incluídos nesta seção os objetivos da avaliação (subseção 3.1) e procedimentos sobre a determinação das métricas consideradas nos ambientes de estudo (subseção 3.2).

Na seção 4 são apresentados os resultados e discussões dos experimentos realizados em campo e na seção 5 a conclusão do trabalho é apresentada.

Na seção 6 é descrita a bibliografia usada para embasar este trabalho. As características da RSSF empregada neste trabalho, bem como as configurações utilizadas são apresentadas no Apêndice A e no Anexo A, respectivamente.



## 2 REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSFs)

### 2.1 A TECNOLOGIA DAS REDES E AS CARACTERÍSTICAS DOS NÓS SENSORES

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) *ad hoc* tem sido tema de muitos trabalhos na comunidade científica nos últimos (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008). Esta aceleração se verificou, principalmente, a partir da publicação dos padrões 802.11a/b/g de redes sem fio pela IEEE (*Institute Electrical and Engineers*) no final dos anos 90 e foram associados aos avanços da micro-eletrônica e computação. Neste contexto, as RSSFs, devido ao seu largo potencial de aplicações tecnológicas, ganharam especial atenção.

Um dos pontos de grande evolução se vincula a tecnologia de micro-eleto-mecânica (MEMS), eletrônica digital e comunicação sem fio que permitiram o desenvolvimento de pequenos dispositivos chamados de nós sensores ou simplesmente nós.

Nós sensores possuem características intrínsecas como baixo custo, baixo consumo de energia, não possuem restrições de comunicação em distâncias curtas e são multifuncionais. Possuem capacidade de processamento e armazenamento de dados, pois são dotados de micro-processadores e memórias RAM (*Random Access Memory*) e ROM (*Read Only Memory*). Trabalhando de maneira colaborativa, os nós sensores podem monitorar e até controlar grandes áreas. Uma característica única das RSSFs é o esforço cooperativo de nós sensores, que localmente pré-processam os dados coletados e envia-os para os nós responsáveis pela fusão desses dados (CULLER; ESTRIN; SRIVASTAVA, 2004).

Os desenvolvedores de RSSFs como a Universidade de Berkeley, por exemplo, denominam nó sensor ao conjunto formado por uma placa sensora (MDA300, por exemplo) conectada a um módulo de processamento e comunicação sem fios. Este módulo de processamento e comunicação sem fios é denominado *mote*, e pertence a uma plataforma de sensoriamento (*mote XM2110* pertencente à plataforma IRIS, por exemplo). O termo *mote* em inglês significa grão de

poeira ou partícula de pó, e expressa o conceito geral de RSSFs: milhares de nós sensores formando uma nuvem de sensores, trabalhando cooperativamente com o objetivo de coletar e fornecer informações da região monitorada.

RSSFs são compostas de um grande número de nós sensores que são densamente implantados nos ambientes em que um dado fenômeno está sendo avaliado. O posicionamento dos nós sensores não precisa ser projetado ou pré-determinado. Isto permite a implantação aleatória em terrenos inacessíveis ou inóspitos. Por outro lado, isso também significa que os protocolos e algoritmos de rede de sensores devem possuir capacidade de auto-organização. O nós sensores utilizam comunicação em saltos (*multihop*) visando reduzir o consumo de energia para esta atividade.

Os protocolos e algoritmos tradicionais usados em redes sem fio tradicionais *ad hoc*, não são adequados para RSSFs, haja vista que as características e propostas de aplicações são diferentes. Portanto é preciso reescrevê-los e adequá-los as condições restritas somente encontradas neste tipo de rede.

Para ilustrar as diferenças existentes entre esses dois tipos de rede, são listados a seguir alguns pontos importantes (PERKINS, 2000; BOUKERCHE, 2009):

- O número de nós sensores em uma RSSF pode ser várias ordens de grandeza superior do que os nós em uma rede *ad hoc*.
- Nós sensores são densamente implantados na região monitorada.
- Nós sensores estão propensos a falhas.
- A topologia de uma rede de sensores sofre mudanças muito frequentemente.
- A comunicação entre os nós sensores é feita ponto a ponto por difusão.
- Os nós sensores possuem limitações de computação e de memória.
- Os nós sensores podem não ter identificação global (ID) por causa do grande número de nós e da quantidade de sobrecarga oriunda do processo de identificação.

## 2.2 GERENCIAMENTO DE REDES DE SENSORES SEM FIO

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) possuem características intrínsecas e fortemente ligadas à aplicação e que impedem que as estratégias de gerenciamento utilizadas em redes sem fio e *ad hoc* possam ser empregadas no gerenciamento de RSSFs.

De uma maneira geral, as redes sem fio e *ad hoc* são projetadas para suportar uma enorme gama de aplicações e serviços, sua topologia é conhecida, as estratégias de gerenciamento são claras, a realização da configuração e manutenção da rede é planejada e executada por técnicos seguindo normas pré-estabelecidas, entre outras.

No caso das RSSFs o cenário é um pouco diferente. As RSSFs são projetadas para um funcionamento não assistido. A configuração da rede deve ser autônoma, ou seja, os nós sensores uma vez depositados na região monitorada devem se auto-configurar e se auto-organizar. Falhas por indisponibilidades dos nós por um período ou definitivamente (os nós podem ser descartados, perdidos, destruídos ou ter sua fonte de energia esgotada) são comuns e a manutenção é impraticável tendo em vista a quantidade de nós que pode chegar a centenas e milhares. Outros fatores como variação de temperatura e umidade podem afetar o funcionamento dos nós e acarretar um mau funcionamento de forma parcial e até total da rede. Por essas razões existe a necessidade de utilização de novas abordagens de gerenciamento especialmente elaboradas para RSSFs.

Ruiz et al. (2003) desenvolveram uma proposta pioneira de arquitetura de gerenciamento chamada MANNA. Essa arquitetura tem como objetivo principal, oferecer soluções integradas de gerenciamento de RSSF, através da provisão de uma lista de serviços e funções de gerenciamento, independentes da tecnologia adotada pela rede. A definição de um serviço requer a identificação de quais funções serão executadas, com quais informações, em que momento e em que condições. Pela seleção e execução de conjuntos de serviços, adequados à determinada aplicação, é que efetivamente consegue-se gerenciar a rede.

Outros trabalhos sobre gerenciamento de RSSFs são encontrados na literatura. (KUMAR; ASERI; PATEL, 2009), propõem o gerenciamento eficiente de energia dos nós através do protocolo chamado EEHC que é baseado no uso de clusters. Em (LU et AL, 2008), o gerenciamento de chaves criptografadas é empregado buscando implementar segurança em RSSFs.

A literatura sugere algumas abordagens de gerenciamento de RSSFs tais como Agentes Móveis (AM), Requisição/Resposta (RR) e Notificação de Eventos (NE) (Silva, 2006). A seguir são descritas de forma sucinta essas abordagens.

A Abordagem de Gerenciamento por Agentes Móveis (AM) usa códigos de gerenciamento que migram da entidade de gerenciamento (EG) da rede para os elementos gerenciados (ER), e nestes, executam processamento local dos dados. A idéia básica de AM é migrar o código para os nós, realizar o processamento dos dados e depois encaminhar os dados já processados para a (ER). Dessa forma, o tráfego da rede tende a diminuir tendo em vista que dados redundantes e imprecisos são descartados. Levis e Culler (2002) sugerem a implementação de AMs através do sistema operacional TinyOS. Usando uma linguagem própria, o TINYSCRIPT, informações de gerenciamento são enviadas da EG para os ERs.

Na Abordagem de Gerenciamento Requisição / Resposta (RR), a entidade de gerenciamento (Gerente) envia periodicamente mensagens de requisição aos elementos gerenciados (Agentes). Os agentes recebem a requisição, recuperam as informações solicitadas em sua base de dados local, embutem essas informações em uma mensagem (resposta) e a envia para o Gerente. O Gerente recebe a resposta, realiza processamento e análise dessa resposta e toma as decisões necessárias relativas ao gerenciamento, que muitas vezes podem ser ajustes e configurações de parâmetros dos Agentes.

Notificação de Eventos é outra Abordagem de Gerenciamento bastante utilizada em RSSFs. Nesta abordagem, quando a rede entra em atividade, todos os elementos gerenciados enviam para a entidade de gerenciamento, parâmetros de seu estado atual. Toda vez que algum parâmetro ultrapasse limites pré-estabelecidos os agentes enviam uma mensagem ao gerente com essas

informações. Assim como na Abordagem RR, o gerente recebe a mensagem, realiza o processamento e análise do conteúdo dessa mensagem e se necessário envia mensagens contendo os ajustes pertinentes.

Independente da abordagem que seja adotada, sempre a entidade de gerenciamento precisará de alguma forma conhecer a situação dos elementos gerenciados, para que as atividades de gerenciamento possam ser executadas.

Nessas atividades de gerenciamento são usadas métricas que permitem a entidade de gerenciamento selecionar as ações mais adequadas para manter a rede funcional com qualidade dos serviços suportados. Dentre essas métricas podemos citar consumo de energia, largura de banda, tempo de resposta, perda de pacotes, requisitos de memória e intensidade do sinal no receptor. A seguir, são descritas essas métricas.

Os elementos da rede permanecem em funcionamento enquanto houver energia. Em função das restrições de *hardware* impostas aos nós sensores, essa energia é limitada e finita. Além disso, tendo em vista a grande quantidade de nós sensores e seus respectivos posicionamentos na área monitorada, a substituição ou reposição de energia é uma hipótese remota. Gerenciar o consumo de energia permitirá racionalizar o consumo de energia aumentando o tempo de funcionamento da rede.

A largura de banda estabelece o valor máximo (em *bits* por segundo) de informação que pode ser trafegado por um canal de comunicação. O tráfego de informações entre os elementos da rede está limitado pela largura de banda disponível e consome certa quantidade dessa banda. Assim, medir a banda utilizada pelos elementos da rede, e ainda, identificar a distribuição do uso dessa banda, permitirá adotar estratégias de gerenciamento visando o uso equilibrado da banda disponível.

A comunicação entre os elementos da rede é realizada por meio do envio de pacotes de dados entre esses elementos. O parâmetro “perda de pacotes” indica a quantidade de pacotes que se perderam durante a transmissão entre dois pontos da rede. Vários fatores podem causar a perda

de pacotes. Por exemplo, em uma região monitorada, quando mais de um elemento da rede simultaneamente tenta transmitir informações, ocorre o que se chama de “colisões”. As colisões causam perda de pacotes e provocam o reenvio dessas informações. Se a quantidade de pacotes perdidos for muito grande, a comunicação pode ficar extremamente comprometida. Avaliar essa métrica permitirá descobrir em quais pontos da rede está ocorrendo um alto número de pacotes perdidos e evitar consumo extra de recursos em função do reenvio desses pacotes de dados.

Tempo de resposta indica o tempo gasto para que as funções de gerenciamento sejam executadas uma única vez. Na abordagem RR, isso significa a quantidade de tempo despendida para enviar as requisições a todos os elementos gerenciados e receber as respectivas respostas. O tempo de resposta está intimamente ligado a perda de pacotes. Quanto maior for o índice de pacotes perdidos, maior será o tempo de resposta.

Os nós sensores possuem muitas restrições, dentre elas a capacidade de armazenamento. As abordagens de gerenciamento requerem certas quantidades de memória para sua operação. A identificação da quantidade de memória necessária para as operações de gerenciamento, bem como para as próprias atividades de sensoriamento, é fundamental.

O caminho de envio de mensagens entre os elementos da rede é traçado dinamicamente com base na métrica RSSI (intensidade do sinal de rádio no receptor). Essa métrica indica o nível de sinal de rádio percebido por um nó sensor em relação a outro nó vizinho. Os nós sensores mantêm uma tabela de roteamento baseada nos níveis de RSSI dos nós vizinhos. Aqueles nós vizinhos com maior nível de RSSI são eleitos preferencialmente para a troca de mensagens entre os nós. Se o valor de RSSI for muito baixo, o nó sensor terá que procurar por novas rotas (outros nós para se comunicar) para enviar informações. Isso reflete nas outras métricas já citadas nesta seção. A ausência de nível de sinal causa a interrupção da comunicação naquele nó sensor. Isso repercute também na topologia da rede, sendo esta última dinamicamente alterada em função da variação do nível de RSSI. Ocorre também, uma diminuição do RSSI à medida que a separação dos nós aumenta. Então, estudar esta métrica é fundamental para o entendimento do comportamento da rede, tanto para determinar a localização ideal dos nós sensores no ambiente monitorado, quanto para avaliar o seu efeito nas outras métricas tais como perda de pacotes,

consumo de energia, tempo de resposta e largura de banda.

### **2.3 APLICAÇÕES DE REDES DE SENSORES SEM FIO NA AGRICULTURA**

Para o desenvolvimento de algum tipo de cultivo, a agricultura tradicional encara a região do plantio como sendo uniforme, ou seja, não faz distinções das diferentes características ambientais encontradas nessas regiões.

Assim, são coletados dados de diversos pontos da região do cultivo, calcula-se um valor médio para essas características e utiliza-se esse valor como referência geral para toda essa região (SARAIVA, 2003).

A Agricultura de Precisão é um novo paradigma de cultivo, cujo conceito está relacionado com as variações temporais e espaciais da área de plantio, e tem como meta, a aplicação de insumos de acordo com as necessidades e características do talhão (CRUZ JÚNIOR, 2002).

Para aprimorar as condições de colheita e conseqüente aumento de qualidade e produtividade dos produtos, são adotadas estratégias de monitoramento e controle em aplicações agrícolas, usando Agricultura de Precisão (MATESE et al, 2009).

O uso de ferramentas de tecnologia e de sensores é imprescindível para obter e manipular dados do campo. RSSFs têm se mostrado uma tecnologia bastante interessante na agricultura de precisão que tem como finalidade a aplicação localizada de insumos, baseada em informações sobre a variabilidade da área de cultivo (CUGNASCA, 2002; MCCULLOCH et al, 2008)

Com RSSFs é possível realizar o monitoramento em tempo real e remoto, além de prover flexibilidade e facilidade de configuração dos elementos da rede. Neste sentido, o uso da tecnologia (entre essas as RSSFs) se mostra fundamental para o apoio da tomada de decisões (CUGNASCA, 2002)

A tecnologia de RSSF pode ser utilizada na construção de mapas de gerenciamento de informações que podem ser correlacionadas com mapas de colheita para se descobrir fatores geradores de maior produtividade em determinadas áreas de cultivo. (CAMILLI, 2004).

RSSFs podem também ser utilizadas em casas de vegetação, realizando o sensoriamento em tempo real de características como temperatura e umidade, dentro da própria casa de vegetação (GONDA; CUGNASCA; CAMILLI, 2005).

Entre os trabalhos encontrados na literatura sobre o uso de RSSFs na agricultura, podemos citar (GIACOMIN, 2007). Neste trabalho uma RSSF é utilizada para estimar o volume de água contido na vegetação de uma cultura de milho. Alguns pares de nós sensores são distribuídos em uma região do campo agrícola, considerada uniforme, de maneira a se obter um valor representativo médio das características da vegetação daquela região. Este valor é então usado para a tomada de decisões mais acertadas.

As características descritas até aqui, garantem uma ampla gama de aplicações para RSSFs na agricultura. Todavia, essas redes podem ser utilizadas também em outras aplicações como, por exemplo, nas áreas militar, da saúde, de controle ambiental, em locais que ofereçam periculosidade, entre outras. Essa diversidade amplia o potencial de pesquisas e desenvolvimento tecnológico dessas redes e gera, cada vez mais, novas possibilidades de investimento para o futuro.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 OBJETIVOS DA AVALIAÇÃO**

O objetivo geral do trabalho é avaliar o desempenho de uma RSSF em cenários de cultivo agrícola.

Para avaliar a RSSF, primeiramente foi empregado um cenário de campo aberto, livre de obstáculos, a fim de estabelecer parâmetros de comparação. O trabalho de (CABRINI, 2006) foi utilizado como referência para a configuração espacial dos motes nesta fase inicial dos experimentos em campo aberto.

A partir disso, foram utilizados outros cenários de cultivo agrícola, com características particularmente escolhidas, a fim de compreender o comportamento dessas redes tão dependentes da aplicação. Foram definidos procedimentos e realizadas medições para avaliar o conjunto de métricas mencionado na introdução deste trabalho. Todos os experimentos foram repetidos três vezes. Para efeito de análise dos resultados foram considerados os valores médios referentes a cada experimento.

### **3.2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA RSSF**

#### **3.2.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

A análise de desempenho de uma RSSF pode ser feita utilizando modelagem matemática (QUINTÃO et al., 2004), simulação computacional (KARIR, 2003) ou experimentação real e funcional (CABRINI, 2006).

Ao se utilizar o processo de modelagem matemática, detalhes essenciais para a análise são abstraídos. Assim, embora os resultados sejam precisos diante das características consideradas no modelo, para efeito de análise deixam muitas lacunas.

A análise por simulação permite a inclusão de muitos detalhes importantes que devem ser considerados no modelo. Entretanto, quanto maior a riqueza de detalhes do modelo de simulação, maior será o tempo para processamento. Essa questão pode ser atenuada com o uso de ambientes de computação paralela e distribuída.

O processo de experimentação deve ser considerado caso o sistema a ser avaliado já exista, caso contrário, utiliza-se um protótipo, que é uma simplificação do sistema real. Nesse caso, existem padrões a serem seguidos que referenciam a avaliação de comportamento do sistema com base nas informações extraídas. Além disso, para realizar medições e comparações de sistemas reais é necessário um profundo conhecimento de técnicas pertinentes ao processo de maneira que não ocorram interferências nessas medidas.

Diante deste quadro, a avaliação do desempenho de RSSFs é feita normalmente usando-se uma metodologia mista de simulação computacional e experimentação real e funcional. As restrições de custo para se realizar as experimentações em redes reais contendo centenas de nós sensores, em muitos casos, conferem vantagem ao uso de processos de simulação, tendo em vista que é possível confeccionar modelos mais complexos e obter resultados mais próximos da realidade. Aspectos ligados a escalabilidade e a topologia da rede são viáveis para consideração em análise somente em ambientes de simulação. Por outro lado, a utilização deste processo de simulação também abstrai detalhes da realidade e, dependendo do cenário construído e das características da programação, pode oferecer mais desvantagens do que benefícios.

A avaliação do desempenho de RSSFs requer ferramentas de simulação adequadas e que sejam escaláveis a um grande número de nós sensores. Na literatura são encontradas algumas ferramentas de simulação como Network Simulator (NS-2) (FALL; VARADHAN, 2001), o Atemu (KARIR, 2003) e SimulAVR (ROTH, 2001), entre outros.

Neste trabalho a avaliação das métricas de desempenho de uma RSSF foi feita exclusivamente sob experimentação real. Isso se deve ao fato de que o *kit* de RSSF *Crossbow Technology Inc* utilizado é muito rico em recursos, os quais permitem medir as métricas de interesse e previstas nos objetivos do trabalho. Uma completa descrição deste kit é apresentada no Apêndice A.

### **3.2.2 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE RSSF**

A avaliação da rede por experimentação foi realizada em quatro cenários diferentes. Primeiramente foi utilizado um cenário de campo aberto, o mais livre possível de interferências. A avaliação neste cenário tem como objetivo principal, estabelecer os parâmetros de referência, tais como alcance máximo do enlace de comunicação em função da potência de sinal de transmissão e altura mais adequada dos nós sensores. Com base na metodologia empregada no cenário em campo aberto e nos resultados obtidos, a rede foi avaliada em outros três cenários: um cultivo de milho, um cultivo de pinhão e um cultivo de eucalipto. O cenário em campo aberto serviu como referência para a avaliação das demais culturas.

Na seção 3.2.3 são descritos em detalhes os materiais utilizados nos testes realizados e na seção 3.2.4 são descritos os quatro cenários já citados nesta seção bem como os testes realizados em cada um deles. Para os testes de consumo de baterias foi utilizado um ambiente *indoor* e os detalhes são descritos na seção no final da seção 3.2.4.

A Figura 3.2.2.1 apresenta um fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.

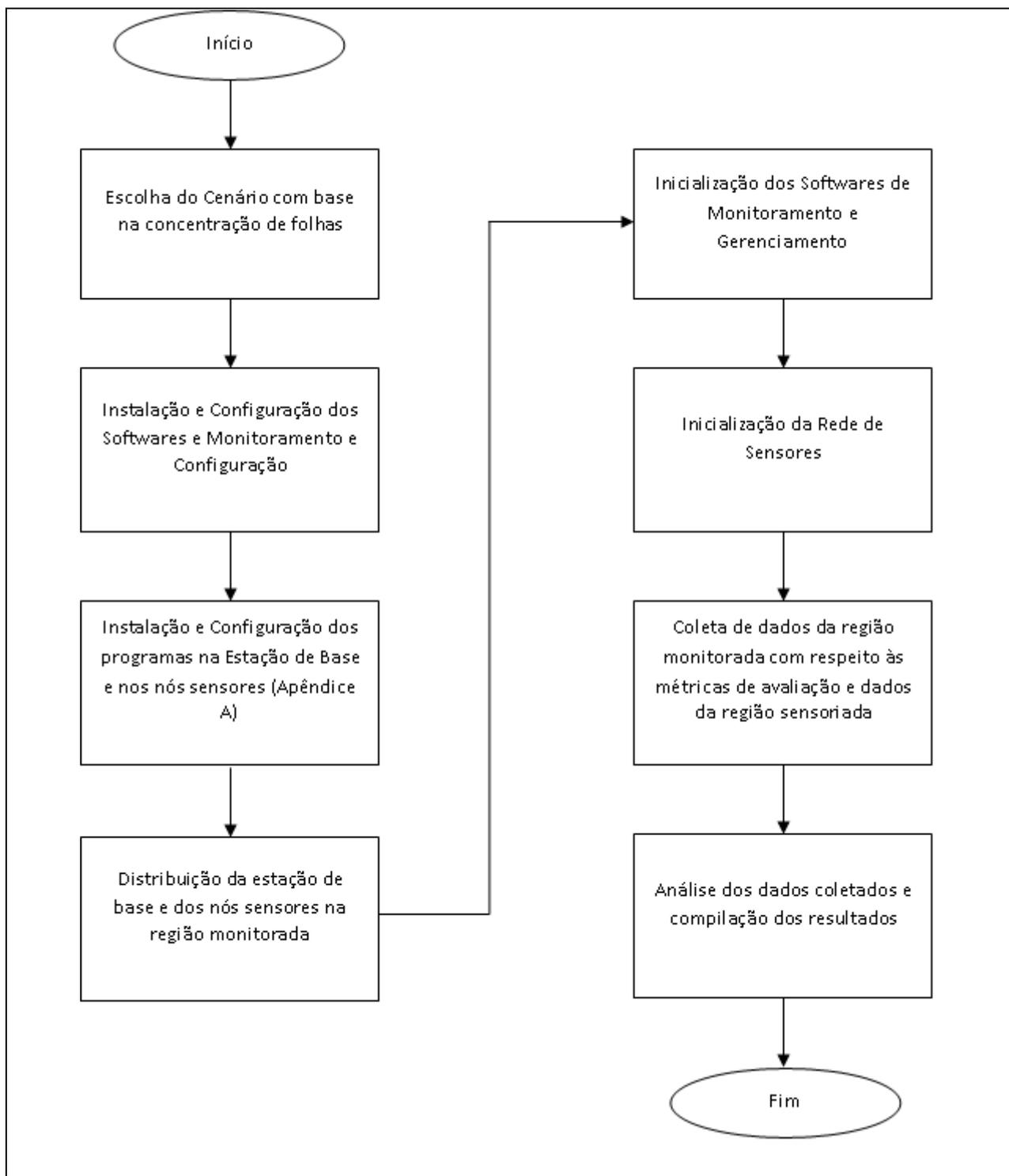


Figura 3.2.2.1 - Fluxograma da Metodologia empregada.

### **3.2.3 MATERIAIS UTILIZADOS NOS TESTES**

Foram utilizados para teste de campo aberto, dois laptops executando sistema operacional Microsoft Windows XP, um laptop executando o MOTEVIEW 2.0, o MOTECONFIG 2.0 e o banco de dados POSTGRESQL 8.0, e o outro laptop, executando o XSNIFFER 1.0, e ainda, três motes configurados. Os procedimentos para instalação e configuração desses aplicativos são apresentados no Anexo A.

Um mote XM2110 foi configurado com uma aplicação pré-compilada do XSNIFFER 1.0 compilada para a plataforma IRIS M2110. Este mote foi instalado através do conector de 51 pinos na placa de aquisição MIB520 e esta ligada pela conexão USB a um laptop que estava executando o XSNIFFER 1.0.

Um segundo mote XM2110 foi configurado com uma aplicação pré-compilada para operar como estação de base na plataforma IRIS M2110. Este mote foi instalado na placa de aquisição MIB600 e esta ligada pela conexão Ethernet a outro laptop que estava executando o MOTEVIEW 2.0. E um terceiro mote XM2110, conectado ao sensor MDA300CA, foi configurado com uma aplicação pré-compilada para operar como nó sensor, medindo temperatura e umidade.

Para os testes realizados nos cultivos de milho, pinhão e eucalipto, foi utilizado um quarto mote desempenhando a função de nó sensor, para avaliar a condição multicaminho. Para a fase de extração e compilação dos dados foi utilizada a suíte de aplicativos Microsoft Office 2007.

### **3.2.4 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS**

Na cidade de Piracicaba-SP, um campo aberto serviu de cenário para realização de testes de alcance máximo com visada direta entre dois nós sensores. O ambiente do campo aberto não possuía obstáculos entre o nó sensor e a estação de base, sendo considerado adequado para a

realização dos testes.

O teste inicial com a RSSF procurou avaliar se a variação da altura em que o nó é posicionado afeta a intensidade do sinal de rádio no receptor (RSSI). Esse teste é importante no sentido de auxiliar os testes futuros quanto à altura mais adequada dos nós sensores, haja vista que a diminuição da intensidade de sinal pode afetar o comportamento da rede em relação às outras métricas estudadas neste trabalho tais como perda de pacotes, tempo de resposta, largura de banda e consumo de bateria. A importância da determinação dessa altura relaciona-se com o conceito de Zona de Fresnel (HAYKIN; MOHER, 2008).

O conceito da Zona de Fresnel baseia-se em elipses imaginárias concêntricas ao redor da linha de visada entre dois pontos de comunicação eletromagnética. A região dessas elipses define áreas em que a propagação se dá sem interferências.

O raio da primeira zona de Fresnel do enlace pode ser calculado por equação (3.2.4.1).

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (3.2.4.1)$$

onde:

$r_1$  é o raio da primeira Zona de Fresnel do enlace (m);

$\lambda$  é o comprimento de onda correspondente a frequência central de operação (Para 2483,5 MHz, o comprimento de onda é de 0,125m);

$d_1$  e  $d_2$ , são as distâncias desde o transmissor e o receptor, respectivamente, até o ponto onde se deseja calcular o raio da primeira zona de Fresnel (m).

O ideal é que a linha imaginária que define a primeira zona de Fresnel não cruze com nenhum obstáculo, nem mesmo a superfície terrestre. Isto significa que as antenas devem ser posicionadas em locais mais elevados. Na prática, é suficiente que aproximadamente 57,7 % do raio da primeira zona esteja livre de obstrução, sendo que essa condição consegue-se para alturas

de antenas maiores o iguais que  $0,577r_1$ . Tomando a condição em que  $d_1=d_2$ , por ser o ponto que o raio é maior, escolhendo-se uma distância de enlace de 60 m para o enlace, as alturas das antenas de ambos os nós resultam ser 0,77669 m, para uma frequência de operação de 2483,5 MHz. Na prática, as antenas foram situadas a 80 cm de altura.

O transmissor e o receptor foram posicionados a uma distância de 10m entre eles. O receptor foi posicionado a uma altura de 0,80m e o transmissor assumiu quatro alturas, sendo 0m, 0,80m, 1,5m e 2m, respectivamente. A potência do sinal empregada foi de 3dBm, que é a potência máxima de transmissão permitida para estes motes. O transmissor permaneceu em cada altura por um tempo de 10 minutos, de maneira que o software de monitoramento Moteview 2.0 pudesse oferecer uma leitura de 5 valores médios, que são obtidos a cada 2 minutos.

Outro experimento realizado com a RSSF em campo aberto procurou determinar o alcance máximo de comunicação entre transmissor e receptor. Os nós sensores foram configurados inicialmente com potência de sinal de 3 dBm e modo de energia HP, sem preocupação com o consumo de energia. Tomou-se como referência para posicionamento de altura dos nós o valor igual a 0,80m, já demonstrado teoricamente através do conceito de Fresnel e confirmado no experimento inicial com a variação das alturas do transmissor, e que demonstrou ser uma altura satisfatória.

O transmissor foi posicionado, inicialmente junto ao receptor tomando-se este valor como sendo distância igual a 0m. A rede foi iniciada e monitorada por 2 minutos. A partir disso, o transmissor foi sendo deslocado de 5m em 5m em relação ao receptor que permaneceu fixo durante todo o teste. A cada nova posição assumida pelo transmissor, permaneceu-se nesta posição por 2 minutos, tempo necessário para o Moteview contabilizar as métricas de avaliação da rede. Esse procedimento foi repetido até se alcançar uma distância em que a comunicação fosse interrompida. Neste experimento, as métricas perda de pacotes, tempo de resposta, RSSI e quantidade de retransmissões foram determinadas.

Em seguida, a potência dos nós foi configurada para -17,2 dBm, o mesmo procedimento utilizado para a potência de 3 dBm foi empregado, modificando-se agora, os deslocamentos, de

1m em 1m, até a comunicação ser interrompida. Então o alcance máximo de comunicação foi registrado. E novamente, os nós foram configurados para as potências de -12,2dBm, -9,2dBm e -7,2dBm e seus respectivos alcances máximos foram determinados. Com exceção da potência máxima de 3dBm, onde todas as métricas foram avaliadas, para as demais potências procurou-se determinar simplesmente o alcance máximo de comunicação. A Figura 3.2.4.1 exibe o esquema de posicionamento da estação de base e do nó sensor em campo aberto, e a Figura 3.2.4.2 ilustra a estação de base utilizada neste teste.

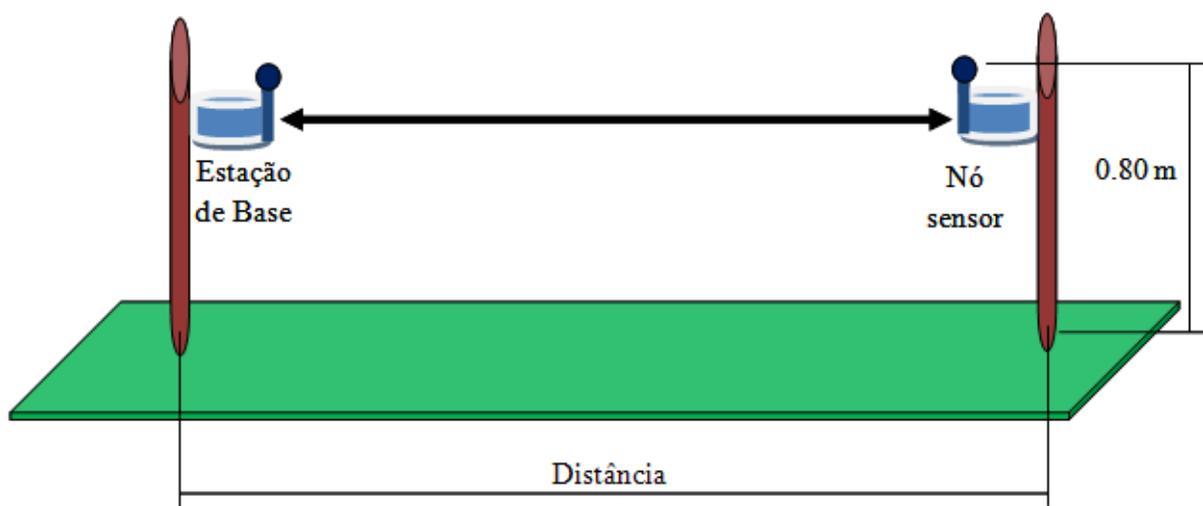


Figura 3.2.4.1 - Representação da estação de base e do nó sensor posicionados a 0,80m do solo em campo aberto.



Figura 3.2.4.2 - Estação de base empregada no cenário em campo aberto.

Após a realização dos testes em campo aberto, partiu-se para testes em cultivos de milho (*Zea mays L.*). Neste segundo cenário, um terreno que ocupava uma área de 30 x 100m, foi instalada a rede de sensores sem fios, com o objetivo de analisar o comportamento da rede neste tipo de ambiente. As plantas tinham 2,5m de altura estimada, todas adultas já em fase próxima da colheita. As plantas estavam dispostas em fileiras espaçadas em 0,20m e 0,50m no sentido longitudinal e 0,70m no sentido transversal. O tipo de milho era o AG-1051, que é um híbrido destinado a produção de milho verde e pamonha, em função de suas características de grande massa verde e de alta digestibilidade (AGUIAR et al., 2009). Esta área estava localizada no município de Charqueada-SP, com coordenadas 22°30'S e 47°46'O. A Figura 3.2.4.3 ilustra o campo de milho utilizado para a realização dos testes.



Figura 3.2.4.3 - Ilustração do campo de milho (*Zea mays L.*) localizado na cidade de Charqueada.

Neste campo de milho, foi realizado um primeiro experimento que procurou determinar o alcance máximo de comunicação entre transmissor e receptor e avaliar o comportamento da RSSF neste ambiente.

A estação de base foi fixada em uma estaca na altura de 0,80m e o *mote* operando como analisador de pacotes (programa que captura pacotes trafegando na rede) de rede logo abaixo, na mesma estaca. O nó sensor foi preso em uma estaca ou em uma planta, também a uma altura de 0,80m e foi posicionado no sentido diagonal do terreno (EB e S1 na Figura 3.2.4.4), de maneira que a densidade de plantas entre o nó sensor e a estação de base fosse à maior possível. Em seguida, o nó sensor foi sendo deslocado de 1m em 1m em relação à estação de base e em cada nova posição, permaneceu por 2 minutos. Esse procedimento foi executado até que a distância máxima de comunicação fosse determinada.

Após obter a distância máxima de comunicação entre nó sensor e estação de base, outro nó sensor foi utilizado neste cenário, e posicionado na mesma direção da estação de base no sentido longitudinal, formando um triângulo retângulo (estação de base, sensor S1 e sensor S2) como mostra a Figura 3.2.4.4. Assim, a característica multicaminho pode ser observada sendo que os dados do nó sensor (S1) eram encaminhados para o nó sensor (S2) e deste, para a estação de base. A Figura 3.2.4.4 esquematiza o posicionamento do nó sensor em relação à estação de

base e a comunicação multicaminho. A Figura 3.2.4.5 mostra os equipamentos utilizados neste teste e a Figura 3.2.4.6 ilustra um nó sensor preso a uma planta no meio da plantação de milho.

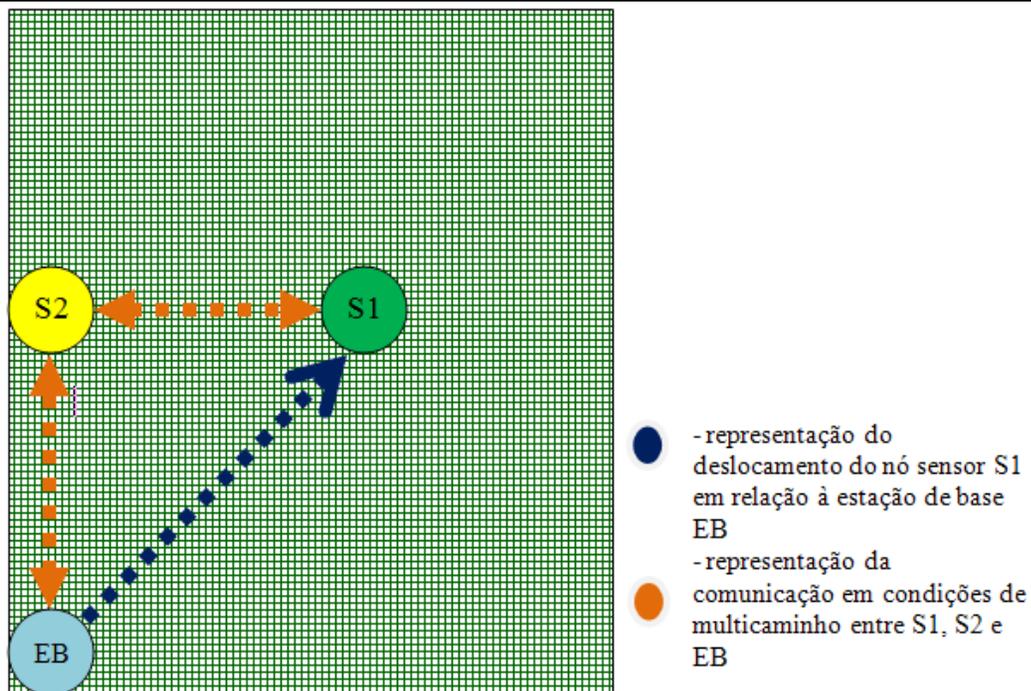


Figura 3.2.4.4 - Deslocamento do nó sensor (S1) em relação à estação de base e nó sensor (S2) melhorando a qualidade da área de cobertura através do recurso de multicaminho.



Figura 3.2.4.5 – Estação de base instalada no campo de milho.

---



Figura 3.2.4.6 – Nó sensor XM2110 com placa MDA300 instalada cultivo de milho a uma altura de 0,80m do solo.

---

Um terceiro cenário, um cultivo de Pinhão-paraguaio (*Jatropha curcas L.*) que ocupava

uma área de 200 x 200m, localizado no município de Charqueada-SP, com coordenadas 22°30'S e 47°46'O, a RSSF foi instalada, com o objetivo de analisar o comportamento da rede neste tipo de ambiente. As plantas tinham uma altura média de 3,5m, todas adultas já em fase produção. As plantas estavam dispostas em fileiras espaçadas de 2m em 2m no sentido longitudinal e de 3m em 3m no sentido transversal. A Figura 3.2.4.7 ilustra o cultivo onde a rede foi instalada para realização dos testes.



---

Figura 3.2.4.7 - Cultivo de Pinhão-paraguaio (*Jatropha curcas* L.) localizado na cidade de Charqueada-SP.

Sendo o objetivo deste teste idêntico ao do cultivo de milho, a mesma metodologia e os mesmos materiais utilizados no campo de milho foram utilizados neste cenário. Em virtude da densidade de folhas e da disposição das plantas no terreno, a distância de deslocamento adotada foi de 1,5m em 1,5m.

A Figura 3.2.4.8 ilustra os equipamentos utilizados neste teste e a Figura 3.2.4.9 exibe um nó sensor preso a uma planta no meio da plantação de pinhão.



Figura 3.2.4.8 – Estação de base instalada no campo de pinhão.

---



Figura 3.2.4.9 - Nó sensor XM2110 com placa MDA300 instalado no campo de pinhão a uma altura de 0,80m do solo.

---

E por último, um plantio de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) que ocupava uma área de 60 x 100m, localizado no município de Charqueada-SP, com coordenadas 22°30'S e 47°46'O, serviu como cenário de testes para a rede de sensores sem fios, com o objetivo de analisar o comportamento da rede neste tipo de ambiente. As plantas tinham uma altura superior a 10m e mais de sete anos de idade. As plantas estavam dispostas em fileiras espaçadas de 2m em 2m no sentido longitudinal e de 3m em 3m no sentido transversal. A Figura 3.2.4.10 ilustra o cultivo onde a rede foi instalada para realização dos testes.



Figura 3.2.4.10 - Plantio de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) localizado na cidade de Charqueada-SP.

Sendo o objetivo deste teste idêntico ao do cultivo de milho e do pinhão, a mesma metodologia e os mesmos materiais utilizados no campo de milho e do pinhão foram utilizados neste cenário. Em virtude das plantas serem adultas e com mais de 10 m de altura, e ainda que a densidade de folhas menor em relação aos outros cultivos, a distância de deslocamento adotada foi de 2m em 2m. A Figura 3.2.4.11 ilustra os equipamentos utilizados neste teste e a Figura 3.2.4.12 exibe um nó sensor preso a uma planta no meio da plantação de eucalipto.



Figura 3.2.4.11 - Estação de base instalada no campo de eucalipto.



Figura 3.2.4.12 - Nó sensor XM2110 com placa MDA300 instalado no campo de eucalipto a uma altura de 0,80m do solo.

A avaliação do consumo de baterias pelos nós sensores foram realizados em um ambiente *indoor*. Primeiramente, o nó sensor foi configurado para enviar mensagens de monitoramento de 2s em 2s, usando o modo de energia HP onde os nós permanecem ligados ininterruptamente. O experimento iniciou com um nó sensor utilizando baterias novas, com carga por volta de 3,1V e permaneceu ligado até que as baterias exaurissem.

Um segundo experimento foi realizado, nas mesmas condições, alterando-se apenas o modo de energia, utilizando-se agora o modo LP. Este experimento foi realizado por duas semanas, contudo não foi possível exaurir as baterias tendo em vista que isso provavelmente tomaria um ano ou mais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados referentes às métricas avaliadas em cada cenário onde a RSSF foi estudada, conforme expresso no capítulo anterior. Nas seções 4.1, 4.2 e 4.3 são apresentados os resultados referentes aos experimentos realizados em campo aberto. Nas seções 4.4, 4.5 e 4.6 são apresentados os resultados referentes aos experimentos nos cultivos agrícolas de milho, pinhão e eucalipto, respectivamente. Nas seções 4.7 e 4.8 são apresentados o consumo de bateria e o consumo de memória, respectivamente. Na seção 4.9 é feita uma discussão geral sobre os resultados obtidos.

### 4.1 AVALIAÇÃO DA ALTURA DO NÓ SENSOR NO COMPORTAMENTO DA INTENSIDADE DO SINAL DE RÁDIO - RSSI

Os resultados obtidos neste experimento são apresentados na Tabela 4.1.1. Os valores de RSSI foram calculados usando-se a equação (A.7.5.4) e tomando-se como valores de entrada, os registros da coluna *parent\_rssi* do MOTEVIEW 2.0. Esses resultados serviram como referência de altura para os testes realizados nos outros cenários.

Tabela 4.1.1 - Variação da intensidade do sinal RSSI (dBm) em função da variação da altura com distância fixa de 10m entre transmissor e receptor.

Altura do Receptor (m)	Altura do Transmissor (m)	RSSI (dBm)
0,80	0,00	-85
0,80	0,80	-43
0,80	1,50	-16
0,80	2,00	-10

## 4.2 DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA MÁXIMA DE COMUNICAÇÃO ENTRE TRANSMISSOR E RECEPTOR EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA DE RÁDIO

Este experimento permitiu determinar a distância máxima de comunicação para as diversas potências de rádio utilizadas em um cenário de campo aberto, com visada direta e livre de obstáculos. Os valores de RSSI foram calculados usando-se a equação (A.7.5.4) e tomando-se como valores de entrada, os registros da coluna *parent\_rssi* do MOTEVIEW 2.0. Esses resultados serviram como referência de potência do sinal empregada nos rádios dos motes para os experimentos realizados nos outros cenários. Os resultados são apresentados na Tabela 4.2.1.

Tabela 4.2.1 - Distancias máximas obtidas entre transmissor e receptor em função da potência de sinal empregada

Altura do Receptor e do Transmissor (m)	Potência do Sinal ajustado no mote (dBm)	Distância Máxima de comunicação (m)
0,80	-17,2	8
0,80	-12,2	15
0,80	-9,2	22
0,80	-7,2	55
0,80	3,0	90

## 4.3 AVALIAÇÃO DA RSSF EM CAMPO ABERTO

São apresentados os resultados referentes à avaliação de desempenho da RSSF em campo aberto (três repetições). As Figuras 4.3.1 a 4.3.4 mostram o comportamento da rede na medida em que varia a distância entre o nó sensor e a estação de base. São mostradas informações referentes intensidade do sinal RSSI, porcentagem de pacotes perdidos e retransmitidos, tempo de resposta e utilização de largura de banda.

A Figura 4.3.1 mostra o comportamento do sinal de rádio na medida em que o transmissor é afastado do receptor até atingir a distância superior a 90m, onde a comunicação é encerrada. Os valores de RSSI foram calculados usando-se a equação (A.7.5.4) e tomando-se como valores de entrada, os registros da coluna *parent\_rssi* do MOTEVIEW 2.0. Em todos os gráficos de RSSI em função de distância foram determinadas retas de ajuste de pontos e o respectivo coeficiente de Pearson (R) (TRIOLA, 2008).

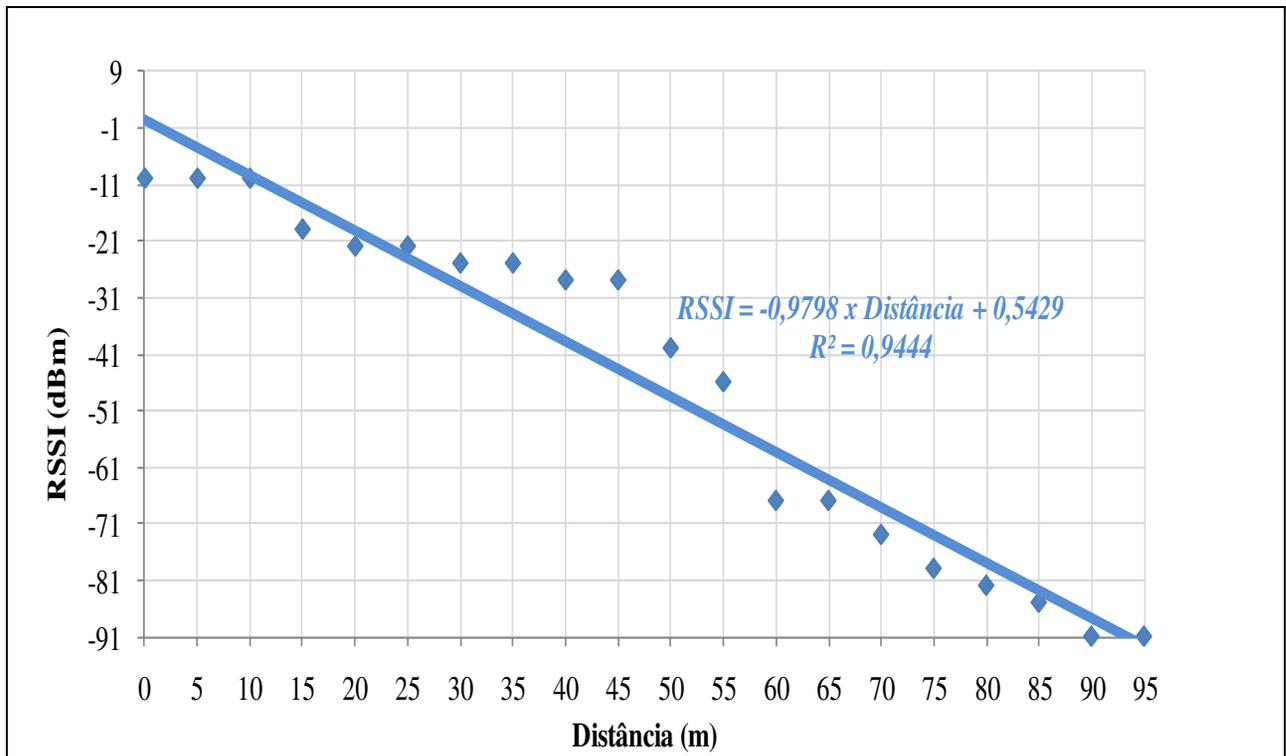


Figura 4.3.1 - Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância em campo aberto.

As porcentagens de pacotes perdidos e retransmitidos no experimento em campo aberto são apresentadas na Figura 4.3.2. Existem perdas de pacotes no ponto zero (0) ou quando o nó foi inicializado que não são apresentadas. Elas foram aqui desconsideradas, pois essas perdas sempre ocorrerão e são inerentes ao processo de inicialização e autoconfiguração do nó sensor na rede. O processo de autoconfiguração também pode ocorrer sempre que houver necessidade de um nó atualizar sua tabela de rotas em função de alterações na topologia.

Para o nosso experimento especificamente, o nó foi sendo deslocado de 5m em 5m, e a cada deslocamento foi observado através do XSNIFFER 1.0, alguns pacotes de atualização de rotas sendo enviados. Essa característica se tornou mais evidente quando a intensidade do sinal foi diminuindo e os pacotes de atualização de rotas se tornaram mais constantes. Isso repercutiu em perdas de pacotes e retransmissões.

Contudo, a contabilização das perdas de pacotes foi reduzida em função das retransmissões, tendo em vista que são considerados como pacotes perdidos aqueles que foram enviados mais de 8 vezes sem sucesso de entrega.

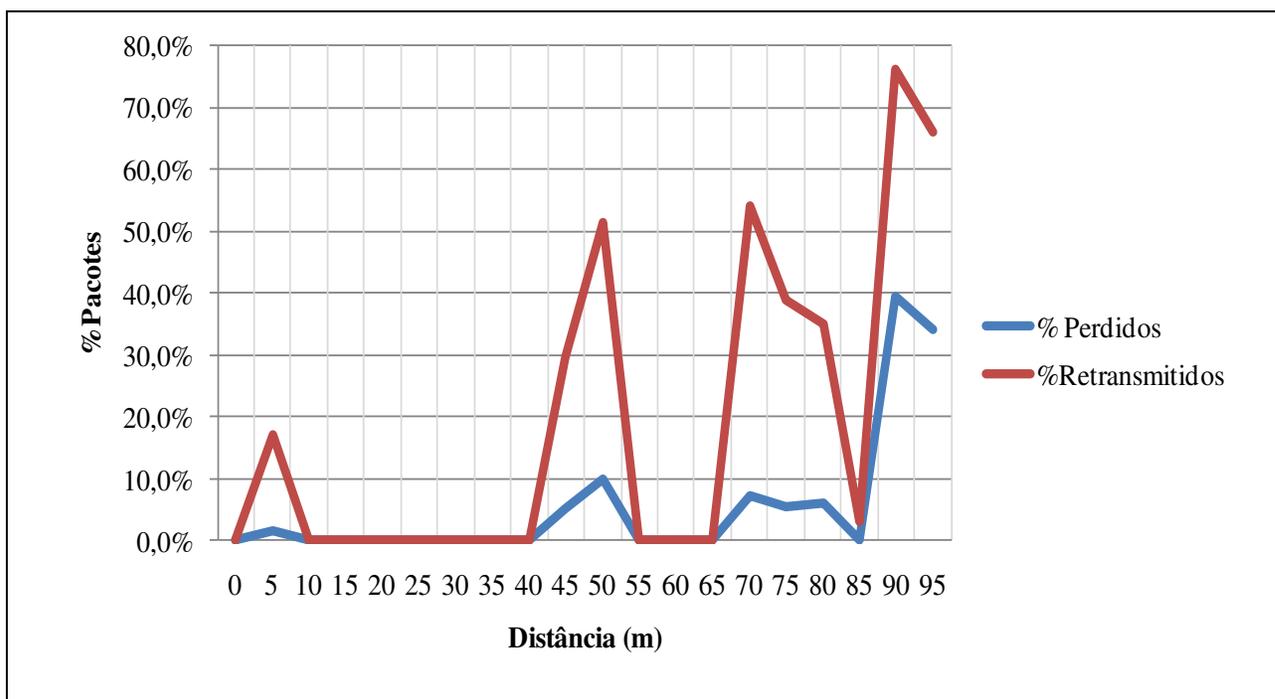


Figura 4.3.2 - Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos em campo aberto.

A Figura 4.3.3 mostra o consumo de banda em kbps observado neste experimento através da equação (A.7.5..5). Os valores obtidos dos registros do MOTEVIEW 2.0 apresentam-se em pacotes de dados. Cada pacote de dado possui um tamanho igual a 55 bytes.

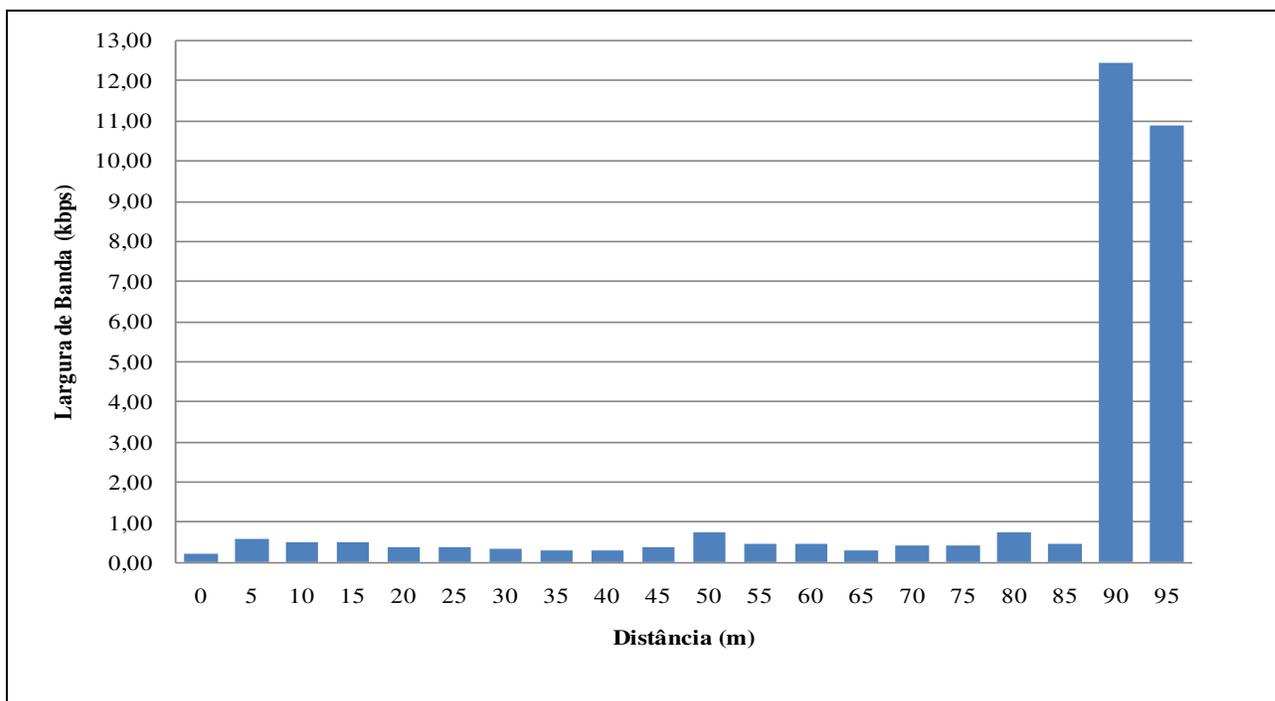


Figura 4.3.3 – Utilização da largura de banda durante os experimentos em campo aberto.

Através da métrica tempo de resposta, foi possível observar que em condições normais de intensidade de sinal no receptor (RSSI), ou seja, para uma RSSI entre -10dBm e -88dBm, o tempo de resposta é casual e independe da distância. Entretanto, é fortemente dependente da intensidade do sinal e das colisões de pacotes, tendo em vista que para valores de RSSI inferiores a -88dBm e com altas taxas de perdas de pacotes, a rede não retornou resposta. Isso indica que embora o MOTEVIEW 2.0 consiga registrar alguma comunicação entre transmissor e receptor, as atividades de gerenciamento não podem ser executadas quando a potência do sinal está próxima de -91dBm que é o limite de sensibilidade do rádio do *mote*. Outro fator que contribuiu para a ausência de resposta é o processamento excessivo dos dados em função das tentativas frustradas de reenvio de pacotes no nó sensor. A Figura 4.3.4 apresenta os tempos de resposta obtidos em cada ponto de medição. Em função de a RSSI ter valor igual a -91dBm e das altas taxas de perdas de pacotes nos pontos 90m e 95m, não houve resposta à requisição.

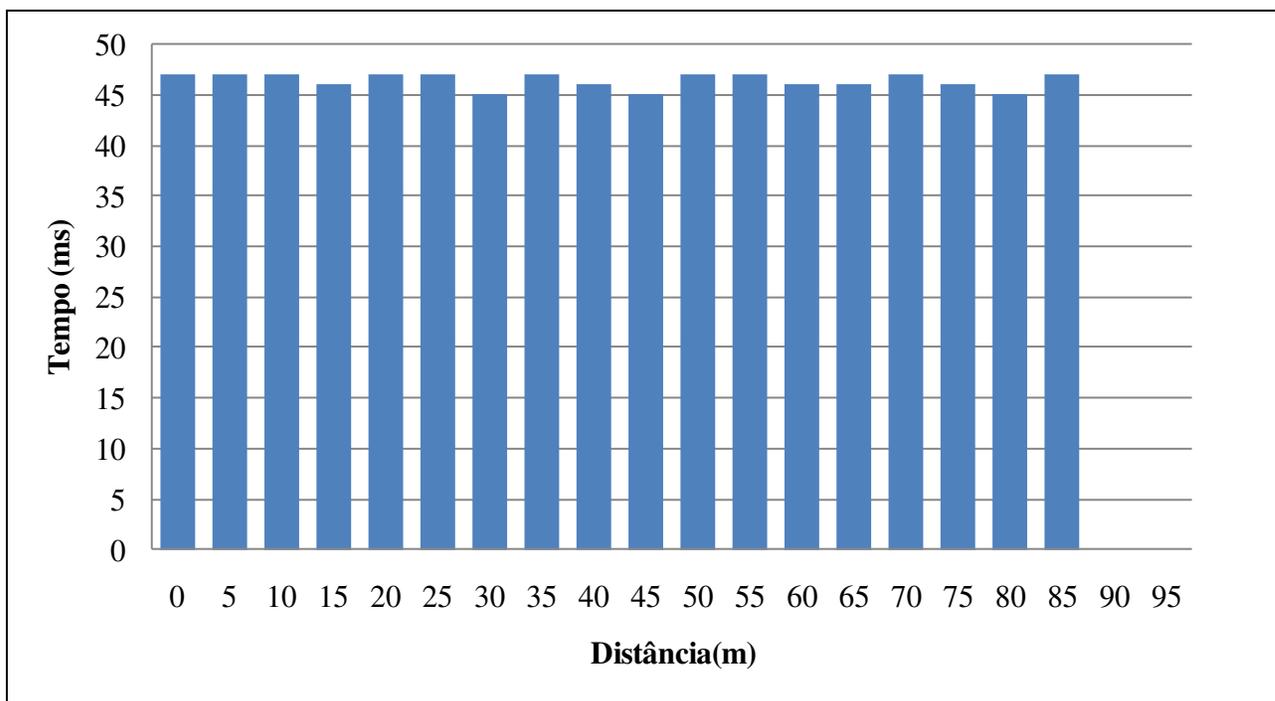


Figura 4.3.4 – Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos de campo aberto.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DA RSSF NO CULTIVO DE MILHO

Os resultados referentes à avaliação de desempenho da RSSF no cultivo de milho são apresentados nas Figuras 4.4.1 a 4.4.4. A Figura 4.4.1 exibe comportamento do sinal de rádio na medida em que o transmissor é afastado do receptor até atingir a distância superior a 16m, onde a comunicação é encerrada. Os mesmos procedimentos e cálculos utilizados para obtenção das métricas em campo aberto são aqui empregados.

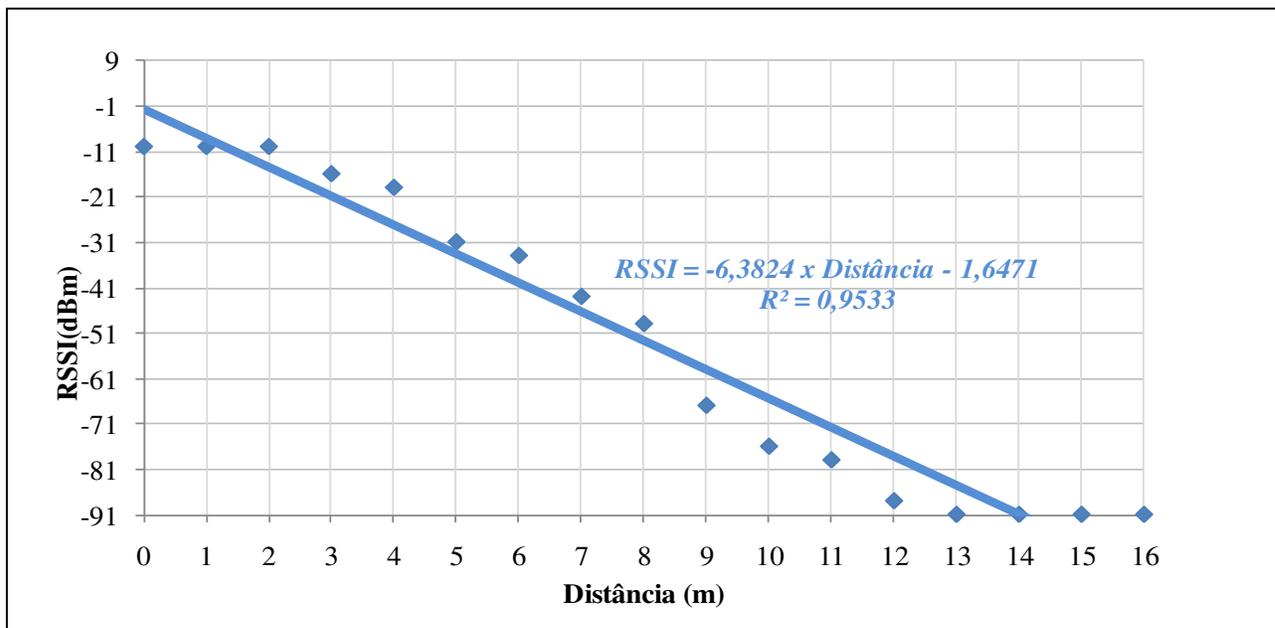


Figura 4.4.1 - Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância para o campo de milho.

A Figura 4.4.2 exibe as curvas comparativas de pacotes perdidos em retransmitidos no cultivo de milho e a Figura 4.4.3 mostra o consumo de banda em kbps observado neste experimento.

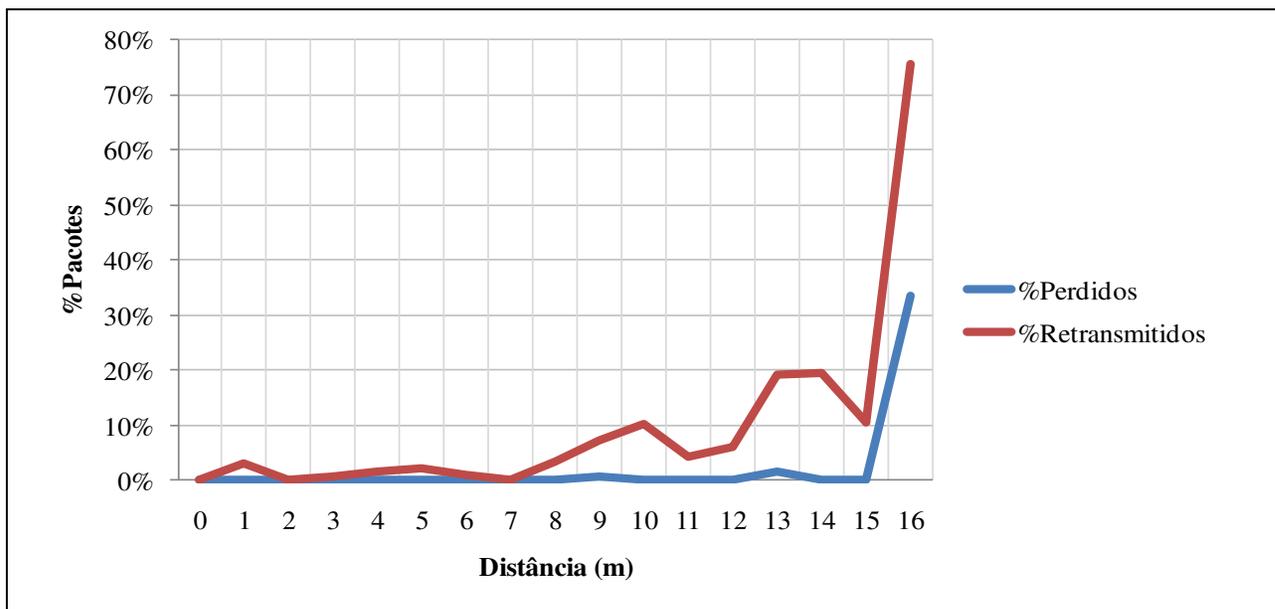


Figura 4.4.2 - Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos no campo de milho.

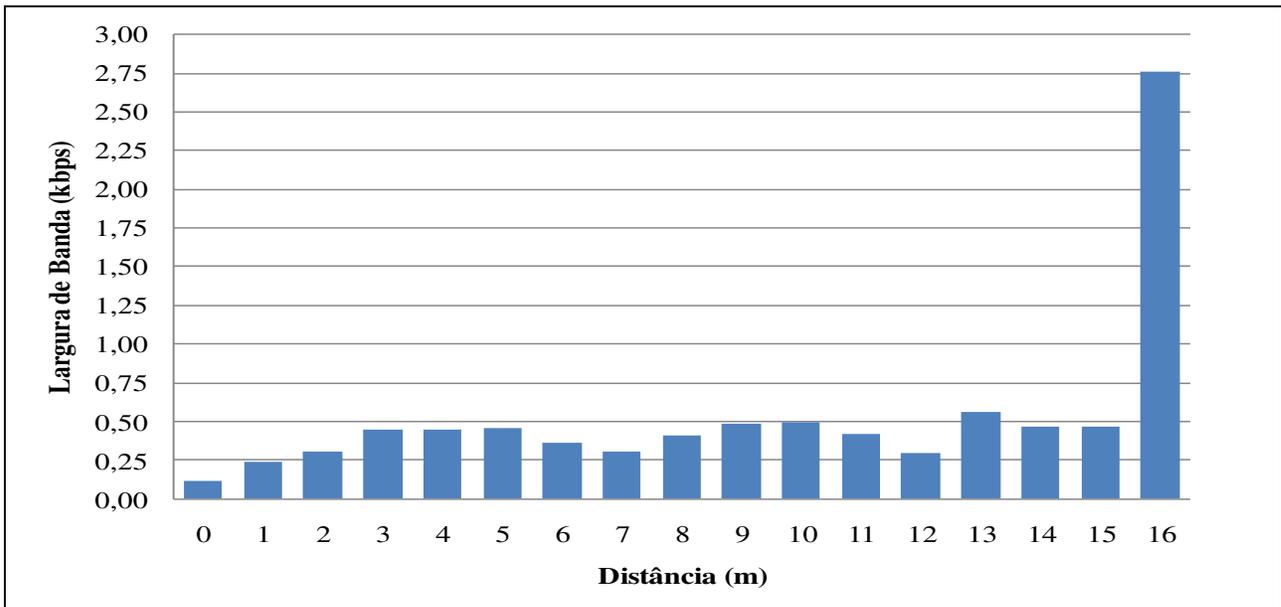


Figura 4.4.3 - Utilização da largura de banda durante os experimentos no cultivo de milho.

A Figura 4.4.4 apresenta o tempo de resposta observado nas requisições e respostas avaliadas no cultivo de milho. Novamente observou-se que o tempo de resposta independe da distância. Em contrapartida, quando os valores de RSSI foram iguais a -91dBm, não houve resposta.

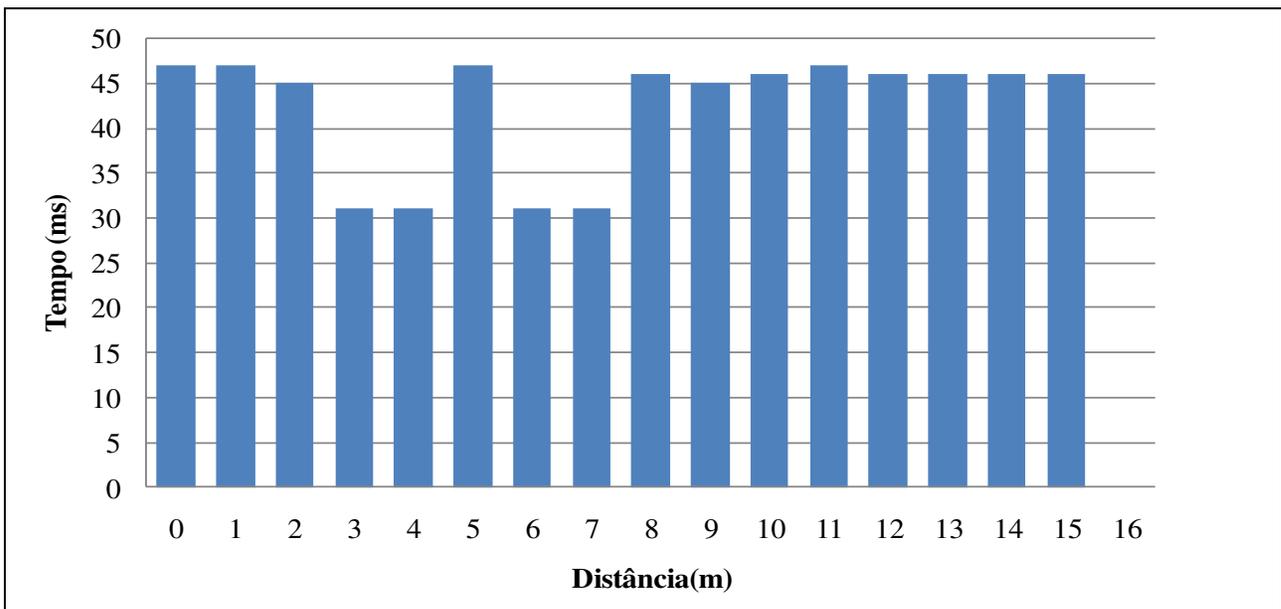


Figura 4.4.4 - Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos no cultivo de milho.

## 4.5 AVALIAÇÃO DA RSSF NO CULTIVO DE PINHÃO

Os resultados referentes à avaliação de desempenho da RSSF no cultivo de pinhão são apresentados nas Figuras 4.5.1 a 4.5.4. A Figura 4.5.1 mostra o comportamento do sinal de rádio na medida em que o transmissor é afastado do receptor até atingir a distância superior a 25,5m, onde a comunicação é encerrada. Os mesmos procedimentos e cálculos utilizados para obtenção das métricas em campo aberto são aqui empregados. A Figura 4.5.2 apresenta as curvas comparativas entre porcentagem de pacotes perdidos e retransmitidos. A Figura 4.5.3 mostra o consumo de banda em kbps e a Figura 4.5.4 apresenta o tempo de resposta. As afirmativas de análise e comportamento da rede avaliadas em campo aberto e cultivo de milho são aplicáveis para este cenário.

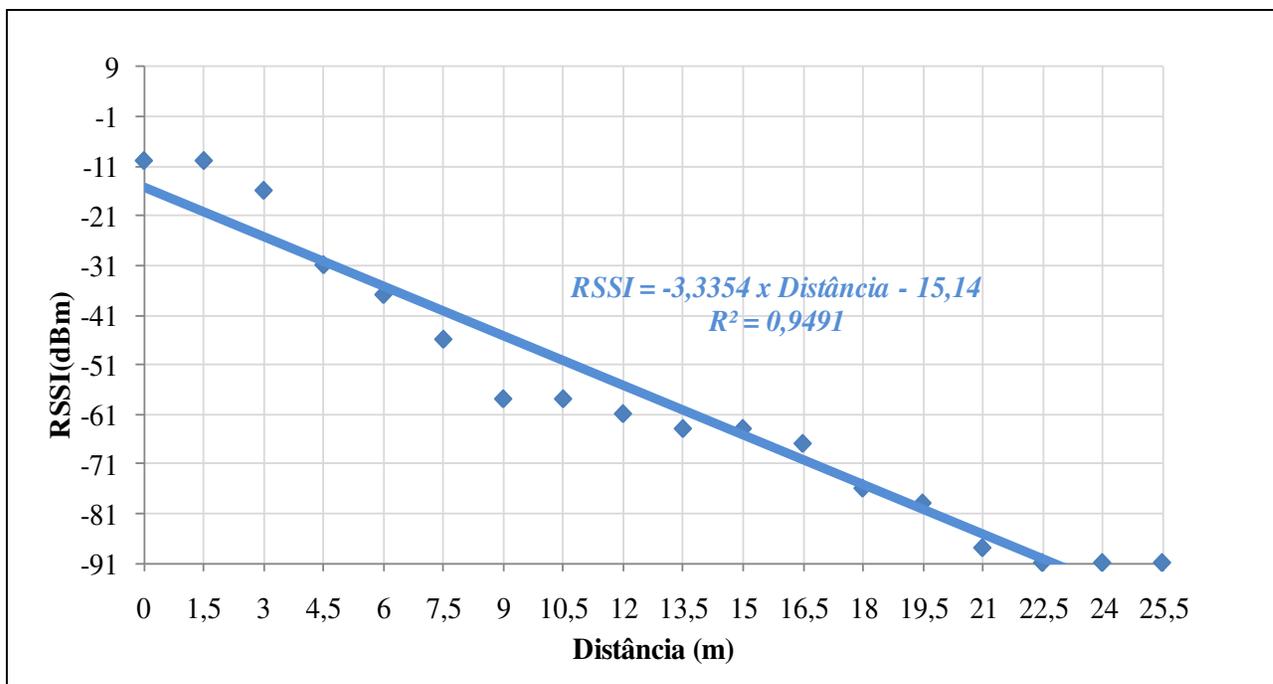


Figura 4.5.1 – Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância para o campo de pinhão.

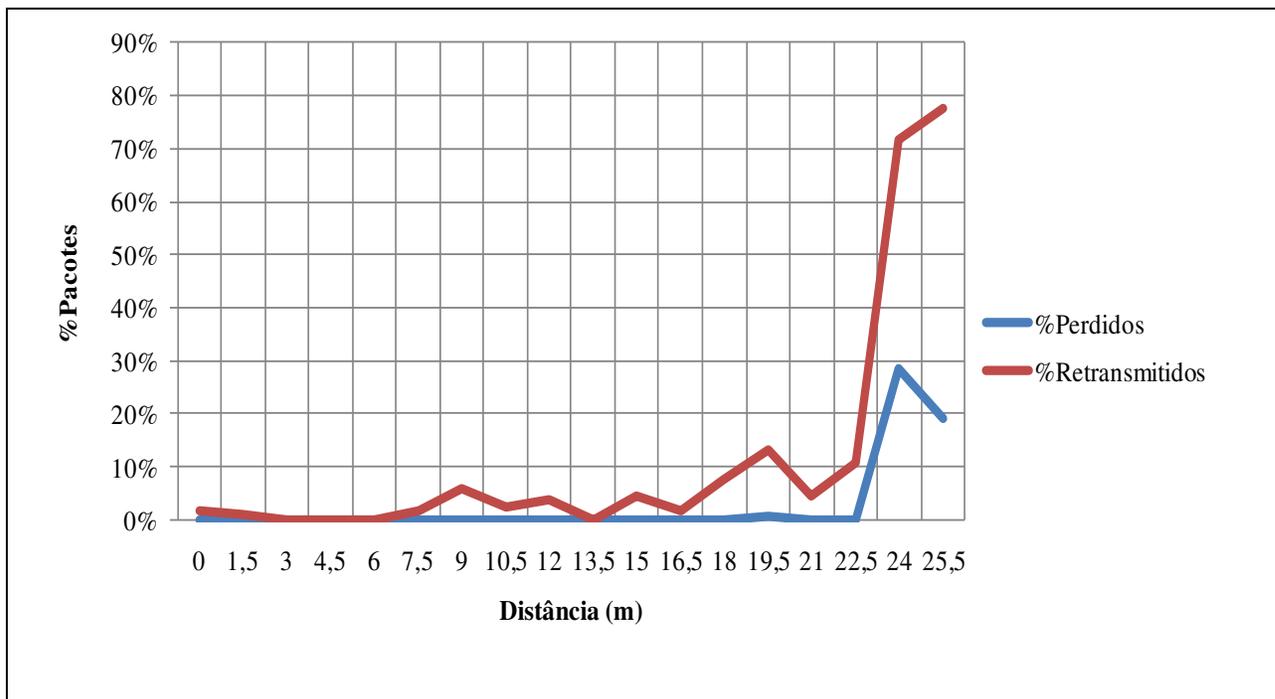


Figura 4.5.2 - Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos no campo de pinhão.

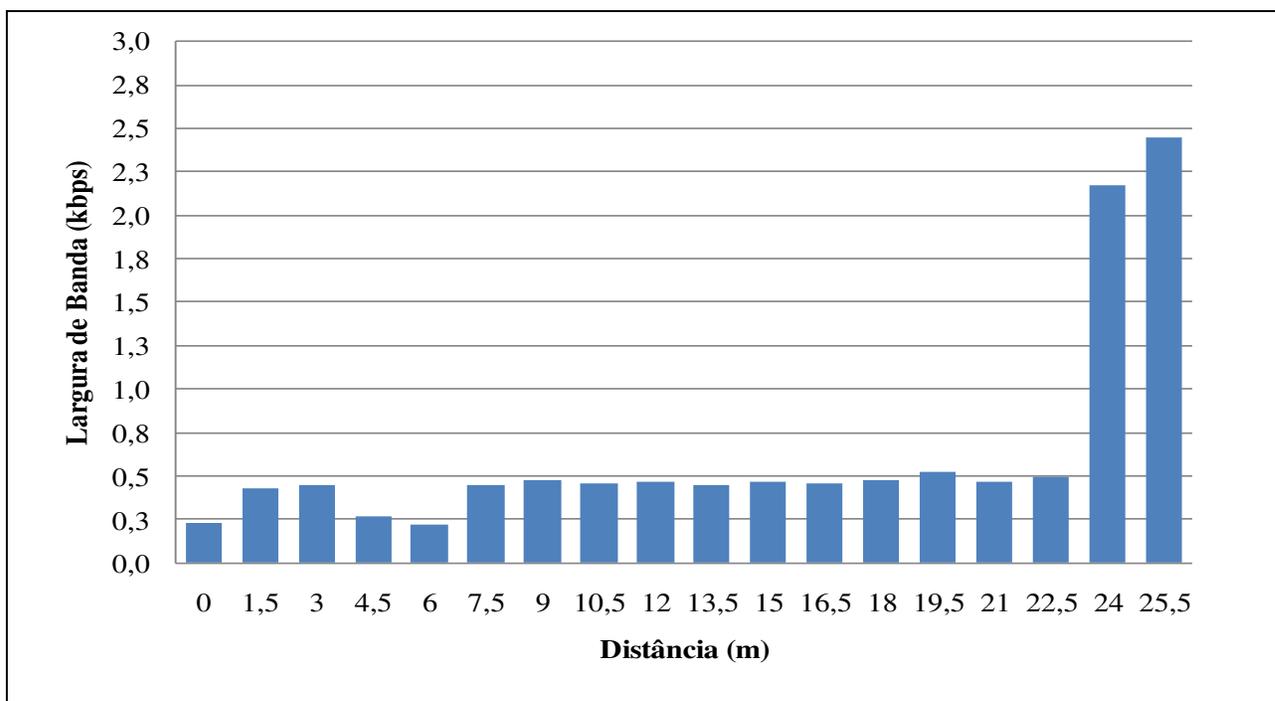


Figura 4.5.3 - Utilização da largura de banda durante os experimentos no cultivo de pinhão.

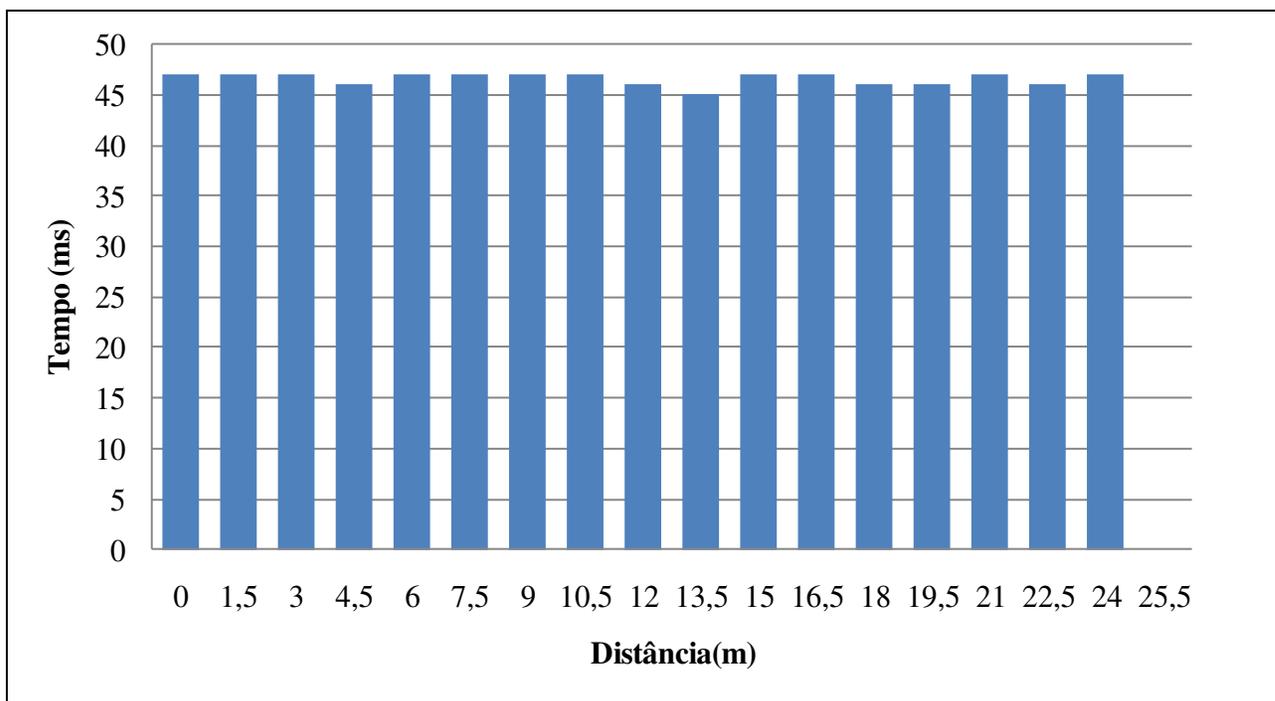


Figura 4.5.4 - Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos no cultivo de pinhão.

#### 4.6 AVALIAÇÃO DA RSSF NO CULTIVO DE EUCALIPTO

São apresentados os resultados referentes aos experimentos realizados no cultivo de eucalipto. A Figura 4.6.1 ilustra a degradação do sinal de rádio em função da distância entre transmissor e receptor, até atingir 46m, quando a comunicação é encerrada. A Figura 4.6.2 ilustra duas curvas para uma análise comparativa do comportamento dos pacotes perdidos e pacotes retransmitidos. E finalmente, a Figura 4.6.3 mostra o consumo de banda em kbps e a Figura 4.6.4 mostra o tempo de resposta.

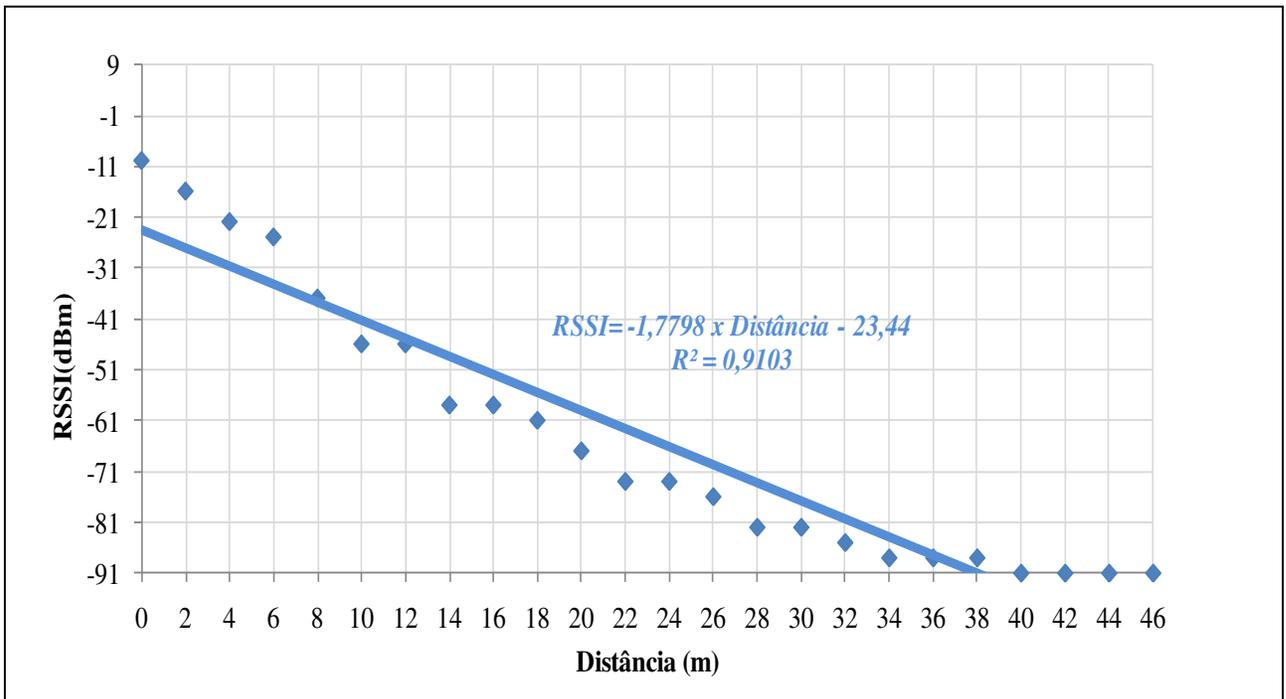


Figura 4.6.1 - Variação da intensidade do sinal RSSI em função da variação da distância para o campo de eucalipto.

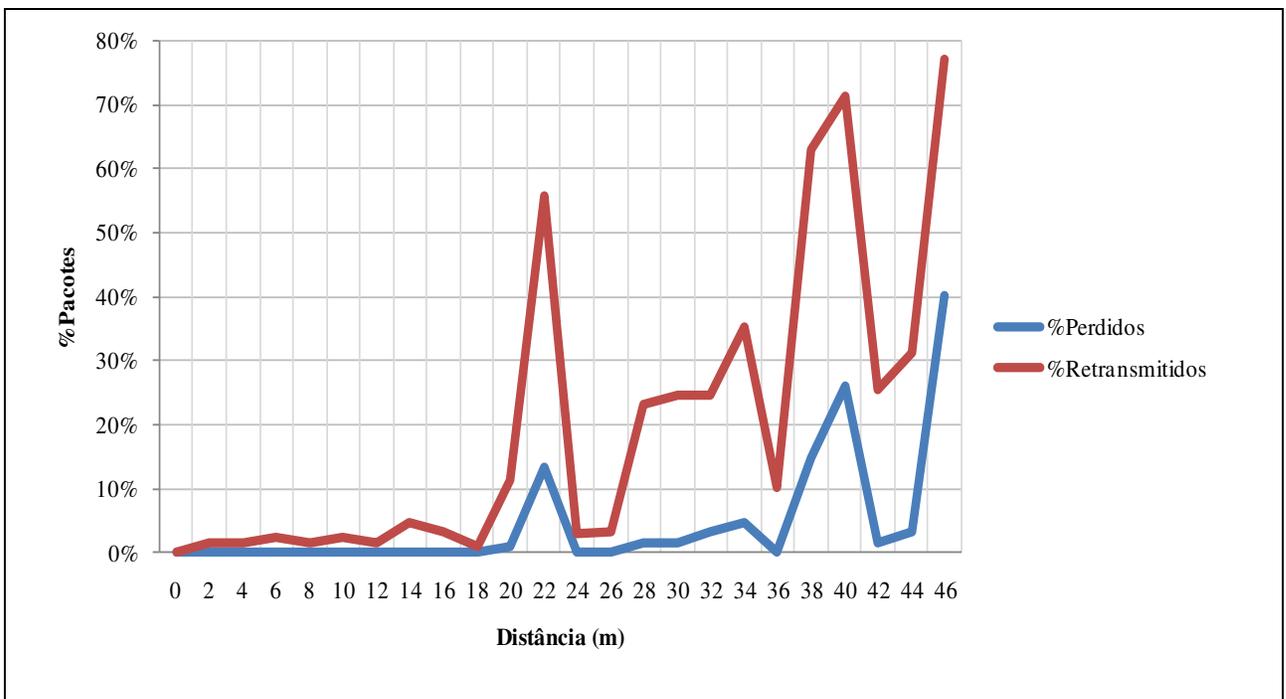


Figura 4.6.2 - Gráfico exibindo as curvas de porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos no campo de eucalipto.

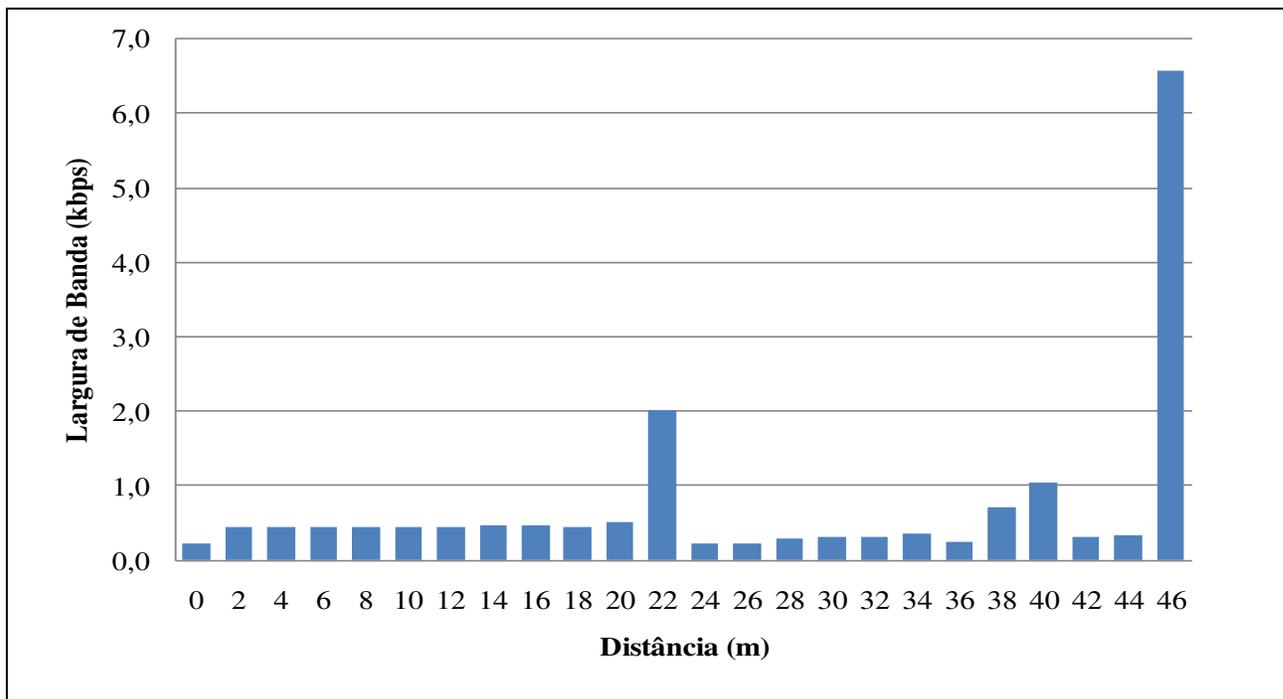


Figura 4.6.3 - Utilização da largura de banda durante os experimentos no cultivo de eucalipto.

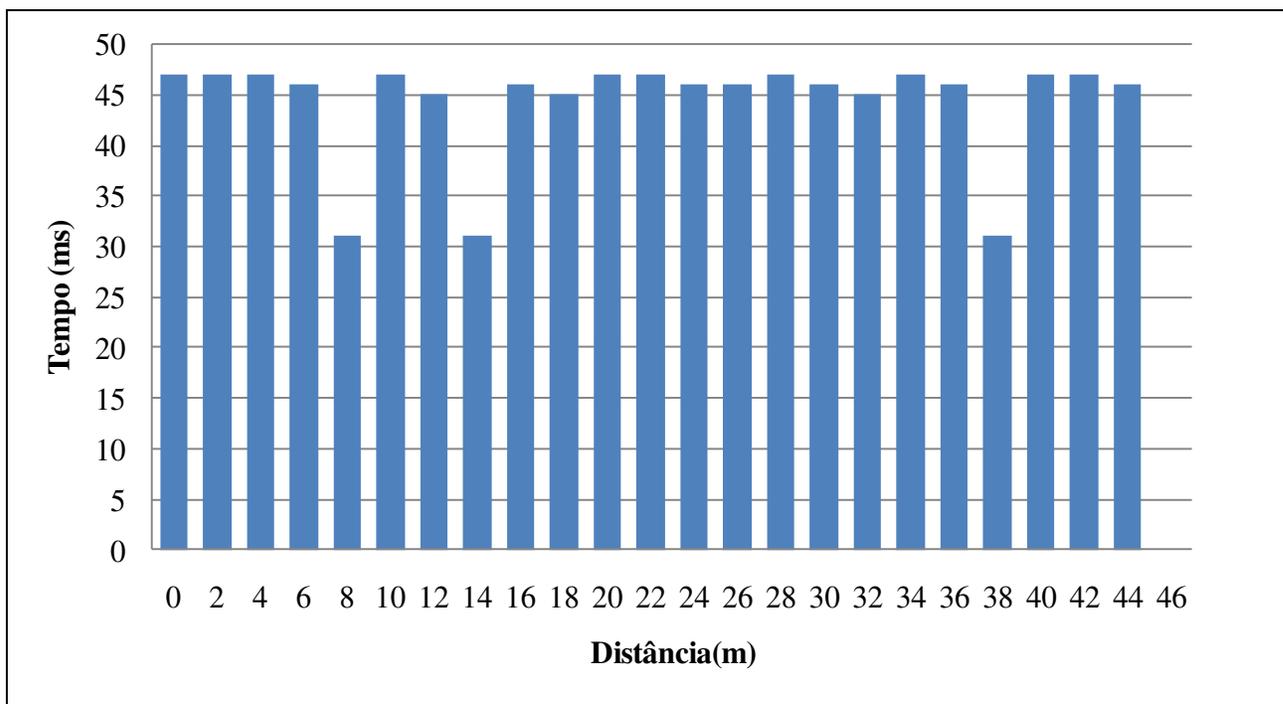


Figura 4.6.4 - Tempo de resposta em cada distância avaliada nos experimentos no cultivo de eucalipto.

#### **4.7 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE MEMÓRIA RAM E ROM PELOS PROGRAMAS NOS *MOTES***

Em relação à métrica consumo de memória, foi observado que os valores de memória RAM e FLASH ficaram bem abaixo dos limites dos motes sendo o limite de memória RAM é igual a 8KB e o limite da memória FLASH é 128 KB, como já foi descrito no capítulo 3 deste trabalho. A Tabela 4.7.1 ilustra o consumo de memória de cada programa embarcado.

Tabela 4.7.1 - Consumo de memória *RAM* e *FLASH* utilizada pelos programas XMESHBASE (estação de base) e XMDA300 (nó sensor)

Programa	RAM (KB)	FLASH (KB)
XMESHBASE	3,7	46
XMDA300	3,3	57

#### **4.8 DURAÇÃO DAS BATERIAS NOS MODOS DE ENERGIA *HIGH POWER* E *LOW POWER***

Com respeito à métrica de consumo de baterias, os experimentos realizados nos modo de energia *HP(High Power)* e *LP(Low Power)* são apresentados nas Figuras 4.8.1 e 4.8.2 respectivamente.

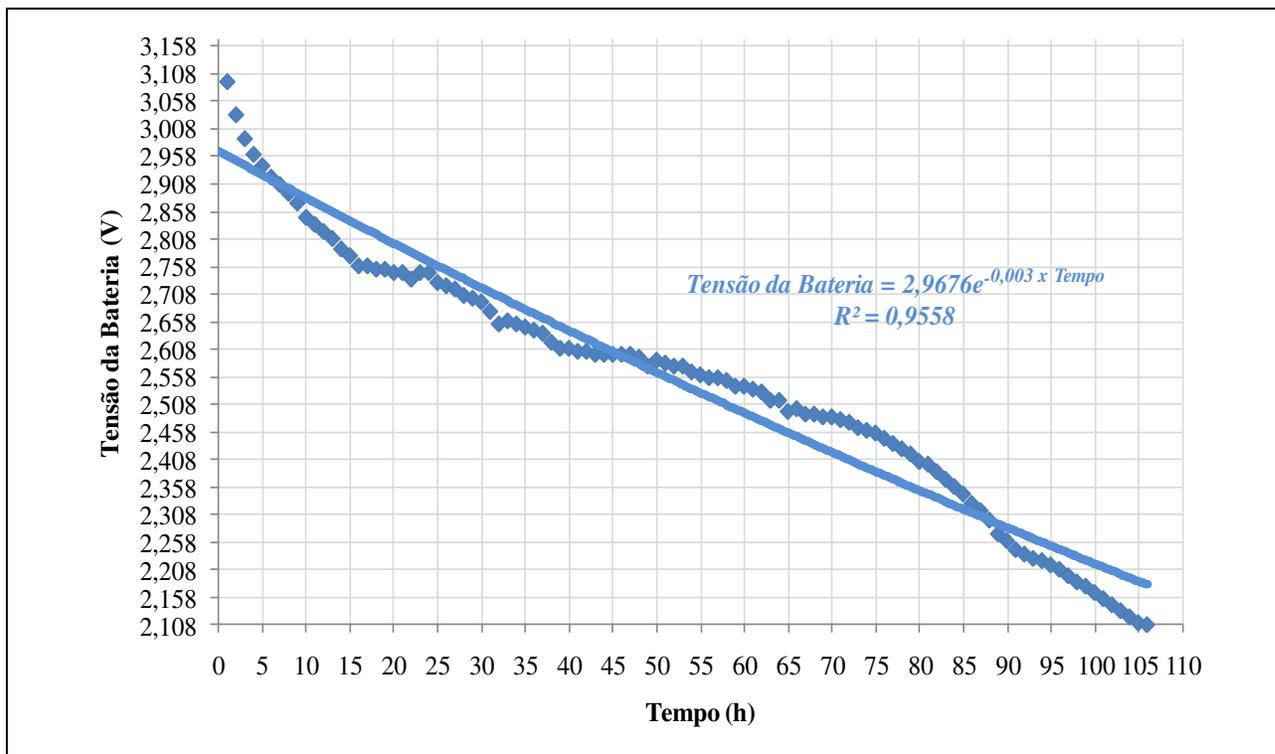


Figura 4.8.1 - Consumo de bateria do XM2110 no modo HP com envios de pacotes a cada 2s.

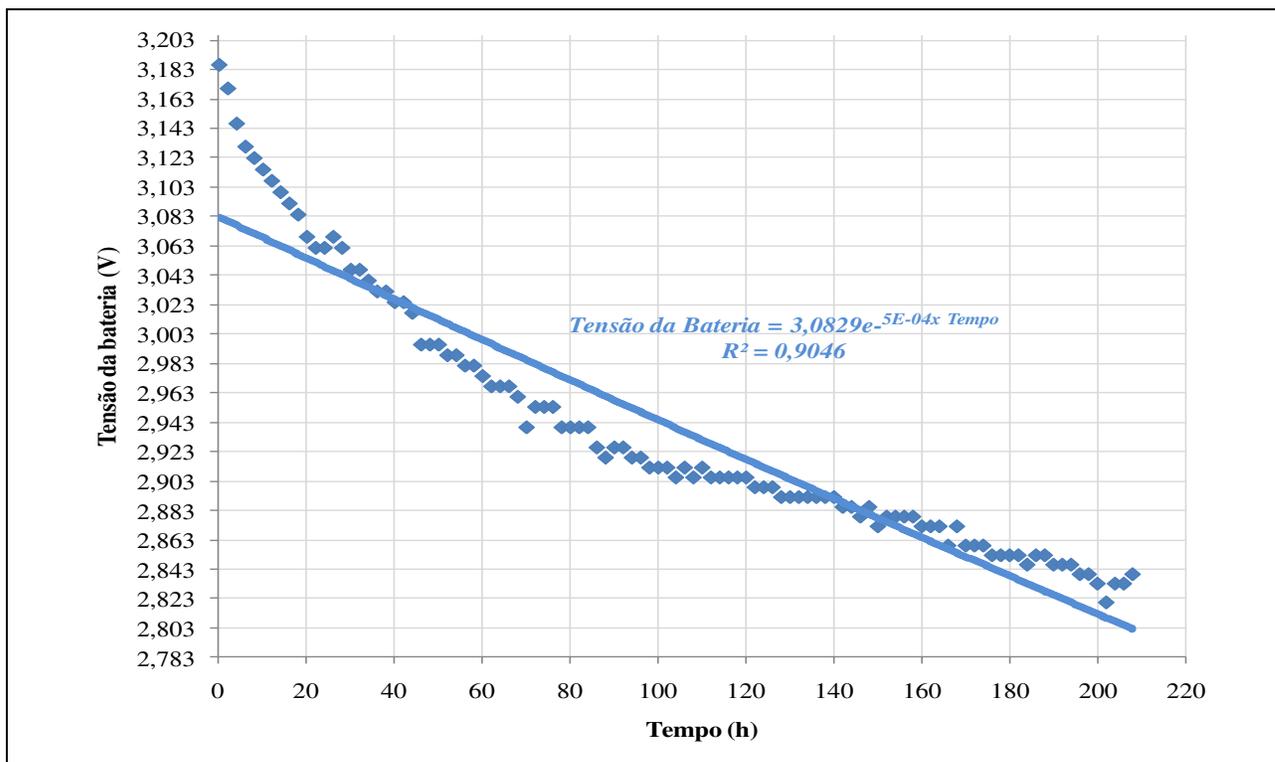


Figura 4.8.2 - Consumo de baterias do XM2110 no modo LP com envio de pacotes a cada 2s.

## 4.9 DISCUSSÕES

A avaliação da rede de sensores sem fio foi inicialmente realizada em um ambiente de campo aberto, com visada total entre transmissor e receptor, buscando-se reduzir possíveis interferências eletromagnéticas e obstáculos físicos, e minimizar também possíveis reflexões do sinal transmitido. A análise dos dados colhidos destes experimentos permitiu definir a altura adequada igual a 0,80m para a instalação dos nós sensores; permitiu também determinar a distância máxima de alcance de comunicação entre os nós em função da potência de rádio empregada; e ainda, forneceu informações importantes quanto ao comportamento da RSSF neste ambiente. Os resultados obtidos através das métricas de avaliação de desempenho empregadas nos experimentos de campo aberto se mostraram capazes de estabelecer parâmetros de referência para a avaliação da RSSF em diferentes cenários agrícolas.

A escolha dos cenários agrícolas foi propositalmente realizada baseando-se na concentração de folhagens encontradas no ambiente. Dessa forma foram configurados meios de propagação de RF em ambientes onde houvesse maior ou menor concentração de folhas.

Foram escolhidos: cultivos de milho adulto, que possui uma grande quantidade de folhas desde o solo até a altura estimada superior a 2,0m; cultivos de pinhão adulto, que configura uma situação intermediária apresentando uma quantidade de folhas em maior quantidade a partir de 0,90m até a altura estimada superior a 3,0m; e cultivos de eucalipto adulto, que configura uma área praticamente aberta, sendo que na altura de 0,80m havia somente a presença dos caules das plantas. Os resultados obtidos nestes cenários agrícolas foram comparados com os experimentos em campo aberto, que servem como referência para as comparações. Isto garante que os efeitos observados nos resultados possam ser atribuídos à presença das folhagens no caminho de propagação das ondas eletromagnéticas.

Das métricas investigadas verificou-se que a intensidade do sinal no receptor (RSSI) é reduzida na medida em que o transmissor se distancia do receptor, assim como foi afirmado por Cabrini (2006). Os experimentos realizados em campo aberto com potência de sinal igual a

3dBm, mostraram que o alcance do enlace de comunicação atinge a distância máxima igual 90m, a partir da qual a comunicação é encerrada.

Para os cultivos agrícolas, verificou-se que a maior concentração de folhas contribui negativamente para a propagação do sinal, diminuindo o alcance do enlace de comunicação a uma distância máxima igual a 16m para o cultivo de milho, 25,5m para o cultivo de pinhão e 46m para o cultivo de eucalipto, sendo essas distâncias recomendadas para a instalação dos nós sensores nos cultivos avaliados. Essa redução do alcance de sinal de RF demonstra que a densidade das folhagens atua diretamente sobre o nível da potência de sinal recebido. Para Tuijl et al. (2008) a atenuação de sinal causada pela presença de vegetação, é um problema que deve ser estudado na horticultura. A atenuação ocorre principalmente porque a frequência de transmissão da RSSF é de 2483,5 MHz que é absorvida por materiais ricos em água, como plantas, por exemplo. De acordo com estudos realizados por (GIACOMIN 2006) a atenuação do sinal tem relação linear com o volume de vegetação.

Os resultados referentes à intensidade do sinal no receptor (RSSI) em função da distância (Figuras 4.3.1, 4.4.1, 4.5.1 e 4.6.1) mostram que a degradação da comunicação é dependente do tipo de cultivo agrícola. Pode-se verificar que nos cenários onde a densidade de folhas entre transmissor e receptor era menor, o alcance do sinal foi maior. Isso pode ser observado na Figura 4.9.1 onde as curvas de RSSI referentes aos quatro cenários estudados são apresentadas.

Assim, pode-se afirmar que, em relação ao cenário de campo aberto, o campo de milho ofereceu o pior alcance de comunicação, enquanto que o campo de pinhão proporcionou uma situação intermediária e o campo de eucalipto um resultado melhor. Essa afirmação pode ser confirmada através da análise dos coeficientes angulares das curvas de RSSI obtidos em cada cenário estudado e apresentados na Tabela 4.9.1. Pode se observar que nos cenários onde há menor concentração de folhas, que o módulo do coeficiente angular é menor. Estes resultados foram ajustados por retas cujos coeficientes angulares são proporcionais à taxa de variação da RSSI em função da distância.

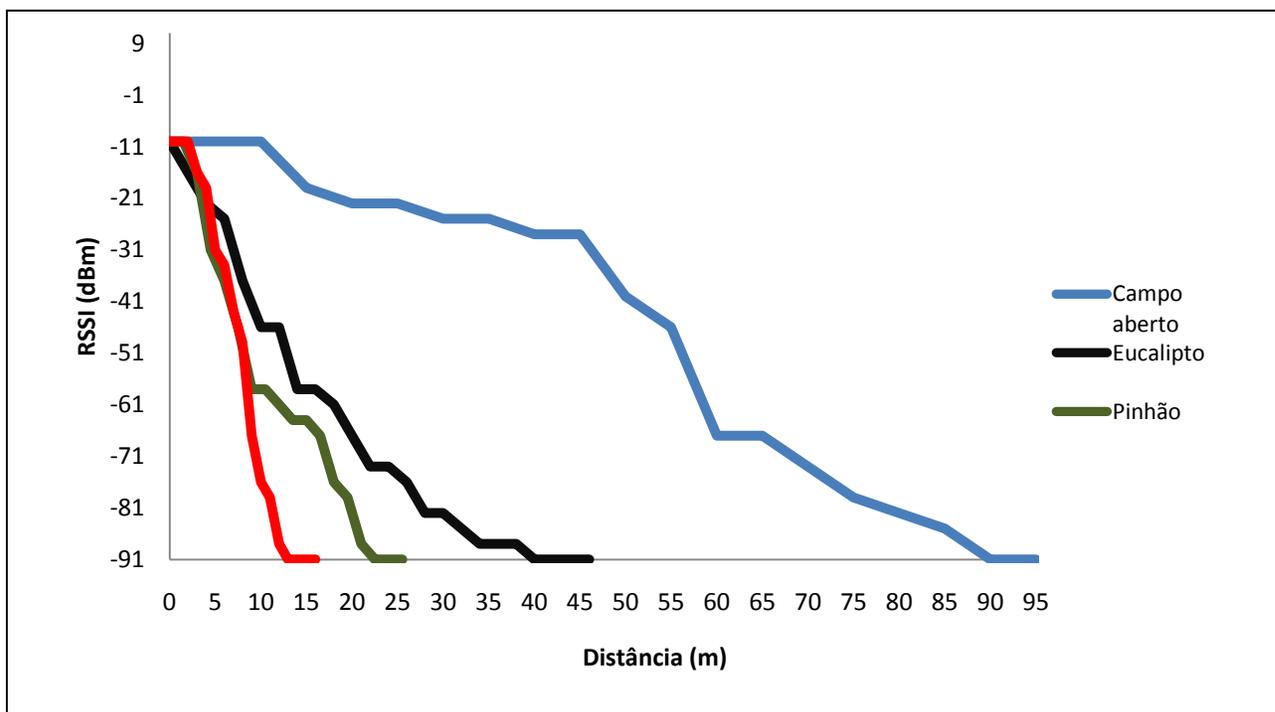


Figura 4.9.1 - Curva comparativa de RSSI nos quatro cenários avaliados.

Tabela 4.9.1 - Coeficientes angulares são proporcionais à taxa de variação da RSSI em função da distância

Cenário	$\Delta\text{RSSI (dBm)} / \Delta d \text{ (m)}$
Campo aberto	-0,9798
Milho	-6,3824
Pinhão	-3,3354
Eucalipto	-1,7789

As retas de ajuste obtidas mostraram-se adequadas para esta análise uma vez que, em todos os casos, apresentaram coeficiente de correlação (R) superiores a 90%.

A redução dos níveis de RSSI próximos ao limite de sensibilidade do rádio do nó sensor (-91dBm), afeta o comportamento da rede. Isso pode ser constatado na seção de resultados a partir da análise das métricas de avaliação da rede referentes ao tráfego de pacotes de dados. A análise da métrica de pacotes perdidos indicou que quando o sinal de RSSI atinge valores próximos de -

91dBm, ocorre um aumento abrupto da porcentagem de pacotes perdidos com valores acima de 15%, indicando uma diminuição da qualidade da comunicação para níveis inaceitáveis. Este fato se justifica pelo tipo de modulação de sinal utilizado na RSSF (OQPSK). Como em todo tipo de modulação digital, a partir de um limiar de qualidade a comunicação é encerrada.

Quando os valores de sinal de RF estão acima de -91dBm, a perda de pacotes é considerada aceitável apresentando valores médios abaixo de 10% em todos os cenários avaliados. Para efeitos de gerenciamento da RSSF, deve ser considerada ainda, a métrica de quantidade de pacotes retransmitidos. O aumento da quantidade de retransmissões mascara a quantidade de pacotes perdidos, visto que é considerado perdido um pacote que tenha sido transmitido mais de 8 vezes sem sucesso. Não fosse esta uma característica intrínseca do protocolo XMESH, a porcentagem de pacotes perdidos seria muito maior quando a intensidade de sinal aproxima-se de -91dBm. Como consequência dessas retransmissões, as baterias têm sua vida útil reduzida em função da necessidade de retransmissão dos pacotes.

Outras métricas relacionadas ao tráfego de pacotes de dados na rede analisada foram a utilização da largura de banda e o tempo de reposta. A banda teórica máxima disponível para estes motes é igual a 250 kbps. Em todos os experimentos realizados, a largura máxima de banda utilizada foi inferior a 3kbps, o que representa menos de 2%, ficando muito abaixo do limite de largura de banda. Além disso, observou-se que o protocolo XMESH provê um sincronismo no envio dos pacotes de diferentes nós, preservando a utilização do canal de transmissão. Quanto ao tempo de resposta, os experimentos mostraram que há uma variação dos valores obtidos entre 31 e 47ms, mas com um comportamento casual, portanto não havendo uma relação clara com a distância ou com a intensidade do sinal no receptor (RSSI).

Os resultados referentes ao consumo de bateria mostraram que, na pior situação de operação, isto é, no modo HP e com requisições a cada 2 segundos, a autonomia da bateria é de cerca de 4 dias. A condição de operação em que os testes foram realizados é extrema e não condiz ao que se deve praticar habitualmente em campos de cultivo agrícola. O experimento foi realizado sob estas condições, pois, em casos de menor frequência de requisições e ou de menor potência, a durabilidade da bateria é projetada para vários meses e assim, a condução do

experimento se estenderia por um tempo muito largo. Deve-se considerar também a condição de operação da rede é satisfatória para tensões elétricas da bateria de até 2,1V. Baterias com tensões elétricas inferiores a 2,1 V tornam a rede inoperante.

Em relação ao consumo de memória usada por programas, a utilização de programas pré-compilados limitou uma avaliação mais aprimorada dessa métrica. Entretanto, foi possível constatar que para os programas utilizados nos experimentos, o consumo máximo de memória *RAM* foi de apenas 3,7KB (46,25%), contra 8KB disponíveis no mote, e ainda com relação à memória *FLASH*, constatou-se a utilização máxima de 57KB (44,53%) contra 128KB disponíveis. Esses resultados indicam a possibilidade de expansão do código para outras aplicações, como por exemplo, a necessidade da rede operar no modo de notificação de eventos.

Em todos os experimentos realizados foram utilizados dois nós sensores conforme esquema apresentado na Figura 3.2.4 para avaliar a condição de multicaminho. Tendo em vista que o valor de RSSI faz parte do conjunto de informações encapsuladas em cada pacote de dados enviado na RSSF, os nós usam esta informação para atualizar suas tabelas de rotas e assim, sempre procurarão encaminhar seus dados pelo caminho com melhor qualidade de *link*. Observou-se que o nó sensor (S1) usou o nó sensor (S2) para se comunicar com a estação de base (EB) e vice-versa, sempre que os seus níveis de RSSI estavam muito baixos, próximos de -91dBm. Quando o nó sensor (S1) percebia um nível de RSSI um pouco superior a -88dBm em relação a estação de base, tentava enviar seus dados diretamente. Observou-se também, que o nó sensor (S2) foi mais exigido tendo que encaminhar os pacotes oriundos do sensor (S1) para a estação de base (EB) e vice-versa. É importante observar que as condições de multicaminho podem aumentar a área de cobertura da RSSF e ainda, melhorar a confiabilidade dos dados referentes à região monitorada.

## 5 CONCLUSÃO

As principais conclusões e recomendações deste trabalho são:

1. Segundo as métricas estudadas, a qualidade de comunicação entre os nós de uma RSSF operando em RR em um cultivo agrícola é satisfatória. No entanto, devem-se respeitar distâncias máximas entre os nós para que os efeitos de atenuação e dispersão não inviabilizem a qualidade da comunicação. Para o cultivo de milho, recomenda-se não ultrapassar a distância de 16m entre os nós sensores; para o cultivo de pinhão a distância máxima recomendada é de 25,5m e para o cultivo de eucalipto não ultrapassar a distância máxima de 46m.
2. A distância de separação dos nós é um fator crítico para se garantir a viabilidade do uso da RSSF. Essa distância é dependente do tipo do cultivo monitorado. Dessa forma, a instalação de RSSFs que operem em ambientes agrícolas deve ser particularizada e criteriosa em termos de distância de separação entre os nós e o tipo de cultivo em que será empregada.
3. O consumo de bateria dos nós, mesmo operando no modo RR, é pequeno e garante uma autonomia satisfatória para a RSSF. Recomenda-se, que durante a fase de instalação e configuração da rede, os nós sejam configurados no modo de energia HP, visando tornar mais rápido este processo. Após a determinação das localizações adequadas dos nós na região monitorada, recomenda-se empregar o modo de energia LP, onde o consumo de energia é muito baixo e a rede pode funcionar por um ano ou mais sem necessidade de substituir as baterias.
4. A metodologia empregada ajuda a estabelecer diretrizes gerais para projetos de RSSFs levando-se em conta a distância de separação dos nós e o consumo de baterias. Estes aspectos estão nitidamente atrelados ao tipo de cultivo agrícola ao qual a RSSF será empregada.
5. A RSSF Crossbow empregada neste trabalho mostrou-se eficaz e adequada para o monitoramento das variáveis ambientais no campo.



## REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. A.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; TROVO, J. B. F. Manejo do solo utilizando plantas de cobertura, híbridos e nitrogênio na produtividade do milho. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 15-22, Nov./Dec. 2009.

AKYILDIZ, I. F.; SU, W.; SUBRAMANIAM, Y. S.; CAYIRCI, E. A Survey on Sensor Networks. **IEEE Communications Magazine**, Portland, v. 40, n. 8, p. 102-114, August 2002.

BECKWITH, R; TEIBEL, D.; BOWEN, P. Report from the Field: Results from an Agricultural Wireless Sensor Network. In: 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04), 2004. **Proceedings**. Tampa: IEEE, 2004. p. 471-478.

BOUKERCHE, A. **Algorithms and protocols for wireless and mobile ad hoc networks**. 1.ed. New Jersey: John Wiley and Sons, 2009. 481 p.

BULUSU, N.; HEIDEMANN, J.; ESTRIN, D. Self-Configuring Localization Systems: Design and Experimental Evaluation; **ACM Transactions on Embedded Computing Systems**, Los Angeles, vol. 3, nº 1, pp. 24-60. Feb/2004.

CABRINI, F. H. **Caracterização e Análise de desempenho de uma rede de sensores sem fio**. 2006. 102p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CAMILI, A. **Um Estudo sobre o Aspecto da Utilização de Redes de Sensores Sem Fio em Aplicações para Agricultura de Precisão**. 2004. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CRUZ JÚNIOR, D. C. **Sistema Especialista dedicado à Agricultura de Precisão: aplicação à cultura da soja**. 2002. P112. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002.

CUGNASCA, C. E. **Sistemas Computacionais Embarcados em Máquinas Agrícolas: Estudos e Propostas**. 2002. 125 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CULLER, D.; ESTRIN, D.; SRIVASTAVA, M. Overview of Sensor Networks. **IEEE Computer Society**, Los Angeles, v. 18, p. 41-49, August 2004.

FALL, K.; VARADHAN, K. **The NS manual**. 1. ed. California, 2001, 322 p.

GIACOMIN, J. C. **Aplicação De Uma Rede De Sensores Sem Fios Como Instrumento De Medição De Teor De Água De Uma Cultura Agrícola**. 2007. 161 p. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica - UFMG, Minas Gerais, 2007.

GONDA, L.; CUGNASCA, C. E. ; CAMILLI, A. Aplicações Agrícolas para Redes de Sensores Sem Fio. In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2005, Londrina - PR. **Anais do V Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 2005.

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Sistemas Modernos de Comunicação Wireless**. 1. ed. São Paulo: Bookman, 2008. 580 p.

KARIR, M. 2003. Atemu - sensor network emulator / simulator / debugger. Disponível em: <<http://www.cshcn.umd.edu/research/atemu/>>. Acesso em 01 jul. 2011.

KUMAR, D.; ASERI, T. C.; PATEL, R.B. EEHC: Energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks, 2008, India, *Computer Communications*, v.32, Agosto, 2008. P. 662-667.

LEVIS, P.; CULLER, D. Mate: A tiny virtual machine for sensor networks. In: International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, 2002, San Jose, CA, USA. EUA: **ACM**, 2002. p. 85-95.

LU, K.; QIAN, Y.; GUIZANI, M.; CHEN, H. A Framework for a Distributed Key Management Scheme in Heterogeneous Wireless Sensor Networks, 2008, *IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS*, v.7, n.2, FEBRUARY 2008, p. 639-647.

MAINWARING, A.; POLASTRE, J.; SZEWCZYK, R.; CULLER, D.; ANDERSON, J. Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring. International Conference on Mobile Computing and Networking **Proceedings** of the 1st ACM international workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. Atlanta, Georgia, USA, pp. 88-97. September 28–28, 2002

MATESE, A.; GENNARO, S.F.; ZALDEI, A.; GENESIO, L., VACCARI, F.P. A wireless sensor

network for precision viticulture: The NAV system, 2009, Computers and Electronics in Agriculture, Consiglio Nazionale delle Ricerche, via Caproni 8, 50145 Firenze, Italy, v. 69, 2009, p. 51–58.

MCCULLOCH, J.; GURU, M. S.; HUGO, D. Wireless Sensor Network Deployment for Water Use Efficiency in Irrigation, 2008, TAS, Austrália, **ACM** 978-1-60558-123-1/08/0004, 2008, p. 46-50.

MILLER, M.J.; VAIDYA, N.H. A MAC Protocol to Reduce Sensor Network Energy Consumption Using a Wakeup Radio. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, Portland, vol. 4, n. 3, May-June/2005. p. 228-242.

MOTECONFIG, 2007. MOTECONFIG.. EUA. Moteconfig User's Manual. Disponível em: <[http://www.blasiagroup.com/clients/memsic/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=6:user-manuals&Itemid=86](http://www.blasiagroup.com/clients/memsic/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=6:user-manuals&Itemid=86)>. Acesso em: 01 jul. 2011.

MPR/MIB, 2007. MPR/MIB. EUA. MPR/MIB User's Manual. Disponível em: <<http://www.cs.ucsb.edu/~nchohan/docs/moteManual.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2011.

PERKINS, C. **Ad Hoc Networks**, Addison-Wesley, Reading, MA, 2000.

PODEROSO, F.; SOBRAL, V. A.; LIMA, R. N.; OLIVEIRA, A. Rede ZigBee Aplicada à Medição em Agricultura. LSITEC-Nordeste, Salvador-BA; Universidade Federal da Bahia-UFBA-DEE, Salvador-BA, Brasil. In: VIII Semetro, 2009. **Anais**. João Pessoa, PB, Brazil, June 17 – 19, 2009

QUINTAO, F.; NAKAMURA, F.; MATEUS, G.. R. A Hybrid Approach to solve the Coverage and Connectivity Problem in Wireless Sensor Networks. In: IV European Workshop on Metaheuristics (EU/ME), 2004, volume 1.

ROTH, T. A. SimulAVR: an AVR simulator. Disponível em: <<http://www.nongnu.org/simulavr>>. Acesso em: 01 jul. 2011.

RUIZ, L. B. **MANA: Uma Arquitetura de Gerenciamento para Redes de Sensores Sem Fio**. 2003. 170p. PhD thesis, Departamento de Ciência da Computação – UFMG, Minas Gerais, 2003.

SARAIVA, A. M. **Tecnologia da Informação na Agricultura de Precisão e Biodiversidade: Estudos e Proposta de Utilização de Web Services para Desenvolvimento e Integração de Sistemas**. 2003. 187 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, F. A. **Avaliação de Abordagens de Gerenciamento para Redes de Sensores Sem Fio**. 2006. UFMG, 2006, 90p. Dissertação: (Mestrado em da Computação) - UFMG, Minas Gerais, 2006.

SON, B.; HER, Y.; KIM, J. A Design and Implementation of Forest-Fires Surveillance System based on Wireless Sensor Networks for South Korea Mountains. **IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security**, VOL.6 n.9B, September, Daegu, Korea, 2006.

TRIOLA, M. F. 2008. **Introdução à Estatística**. LTC. 10 ed. 2008. 722p

TUIJL, B.; OS, E.; HENTEN, E. Wireless Sensor Networks: State Of The Art And Future Perspective. **Acta Horticulturae**. issue 801. v.1. p. 547 – 554. Wageningen – The Netherlands. 2008.

XMESH, 2007. XMESH. EUA. XMesh User's Manual. Disponível em: <<http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>>. Acesso em: 01 jul. 2011.

XSERVE, 2007. XSERVE. EUA. XSever User's Manual. Disponível em: <<http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>>. Acesso em: 01 jul. 2011.

YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*. Department of Computer Science, University of California, Davis, CA 95616, United States, Abril, vol. 52, p 2292–2330, 2009.

ZIGBEE. 2011. EUA. ZigBee Alliance. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/>>. Acesso em: 30 jun, 2011.

## APÊNDICE A - ARQUITETURA DA RSSF

### A.1 CARACTERÍSTICAS DOS *MOTES* (MÓDULOS DE PROCESSAMENTO E COMUNICAÇÃO SEM FIO)

Os *motes* empregados na RSSF avaliada neste trabalho são do modelo XM2110 e eles são integrantes da família de *motes* IRIS, foram desenvolvidos pela Universidade de Berkeley e distribuídos comercialmente pela empresa *Crossbow Technology Inc* (CROSSBOW TECHNOLOGY, 2007). Estes *motes* são parte do *kit* de sensores (*Crossbow Wireless Sensors Network*) que foi adquirido pela Unicamp - FEAGRI através de um projeto financiado pelo FINEP em 2009.

O *mote* XM2110 ilustrado na Figura A.1.1 e seu respectivo diagrama de blocos ilustrado na Figura A.1.2, opera na frequência de , usa um rádio ATMELRF230, é compatível com o padrão IEEE 802.15.4, é equipado com um transceptor de rádio frequência integrado com o microcontrolador Atmega1281V e compatível com a plataforma ZIGBEE (ZIGBEE, 2011). O *mote* é alimentado por duas baterias do tipo AA, seu alcance de rádio é de duas as três vezes maior do que as famílias de *motes* anteriores (MICAZ, MICA2, MICA2\_DOT) e foi duplicada sua capacidade de memória para programas. Executa o sistema operacional TinyOS 2.0 e pode executar programas escritos em linguagem NesC. O TinyOS foi concebido para trabalhar em RSSFs.



---

Figura A.1.1 - *Mote* XM2110 com antena padrão – Fonte: MPR/MIB User's Manual (2007).

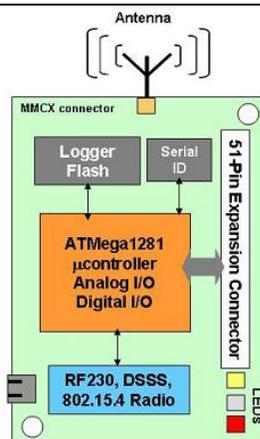


Figura A.1.2 - Diagrama de Blocos do *mote* XM2110 /IRIS – Fonte: MPR/MIB User’s Manual (2007).

Os *motés* XM2110 são equipados com o microcontrolador ATMEGA1281V, baseado na arquitetura AVR, opera na frequência de 7,37 MHz e trabalha com palavras de oito bits, possui 32 registradores de proposta geral (acumuladores) conectados diretamente a ULA (Unidade Lógica e Aritmética), é baseado no conjunto de instruções RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), permite operação em seis modos de energia, que é uma característica fundamental para RSSFs. Outras características deste microcontrolador são apresentadas na Tabela A.1.3.

Tabela A.1.3 Os principais recursos do Microcontrolador ATMEGA1281V – Fonte: manual Crossbow MPR-MIB (2007)

Recurso	Descrição
Memória de Flash	128 KB
EEPROM	4 KB
SRAM	8 KB
Registradores (Acumuladores)	32
Modos de energia	6
Interfaces	I2C, USART, SPI

O *chip* de rádio utilizado pelo XM2110 é o Atmels’s AT86RF230 compatível com o padrão IEEE 802.15.4 projetado para baixo consumo de energia e baixas tensões para aplicações de RSSF. Este sistema de rádio utiliza a modulação O-QPSK (*Offset Quadrature Phase Shift*

*Keying*). Opera na faixa de 2483,5 MHz divididos em 15 canais numerados de 11 a 26 de 5 MHz cada (2405 MHz a 2480 MHz) e pode obter taxas de transferência de até 250Kbps. A potência de transmissão pode ser programada através do sistema operacional embarcado TinyOS 2.0, utilizando o software de interface MoteConfig 2.0; a potência pode ser configurada entre 3 dBm e -17,2 dBm. A RSSI (*received signal strength indication*) é obtida diretamente da leitura do AT86RF230 e enviada em todos os pacotes de rádio.

O *mote* XM2110 conta com 512 Kbytes de memória externa do tipo *Flash* para armazenamento dos dados coletados e outras informações de usuários, podendo armazenar mais de 100.000 leituras.

A antena utilizada no *mote* XM2110 é denominada *whip*, tem 1,2 polegadas de comprimento e é caracterizada como um monopolo de quarto de onda, isto é, um quarto do tamanho de uma onda de rádio frequência de um sinal de 2483,5 MHz. Este tipo de antena permite que ondas de rádio sejam propagadas em todas as direções de um plano.

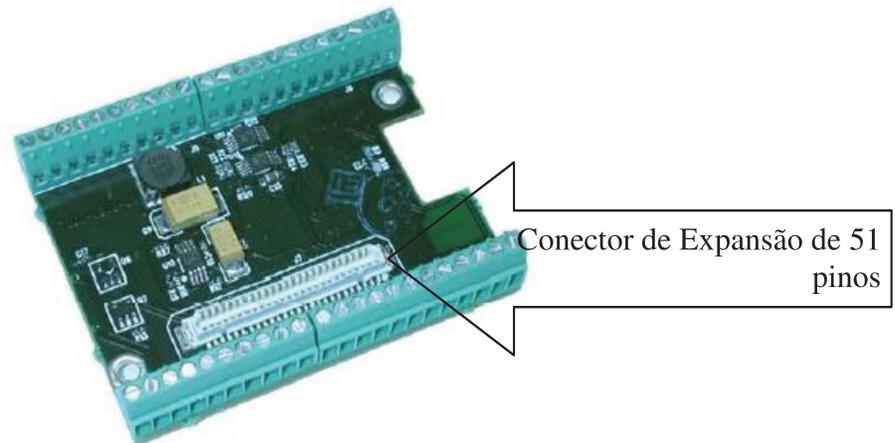
## **A.2 PLACAS SENSORAS**

As placas sensoras que acompanham o *kit* de RSSF são a MDA100 e a MDA300. A MDA100 é uma placa sensora que tem um termistor de grande precisão e um sensor de luz/fotocélula. Esta placa não foi explorada em nosso trabalho, portanto não serão descritos maiores detalhes sobre ela.

Já a placa sensora MDA300CA ilustrada na Figura A.2.1, foi utilizada neste trabalho em todos os testes realizados com a RSSF.

A MDA300CA foi concebida como uma plataforma para a medição geral. É acoplada ao *mote* XM2110 através do conector de expansão de 51 pinos e é alimentada pela mesma fonte de energia do *mote*. Suas principais aplicações são:

- instrumentação sem fio de baixa potência;
  - monitorar variáveis climáticas tais como umidade e temperatura;
  - agricultura de precisão e controle da irrigação, monitoramento de habitat;
  - análise de solo e controle de processos remotos.
- 



---

Figura A.2.1 Placa Sensora MDA300CA equipada com sensores de temperatura e umidade-  
Fonte: manual MTS/MDA Sensor Board User's Manual (2007).

### A.3 NÓS SENSORES

Os nós sensores são dispositivos compostos por um *mote* e por uma placa sensora. Os nós sensores explorados neste trabalho foram formados por um *mote* XM2110 e por uma placa sensora MDA300CA. A Figura 3.3.1 ilustra essa configuração.



Figura A.3.1- *Mote* XM2110 e uma placa sensora MDA300CA alimentados por duas baterias do tipo AA.

#### **A.4 PLACAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS – GATEWAY**

Além dos *motes* e das placas sensoras, o *hardware* que compõe a RSSF conta ainda com placas de aquisição de dados, que fazem o papel de *gateway* entre a RSSF e o computador que executa as aplicações de monitoramento e de gerenciamento da rede. Essas placas de aquisição são denominadas MIB520 e MIB600.

##### **A.4.1 PLACA DE AQUISIÇÃO MIB520**

A placa de aquisição MIB520 possui interface USB, permite a conexão dos *motes* das famílias IRIS e MICA através do conector de 51 pinos. É alimentada pelo barramento USB e comunica-se com o computador através da interface USB utilizando mapeamento de portas de comunicação (COM) virtuais, sendo uma porta de comunicação (COM) virtual dedicada à programação dos *motes* e a outra dedicada à comunicação dos dados relativos à rede. A Figura A.4.1.1 ilustra a MIB520.

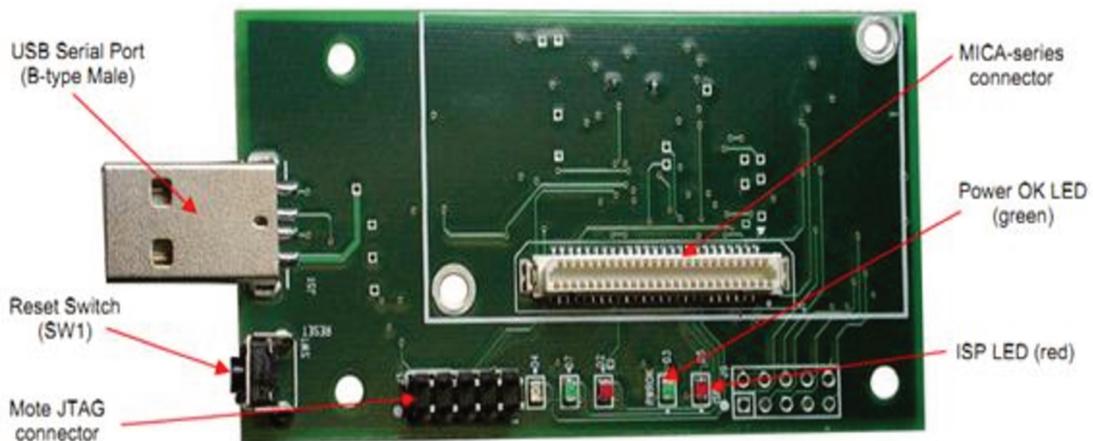


Figura A.4.1.1 – Placa de aquisição de dados MIB520 – Fonte: MPR/MIB User’s Manual (2007).

#### A.4.2 PLACA DE AQUISIÇÃO MIB600

A placa de aquisição MIB600 suporta conexões de *motest* das famílias IRIS e MICA através do conector de expansão de 51 pinos, é equipada com interface *Ethernet* (10/100 Base-T), que pode ser utilizada tanto para programação quanto para comunicação com os *motest*. Suas duas configurações padrão de funcionamento são:

- *Gateway Ethernet* para a RSSF;
- Uma interface de comunicação para programação dos nós e um canal de diagnósticos da RSSF.

Quanto a alimentação elétrica, pode ser feita através de uma fonte de 5V externa ou através da POE (*Power Over Ethernet*) utilizando um cabo de rede UTP *Crossover*. A Figura A.4.2.1 ilustra a MIB600.

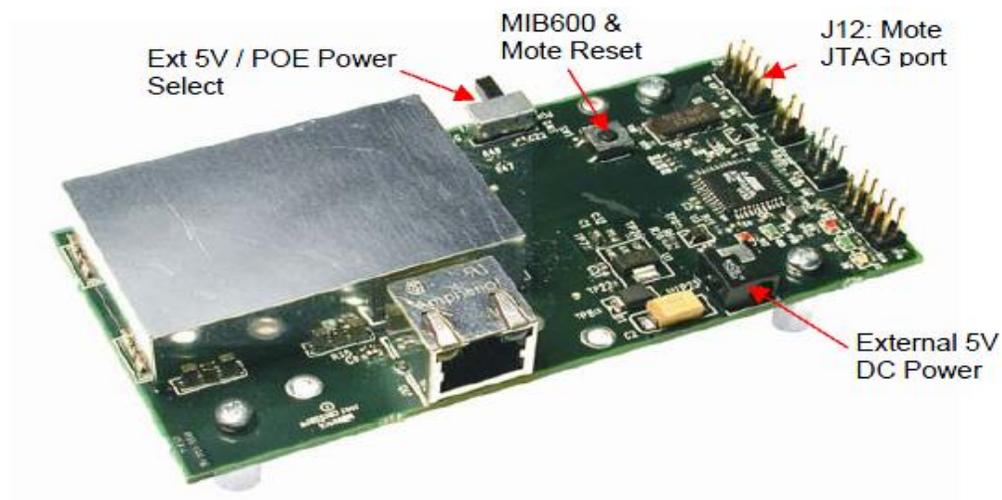


Figura A.4.2.1- Placa de aquisição de dados MIB600 – Fonte: MPR/MIB User's Manual (2007).

## A.5 ESTAÇÃO DE BASE

Tanto a MIB520, quanto a MIB600 podem ser configuradas junto a um *mote* para trabalhar como estação de base de comunicação do computador com a rede de sensores. Um *mote* da família IRIS ou MICA é instalado na placa de aquisição através do conector de expansão de 51 pinos, e uma aplicação TOSBASE (baseada nos algoritmos nativos do TinyOS) ou XMESHBASE (código baseado no protocolo de rede XMESH) é programada no *mote*.

Assim, tanto a MI520 quanto a MIB600 atuam como uma ponte (*bridge*) interligando a RSSF com o computador e a *Internet*. A Figura A.5.1 ilustra a RSSF utilizada neste trabalho.



Figura A.5.1 – Estação de base composta por duas placas de aquisição de dados executando funções de monitoramento e análise de tráfego de rede e três nós sensores.

## A.6 SOFTWARE

Acompanha este *kit* de RSSF um conjunto de *software* que opera sobre o protocolo de rede XMESH (XMESH, 2007) desenvolvido pela *Crossbow Technology Inc.* Este conjunto de *software* pode ser dividido em três categorias descritas nas subseções a seguir.

*Mote Tier* é uma aplicação que é executada nos nós sensores e que possui algoritmos de rede necessários para formação de um *backbone* que conecta todos os nós da rede até o servidor e faz o sensoriamento da região onde os nós estão instalados. Nesta categoria podemos citar XMDA300\_2110\_HP, XMDA300\_2110\_LP, XMDA100CB\_2110\_HP e XMDA100C\_2110\_LP.

A configuração destas aplicações nos nós sensores é realizada através do *software* de configuração desenvolvido pela *Crossbow Technology Inc.*, denominado MOTECONFIG 2.0. O Moteconfig 2.0 ilustrado na Figura A.6.1 é um utilitário baseado em Windows GUI (interface gráfica do sistema operacional Microsoft Windows) desenvolvido para programação dos *motes*.

Este utilitário proporciona uma interface simples e intuitiva para instalar aplicações (XMESH ou TinyOS) pré-compiladas nos *motes*. É possível definir através de sua interface o identificador do nó sensor, o identificador do grupo de trabalho dos nós sensores, a potência e o canal de rádio frequência em que os nós sensores irão operar. É possível ainda, ajustar a opção de reprogramação de todos os nós sensores através do OTAP (*Over the Air Programming*). É importante ressaltar que esta última opção só funcionará no modo de energia HP (*High Power*), onde os nós sensores ficam ligados continuamente.

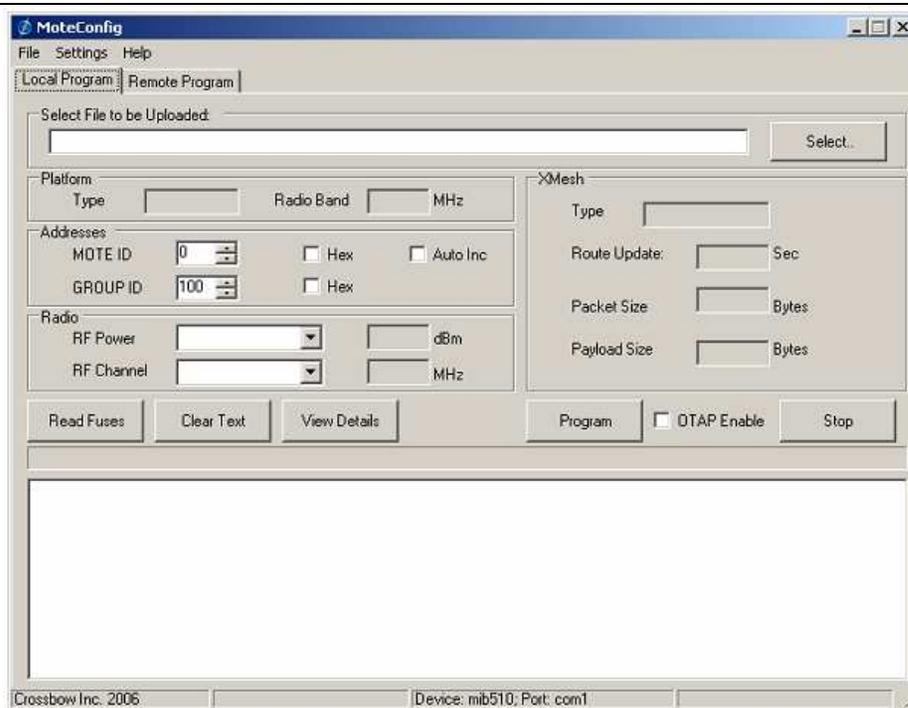


Figura A.6.1 – Tela do MOTECONFIG 2.0 – Fonte: MoteConfig 2.0 User’s Manual (2007).

Para estabelecer uma ponte entre a nuvem de sensores e o computador, uma aplicação denominada *Server Tier* é utilizada no computador, traduzindo e armazenando os dados oriundos da RSSF. Nesta categoria encontramos o XSERVE (XSERVE, 2007) e o XOTAP (XMESH, 2007).

XSERVE é uma aplicação versátil que permite monitorar e gerenciar a RSSF. Possui serviços básicos de roteamento, atua como intermediário entre as aplicações e a RSSF permitindo uma comunicação direta entre elas, e ainda, pode atuar como um conversor de dados,

convertendo dados que estão representados como unidades de pacotes em unidades de medida mais apropriadas. Todos os dados gerados pelas atividades da rede são armazenados em um banco de dados PostgreSQL (Sistema Gerenciador de Banco de Dados Objeto Relacional de código aberto). Os dados formatados pelo XSERVE são apresentados no formato XML (*eXtensible Markup Language*), que é uma recomendação mundial para linguagens de marcação de textos. Possui ainda suporte a serviços para *Internet*, tornando possível realizar as atividades de monitoramento e gerenciamento da RSSF através de acesso remoto.

O XOTAP é uma aplicação que trabalha em conjunto com o XSERVE ou diretamente com a porta serial da interface do computador (COM) e se comunica com a RSSF. Com XOTAP, é possível reprogramar os nós sensores remotamente utilizando a própria rede de sensores, sem que seja preciso reprogramar cada nó através do conector de expansão de 51 pinos da MIB520 e MIB600 já explicadas anteriormente neste trabalho.

Há também duas aplicações que fornecem ao usuário uma interface gráfica através da qual é possível ter uma visão geral do funcionamento da RSSF, bem como aplicar as funções de gerenciamento necessárias. Nesta categoria encontramos o XSNIFFER 1.0 que permite a visualização do tráfego de pacotes através da rede e o Moteview 2.0, que permite visualizar os dados que estão sendo monitorados bem como aplicar as funções de gerenciamento da rede (XMESH, 2007).

O XSNIFFER 1.0 é uma aplicação desenvolvida pela Crossbow Technology Inc. e permite o usuário monitorar a comunicação *multihop* em toda a RSSF. Esta aplicação é executada em um computador e utiliza um *mote* para monitorar o tráfego de pacotes de na rede. Duas aplicações caracterizam o XSNIFFER 1.0: um código TinyOS que é executado no conjunto formado por um *mote* XM2110 mais a placa de aquisição MIB520, e uma interface gráfica que é executada no computador, a qual permite visualizar ao comportamento da rede. Quando em operação, o XSNIFFER 1.0 captura todas as transmissões de pacotes geradas na RSSF e que chegam até a estação de base e armazena em um arquivo texto comum.

Com o XSNIFFER 1.0 é possível monitorar as atividades na rede, mais especificamente nas

seguintes situações:

- Formação da rede, monitorando a entrada ou saída de um nó da rede;
- O envio e recebimento de mensagens de atualização de rota, que são constantes quando a intensidade do sinal no receptor (RSSI) está em níveis muito baixos;
- A troca de mensagens de gerenciamento através dos pacotes de saúde da rede;
- Medir o tempo de resposta entre os nós da rede;
- Monitorar os pacotes de dados enviados pelos nós na rede e ainda, as características *multihop* comuns nessas redes;

A Figura A.6.2 ilustra a tela de LOGS (registros de eventos) do XSNIFFER 1.0. Cada tipo de mensagem é apresentado com uma cor específica, tornando mais fácil a tarefa de monitoramento da rede.

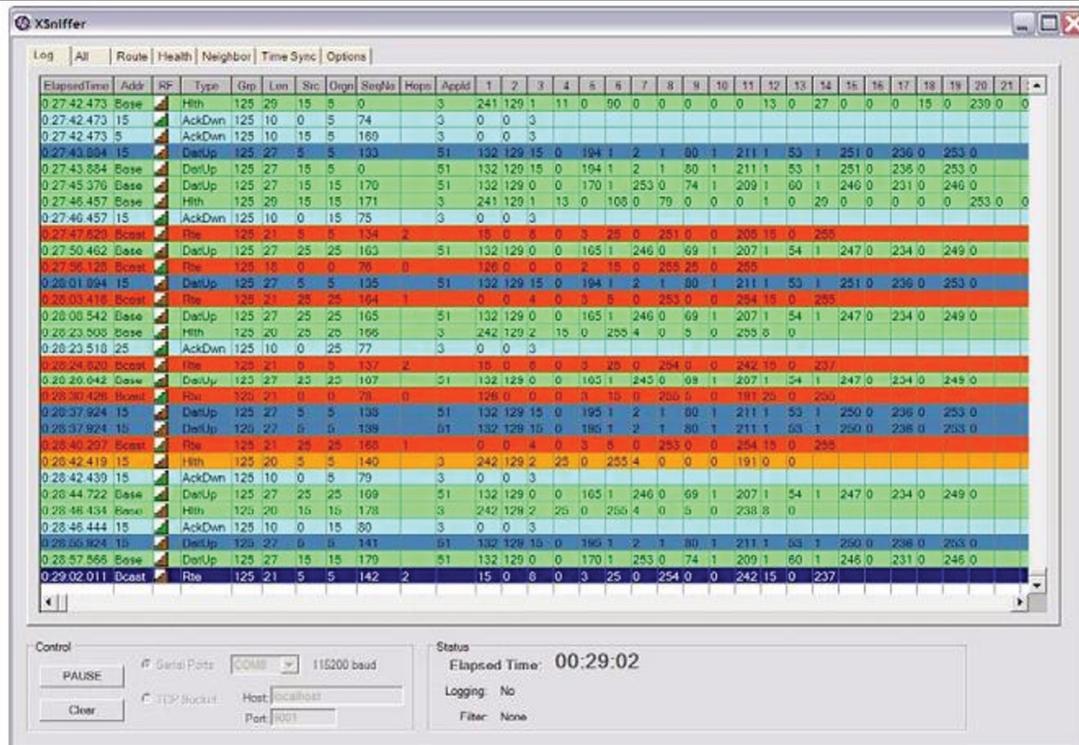


Figura A.6.2– Interface de LOGS (registro de eventos) disponibilizada pelo XSNIFFER 1.0 – Fone: XMesh User’s Manual (2007).

Com o Moteview 2.0 é possível monitorar os dados obtidos pelos nós sensores e observar o comportamento da RSSF em termos de: perda de pacotes, quantidade de retransmissões, pacotes reenviados, quantidade de pacotes de gerenciamento gerados através da rede, qualidade do link de rádio de cada nó sensor e estado das baterias.

Além disso, as tarefas de gerenciamento da rede são realizadas de maneira simples e transparente ao usuário. As leituras obtidas pelos nós sensores são disponibilizadas através de planilhas e que permitem facilmente detectar qualquer anormalidade. Todas as informações exibidas pelo MOTEVIEW 2.0 ficam armazenadas em um banco de dados POSTGRESQL 8.0, tornando mais fácil as tarefas de manipulação e interpretação dos dados relativos à região monitorada. A Figura A.6.3 ilustra a interface disponibilizada pelo MOTEVIEW 2.0.

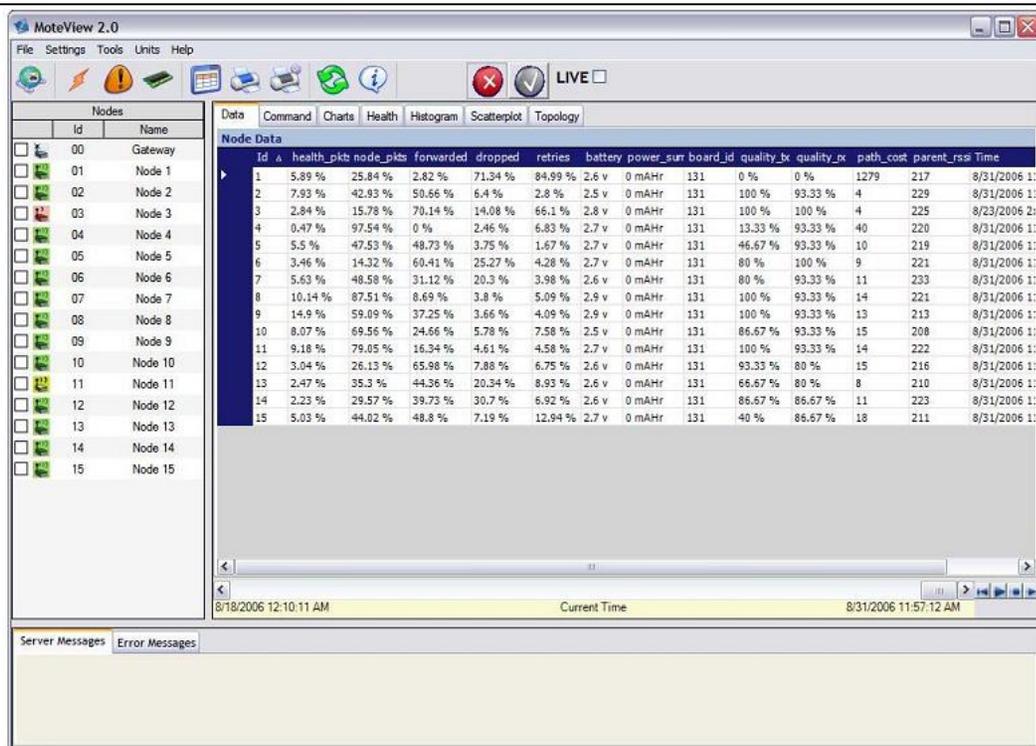


Figura A.6.3 - Interface disponibilizada pelo MOTEVIEW 2.0 – Fonte: XMesh User's Manual (2007).

## A.7 PROTOCOLO DE REDE XMESH

O protocolo de rede em malha XMESH (XMESH, 2007), foi desenvolvido pela *Crossbow Technology Inc* e é utilizado pelos nós na camada de rede. Este protocolo baseia-se em redes do tipo *ad hoc* e comunicação *multihop*, possibilitando a formação de diversas topologias de rede, seja estrela, ponto a ponto ou malha, em função das configurações dos modos de energia empregados. Para melhor entendimento suas características e funcionalidades serão descritas nas subseções seguintes.

### A.7.1 TOPOLOGIA DE REDE

Utilizando o protocolo de rede XMESH, as RSSFs podem ser configuradas em diversas topologias diferentes, cada uma com seu próprio conjunto de desafios, vantagens e desvantagens. As topologias adotadas são selecionadas com base nas características funcionais dos elementos que compõem este tipo de rede, descritas a seguir.

- Dispositivos de borda (*End points*): estes nós atuam nas bordas da rede e são capazes somente de monitorar o ambiente e enviar seus dados para um ponto de acesso, sendo desprovidos de capacidade de roteamento. Em redes ZIGBEE, são denominados RFDs (*Reduced Functional Devices*). O *mote* XM2110 poderá ser configurado para operar com um RFD somente se for programado com o modo de energia ELP (*Extended Low Power*), descrito mais adiante nesta seção.
- Roteadores (*Routers*): são nós capazes de estender a área de cobertura da rede, buscar rotas alternativas ao deparar-se com obstáculos, e ainda, manter tabelas de roteamento atualizadas, para os casos de contingência quando há congestionamento em algum ponto da rede. Em redes ZIGBEE são considerados FFDs (*Full Functional Devices*). O *mote* XM2110 pode operar como FFD por padrão, quando programados nos modos de energia HP (*High Power*) ou LP (*Low Power*).

- Portas de ligação (*Gateways*): agregam dados oriundos da rede, atuam como interface entre a RSSF e o computador ou rede local ou ainda com a *Internet*. Através do *gateway* é possível aplicar as operações de monitoramento e gerenciamento da RSSF.
- Sistema de *software*: fornece um protocolo de rede que permite a autoconfiguração e o autogerenciamento da rede.

Apoiados nas configurações dos elementos de rede descritas nesta seção são possíveis as seguintes topologias de rede:

- Topologia estrela: nesta configuração todos os nós comunicam-se diretamente com o ponto de acesso, não havendo nenhum tipo de comunicação entre eles. Todos os *motes* são idênticos, configurados para operar como RFDs, possuem alcance de comunicação entre 0m até 90m (em função da potência de sinal em que os *motes* foram configurados). Neste tipo de topologia, a área de cobertura fica limitada ao alcance de comunicação dos *motes*, e obstáculos pode impedir a comunicação em alguns pontos da rede. Contudo o consumo de energia é o mais baixo entre as topologias empregadas em RSSF.
- Topologia em Malha: nesta configuração, todos os nós são idênticos: são todos roteadores. A comunicação ocorre entre os nós e o ponto de acesso ou entre os próprios nós. Neste modo de operação, obstáculos que impeçam a comunicação podem ser contornados através dos roteadores (utilizando o protocolo XMESH), ampliando-se assim, a confiabilidade da rede. Além disso, a área de cobertura também é ampliada tendo em vista que múltiplos caminhos podem ser construídos dinamicamente para levar os dados de uma extremidade à outra da rede.
- Topologia híbrida: nesta configuração operam os nós com capacidades distintas. Os nós das bordas operam como RFDs e os nós centrais operam como FFDs. Diversas pequenas redes podem ser configuradas usando este modelo. Sua principal vantagem é aliar o baixo consumo de energia da topologia Estrela com a confiabilidade e capacidade de cobrir grandes áreas da topologia em Malha.

## A.7.2 MODOS DE ENERGIA

O protocolo XMESH disponibiliza três modos de energia nos quais os nós podem ser configurados.

- *HP (High Power)*: os nós configurados neste modo de energia ficam acordados durante todo o tempo, possuem capacidade de roteamento de pacotes, utilizam altas larguras de banda (praticamente ocupam todo o canal disponível), e tem baixa latência.
- *LP (Low Power)*: neste modo de energia, os nós utilizam baixa largura de banda, tem alta latência (ideal para aplicações que exigem baixas taxas de transmissão), possuem capacidade de roteamento de pacotes, permanecem dormindo a maior parte do tempo sendo acordados somente quando devem enviar ou receber mensagens, ou para checar o tráfego de rádio.
- *ELP (Extended Low Power)*: este modelo é o mais eficiente no consumo de energia, pois os nós permanecem a maior parte do tempo dormindo e ainda são tolhidos de capacidade de roteamento de pacotes, só podendo ser utilizados nas bordas da rede operando como RFDs em RSSFs que utilizam topologia estrela ou topologia híbrida.

## A.7.3 MÚLTIPLOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE

O protocolo XMESH fornece múltiplos serviços de transporte de dados. São eles:

- *Upstream*: entrega de pacotes de um nó para a estação de base;
- *Downstream*: entrega de pacotes da estação de base para o(s) nó(s);
- *Single Hop*: entrega de pacotes para a vizinhança do nó somente.

## A.7.4 MÚLTIPLOS MODOS DE QoS (QUALIDADE DE SERVIÇO )

O protocolo XMESH suporta dois modos de qualidade de serviço. São eles:

- *Best Effort* (Melhor Esforço): reconhecimento do nível de *link* onde os nós tentam várias vezes transmitir uma mensagem para seu vizinho imediato;
- *Guaranteed Delivery* (Garantia de Entrega): fornece um pacote de confirmação do recebimento da mensagem, por parte do destinatário para o remetente. Isso é feito tanto do nó para a estação de base, quanto da estação de base para o nó.

#### **A.7.5 HEALTH PACKET (PACOTE DE GERENCIAMENTO OU SAÚDE)**

Informações relativas ao desempenho da rede são de fundamental importância para as tarefas de gerenciamento e configuração. O protocolo XMESH suporta este recurso através de envios periódicos (normalmente a cada 2 minutos) de pacotes de saúde ou gerenciamento (*health packtes*), que contém informações de como está cada nó da rede.

As informações contidas nos pacotes de saúde ou gerenciamento (*health packtes*) dizem respeito ao tráfego de rádio, quantidade de pacotes enviados no intervalo de tempo, intensidade do sinal de rádio no receptor (RSSI), pacotes perdidos, tensão da bateria, taxa de retransmissões e pacotes de encaminhamento.

Essas informações podem ser visualizadas através do MOTEVIEW 2.0 mostrado na Figura A.7.5.1 e do XSNIFFER 1.0.

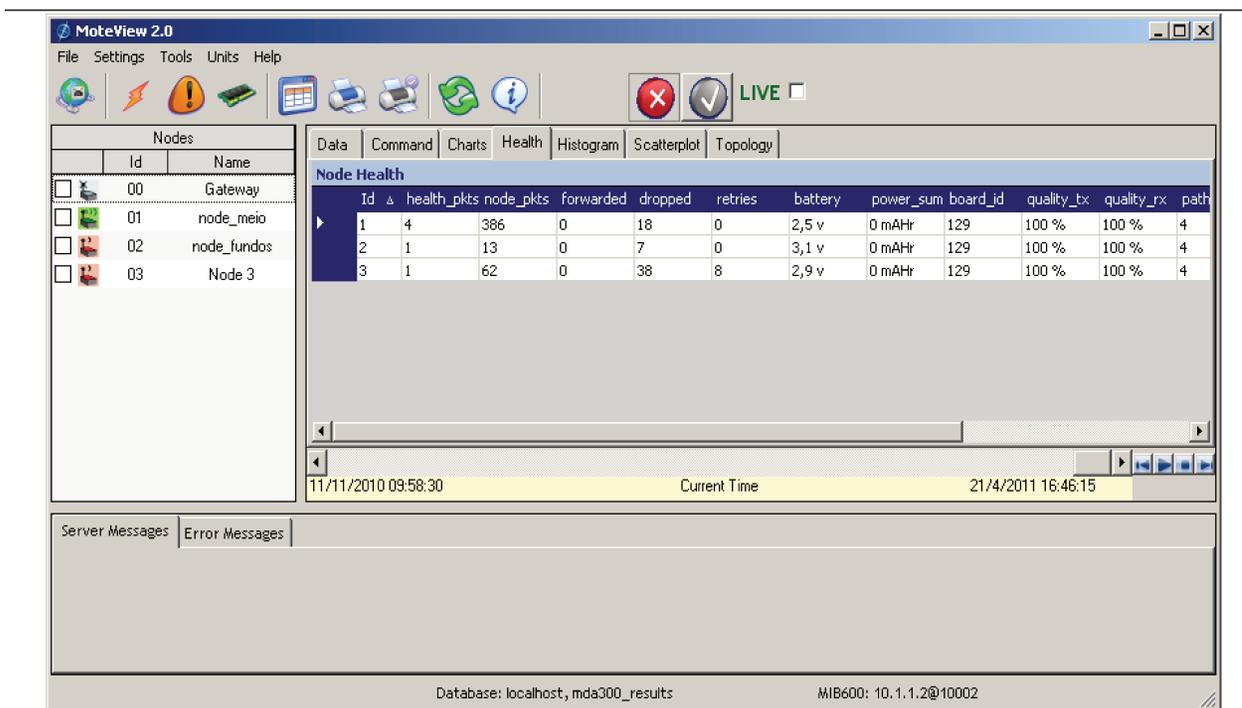


Figura A.7.5.1 - Tela do MOTEVIEW 2.0 exibindo informações do pacote de saúde referente a três nós sensores.

As informações contidas no pacote de saúde ou gerenciamento (*health packet*) são detalhadas a seguir.

- Identificação do nó sensor (*NodeId*): cada nó sensor é identificado na RSSF por um número inteiro na faixa de 1 a 9999. A estação de base sempre será identificada com o valor igual a zero (0).
- Pacotes de Saúde (*Health packets*): essa informação indica a quantidade de pacotes de gerenciamento que foram originados pelo nó desde a última inicialização do sistema. A informação é exibida em número de pacotes ou porcentagem de pacotes.
- Total de pacotes (*node packets*): este dado inclui todos os pacotes que foram gerados no nó desde a última inicialização do sistema. Entende por todos os pacotes: pacotes de saúde do nó, pacotes de saúde do vizinho e pacotes de atualização de rota. A informação é exibida em número de pacotes ou porcentagem de pacotes.

- Pacotes Encaminhados (*Forwarded Packets*): representa a quantidade de pacotes que o nó encaminhou de outros nós. A informação é exibida em número de pacotes ou percentagem de pacotes.
- Pacotes Perdidos (*Dropped Packets*): indica a quantidade de pacotes que o nó perdeu. É considerado perdido ou descartado um pacote que foi retransmitido oito vezes sem ter confirmação de entrega. A informação é exibida em número de pacotes ou percentagem de pacotes. Um grande número de pacotes perdidos indica que a rede está congestionada neste nó.
- Tentativas (*Retries*): representa o número total de retransmissões que o nó foi obrigado a fazer devido ao fato de que o nó não recebeu a confirmação de entrega do pacote.
- Tensão da Bateria (*Battery Voltage*): indica a tensão de energia residual disponível no nó.
- Soma de Energia (*Power Sum*): este valor é sempre 0 pois será utilizado em versões futuras da *Crossbow Technology Inc.*
- Identificação da Placa Sensora (*Board Id*): indica o tipo de placa sensora que está anexada ao mote.
- Qualidade do nível de *link* (*Quality level-link*): representa uma estimativa da qualidade de sinal de rádio (*ETX*) percebida por transmissor (*quality\_tx*) e receptor (*quality\_rx*). Seu valor é expresso por um número inteiro de 0 a 15 e corresponde a 0 a 100% e é obtido tomando-se como base a contabilização das colisões de pacotes. Esse valor é calculado utilizando-se a equação (A.7.5.2):

$$Quality = 1 / \text{número de retransmissões} \quad (\text{A.7.5.2})$$

onde:

*Quality* = estimativa da qualidade do sinal de rádio

*número de transmissões* = quantidade de pacotes transmitidos

- Custo do Caminho (*Path Cost*): é um valor estimado no número de transmissões necessárias para enviar um pacote de um nó até a estação de base. Esse cálculo considera a quantidade de saltos e o número de retransmissões por salto e é obtido pela equação (A.7.5.3):

$$Path\ Cost = 4 \cdot ETX \quad (A.7.5.3)$$

onde:

*Path Cost* = custo do caminho

*ETX* = estimativa do número de transmissões

O custo mais baixo é 4 e significa que o nó precisa de uma transmissão para enviar um pacote até a estação de base.

- RSSI do nó Pai (*Parent RSSI*): indica a intensidade do sinal de rádio percebido de um nó pai ou da estação de base. Esse valor é exibido como um número inteiro. Os valores obtidos do *software* MOTEVIEW 2.0 devem ser convertidos para dBm. Então se o valor lido for menor ou igual a 0, assume-se o valor -91 dBm; se o valor lido for maior do que 28, assume-se o valor -10 dBm; e se o valor estiver entre 1 e 28, utiliza-se equação(A.7.5.4).

$$P_{RF} = RSSI_{BASEVAL} + 3 \cdot (RSSI - 1) \quad (A.7.5.4)$$

onde:

$P_{RF}$  = nível do sinal no receptor;

$RSSI_{BASEVAL}$  = constante de valor igual a -91 e indica a sensibilidade do rádio;

$RSSI$  = é o valor lido diretamente pelo MOTEVIEW 2.0;

- Utilização da Largura de Banda: A largura de banda estabelece o valor máximo (em *bits* por segundo) de informação que pode ser trafegado por um canal de comunicação. O tráfego de informações entre os elementos da rede está limitado pela largura de banda disponível e consome certa quantidade dessa banda. Para determinar a largura de banda utilizada nos experimentos realizados, utiliza a equação (A.7.5.5).

$$LB = ((node_{pkts} + retries + dropped + forwarded) * 55 * 8) / (1024 * t) \quad (A.7.5.5)$$

onde:

$LB$  = largura de banda em kbps;

$node_{pkts}$  = total de pacotes de dados;

$retries$  = total de pacotes retransmitidos;

$dropped$  = total de pacotes perdidos;

$forwarded$  = total de pacotes encaminhados;

$t$  = unidade de tempo em segundos;

55 = tamanho do pacote em *bytes*;

8 = quantidade de *bits* em 1 *byte*

1024 = converter de *bytes* para kbps.

## A.7.6 TROCA DE MENSAGENS

Utilizando o protocolo XMESH os nós trocam mensagens entre si e são capazes de saltar mensagens através da rede até a estação base onde são armazenados em um computador ou cliente.

Saltar mensagens através da rede possibilita que dois nós que não estejam com visada direta ou alcance de rádio satisfatório, podem utilizar outros nós para encaminhar suas mensagens. Assim a mensagem saltará de nó em nó até atingir o seu destino. Utilizando este conceito, muitos caminhos se tornam disponíveis para que uma mensagem de um nó (A) possa ser encaminhada até um nó (B).

Dessa forma, a área de cobertura é ampliada, bem como a confiabilidade da entrega da mensagem. Os saltos de mensagens entre os nós são realizados com base nas tabelas de roteamento que cada nó mantém de seus nós vizinhos.

Periodicamente, os nós atualizam suas tabelas de roteamento com, no máximo 16 melhores vizinhos, ou seja, aqueles vizinhos que tenham melhor qualidade de rádio percebida pelo nó.

#### **A.7.7 REQUISIÇÃO RESPOSTA (RR)**

No presente trabalho, a RSSF utilizada trabalha em seu modo padrão, com o modelo de gerenciamento RR. Os nós carregam consigo uma base de informações de gerenciamento - MIB (*Management Information Base*), a qual contém informações sobre o desempenho atual do nó na RSSF. Periodicamente, os nós processam as informações contidas na MIB e as enviam encapsuladas em um pacote de gerenciamento ou pacote de saúde (*health packet*) para a estação de base e, esta por sua vez confirma o recebimento da informação através do envio de uma mensagem de confirmação (*acknowledgement*).

Pacotes de gerenciamento ou pacotes de saúde (*health packet*) possuem informações referentes à RSSI, tráfego de pacotes na RSSF e tensão residual da bateria. As informações contidas nesses pacotes são vitais para as atividades de gerenciamento da rede e é através delas que são realizados ajustes na topologia, potência do sinal de transmissão, substituição das baterias, alterações na periodicidade de aquisição de dados, e até mesmo a reprogramação completa de um ou mais nós.



# **ANEXO A – INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS PROGRAMAS NA ESTAÇÃO DE BASE E NOS NÓS SENSORES**

A instalação e a configuração da RSSF seguem alguns passos conforme orientações dos manuais que acompanham a RSSF Crossbow.

## **A.1 INSTALAÇÃO DOS PROGRAMAS NA ESTAÇÃO DE BASE**

Para realizar a instalação dos programas na estação de base, certifique-se de que todos os programas que acompanham a rede estejam corretamente instalados, conforme orientações dos manuais da Crossbow.

A Estação de base é composta de duas interfaces gateway, sendo que uma executa as atividades de gerenciamento da rede (através do Moteview 2.0) e outra analisa o tráfego de pacotes da rede (através do XSniffer 1.0).

### **A.1.1 INSTALAÇÃO DOS PROGRAMAS NA ESTAÇÃO DE BASE DE GERENCIAMENTO**

Uma vez que todos os programas estão corretamente instalados, execute o Moteconfig 2.0.

Após o carregamento do programa, será apresentada a tela da Figura A.1.1.2. Nesta tela, deverão ser configuradas as seguintes opções para realizar as configurações dos nós localmente.

1. Selecionar o programa XMDA300\_M2110\_hp.exe (se for utilizar o modo de energia HP) ou XMDA300\_M2110\_lp.exe (se for utilizar o modo de energia LP). Este arquivo pode ser encontrado em C:\Arquivos de programas\Crossbow\MoteView\xmesh\iris\MDA300.

2. Na caixa de combinação identificada como NODE ID, digitar o valor 0 (zero). A estação base deverá obrigatoriamente ser identificada como 0.
3. Na caixa de combinação identificada como GROUP ID, pode-se digitar um valor de 1 a 255. Este valor deverá ser o mesmo para toda a rede, pois indica o grupo de trabalho desta rede.
4. No grupo de opções de rádio, selecionar a potência de rádio e o canal de rádio frequência desejados.
5. Com o *mote* XM2110 conectado a MIB520, clicar no botão de comando PROGRAM. Aguarde a mensagem de SUCCESS!

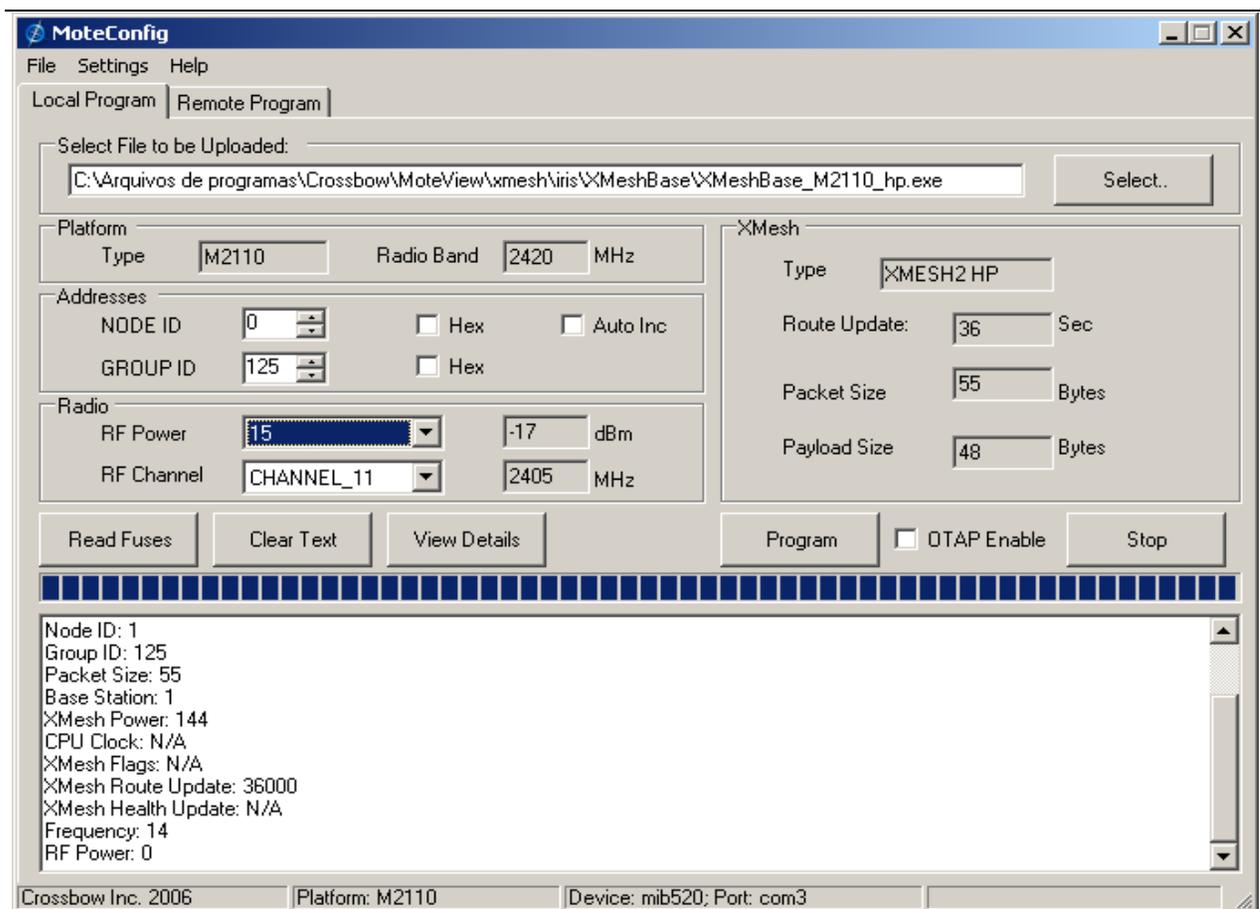


Figura A.1.1.2 – Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para a estação de base de gerenciamento.

## A.1.2 INSTALAÇÃO DOS PROGRAMAS NA ESTAÇÃO DE BASE DE ANÁLISE DE PACOTES DE REDE

Executar o Moteconfig 2.0 e seguir a seqüência abaixo.

1. Selecionar o programa XSniffer\_M2110\_2420.exe. Este arquivo pode ser encontrado em C:\Crossbow\XSniffer\XSniffer Firmwares.
2. Na caixa de combinação identificada como NODE ID, digitar um valor diferente de 0(zero).
3. Na caixa de combinação identificada como GROUP ID, deverá ser digitado obrigatoriamente 0(zero).
4. No grupo de opções de rádio, selecionar a mesma potência de rádio e o mesmo canal de rádio frequência configurados para a estação de base de gerenciamento.
5. Com o *mote* XM2110 conectado a MIB600, clicar no botão de comando PROGRAM. Aguarde a mensagem de SUCCESS! A Figura A.1.2.1 ilustra a tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para a estação de base de análise de pacotes de rede.

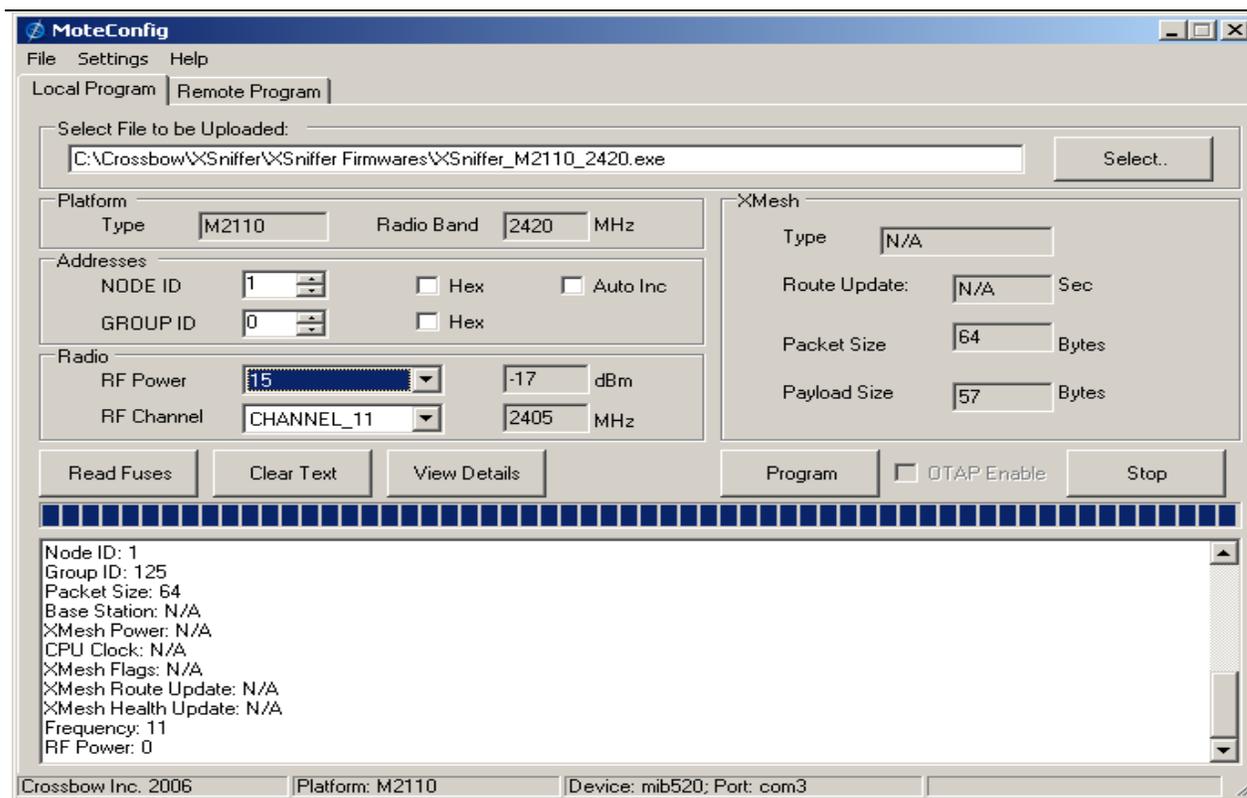


Figura A.1.2.1 - Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para a estação de base de análise de pacotes de rede.

## A.2 INSTALAÇÃO DOS PROGRAMAS NOS NÓS SENSORES

A instalação dos programas nos nós sensores pode ser feita da seguinte maneira. Com o Moteconfig em execução, seguir a seqüência abaixo.

1. Selecionar o programa XMDA300\_M2110\_hp.exe (se for utilizar modo de energia HP) ou XMDA300\_M2110\_lp.exe (se for utilizar modo de energia LP). Este arquivo pode ser encontrado em C:\Arquivos de programas\Crossbow\MoteView\xmesh\iris\MDA300.
2. Na caixa de combinação identificada como NODE ID, digite um valor diferente de 0(zero). Por exemplo, 1,2,3,...)
3. Na caixa de combinação identificada como GROUP ID, deverá ser digitado o mesmo valor usado para a configuração da estação de base de gerenciamento.
4. No grupo de opções de rádio, selecione a mesma potência de rádio e o mesmo canal de rádio frequência configurados para a estação de base de gerenciamento.
5. Com o mote XM2110 conectado a MIB520, clicar no botão de comando PROGRAM. Aguarde a mensagem de SUCCESS! A Figura A.2.1 ilustra a tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para os nós sensores.

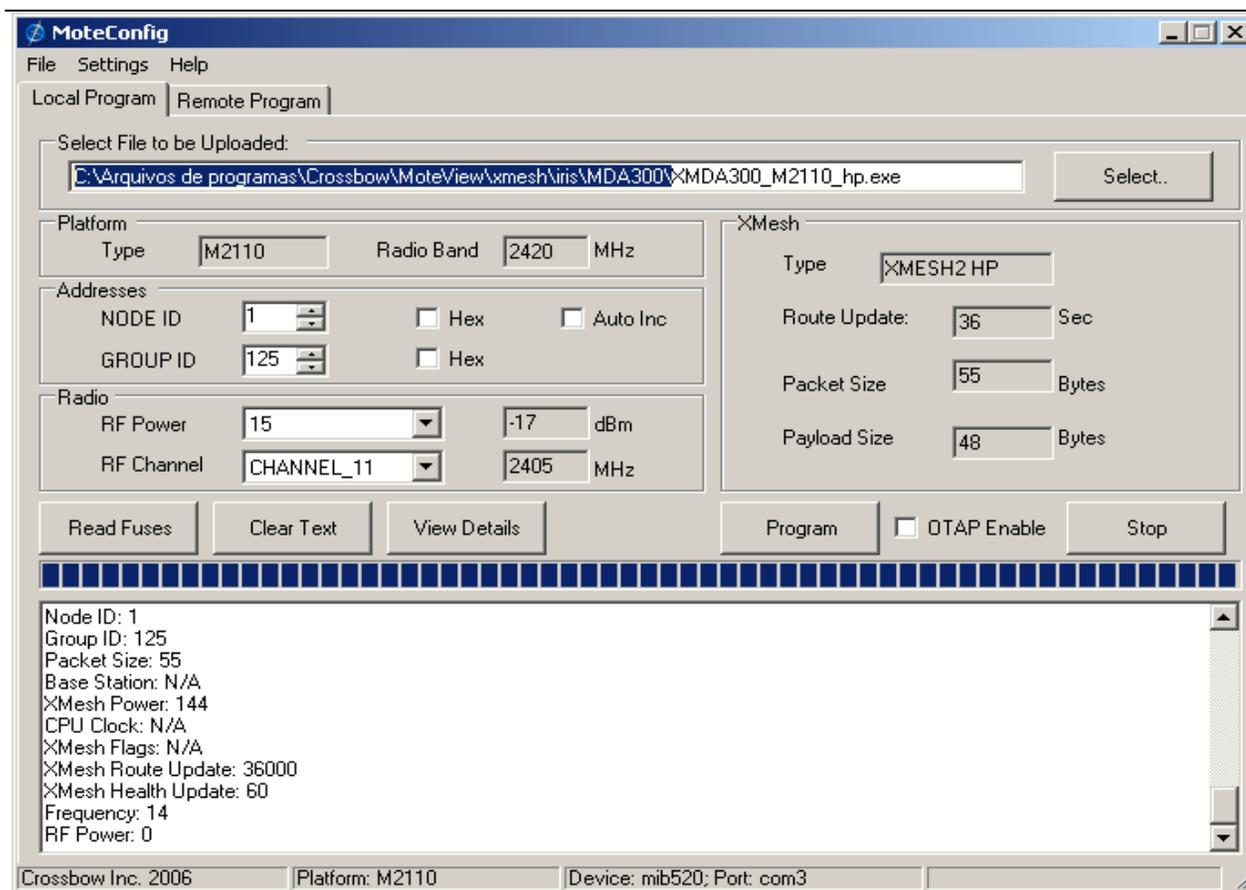


Figura A.1.2.1 - Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para os nós sensores.

Após a instalação dos programas na RSSF, pode iniciar os nós sensores a executar as operações de gerenciamento da rede através do Moteview 2.0 e análise do tráfego de pacotes da rede através do XSniffer 1.0.