

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO AGRÍCOLA DE FREDERICO WESTPHALEN  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO**

**O Uso de Simulação de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)  
para Gestão de TI em Ambientes Agrícolas**

**MONOGRAFIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**Pablo Miguel de Almeida Mucha**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil**

**2013**

# **O Uso de Simulação de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para Gestão de TI em Ambientes Agrícolas**

**por**

**Pablo Miguel de Almeida Mucha**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Tecnologia da Informação, Área das Ciências Exatas, da Universidade Federal de Santa Maria (USFM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Gestão de Tecnologia da Informação.**

**Orientador: Prof. Msc. Antônio Rodrigo Delepiane de Vit**  
**Co-Orientador: Prof. Msc. Fauzi de Moraes Shubeita**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil**

**2013**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Colégio Agrícola de Frederico Westphalen  
Programa de Pós-Graduação em Gestão de Tecnologia Da Informação**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Monografia de Especialização

**O Uso de Simulação de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)  
para Gestão de TI em Ambientes Agrícolas**

elaborada por  
**Pablo Miguel de Almeida Mucha**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Especialista em Gestão de Tecnologia da Informação**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Prof. Msc. Antonio Rodrigo Delepiane De Vit**  
(Presidente/Orientador)

**Prof. Msc. Roberto Franciscatto (UFSM)**

**Prof. Msc. Evandro Preuss (UFSM)**

Frederico Westphalen, 20 de julho de 2013.

## **RESUMO**

Monografia de Especialização  
Programa de Pós-Graduação em Gestão da Tecnologia da Informação  
Universidade Federal de Santa Maria

### **O USO DE SIMULAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSF) PARA GESTÃO DE TI EM AMBIENTES AGRÍCOLAS**

AUTOR: PABLO MIGUEL DE ALMEIDA MUCHA  
ORIENTADOR: ANTÔNIO RODRIGO DELEPIANE DE VIT  
CO-ORIENTADOR: FAUZI DE MORAES SHUBEITA

A atividade do agronegócio brasileiro vem evoluindo de forma acelerada e, nada mais natural que aplicar novas tecnologias a fim de alcançar novos objetivos e, por consequência, o aumento da produtividade. Um exemplo disso é a utilização de sistemas tecnológicos destinados ao monitoramento de áreas de irrigação, onde a conservação dos recursos hídricos implica na necessidade em desenvolver métodos, os quais permitam maximizar o uso eficiente dos recursos. Dessa forma, as RSSF são ideais para essa realidade, uma vez que possibilitam a realização do monitoramento através da utilização de sensores, os quais realizam a coleta de informações para, posteriormente, serem processadas e analisadas. Diante da iminência pela implementação de um novo projeto de uma RSSF, o empresário necessita conhecer quais serão as reais necessidades e exigências para o funcionamento correto dessa rede. Nesse sentido, cabe ao Gestor de TI demonstrar os benefícios da utilização de uma nova tecnologia, bem como, comprovar que os investimentos irão proporcionar os resultados esperados e, independente do tipo de projeto, os Simuladores de Rede são ferramentas capazes de auxiliar na tomada de decisão, já que possibilitam realizar uma previsão de como o sistema se comportará no ambiente real, sem a necessidade da utilização de nenhum tipo de *hardware* específico. Dessa forma, a presente pesquisa dedicou-se em estudar a utilização de simuladores de rede para projetar um ambiente destinado ao sensoriamento, buscando verificar se essas ferramentas podem embasar a tomada de decisão de um Gestor, bem como, avaliar e comparar a melhor configuração para uma rede nesse ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes de Sensores Sem Fio; Simulação; Gestão de TI

## **ABSTRACT**

Monograph Specialization  
Graduate Program in Management of Information Technology  
Federal University of Santa Maria

### **THE USE OF SIMULATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSN) MANAGEMENT FOR IT IN AGRICULTURAL ENVIRONMENTS**

AUTHOR: PABLO MIGUEL DE ALMEIDA MUCHA  
ADVISER: ANTÔNIO RODRIGO DELEPIANE DE VIT  
CO-ADVISER: FAUZI DE MORAES SHUBEITA

The activity of Brazilian agribusiness has been evolving at a rapid pace, and it was natural to apply new technologies to reach new goals and therefore increased productivity. An example is the use of technological systems for the monitoring of irrigation areas, where conservation of water resources implies the need to develop methods to maximize efficient use of resources. Thus, WSNs are ideal for this situation, since that enable the realization of monitoring through the use of sensors, which held the collection of information should then be processed and analyzed. Given the imminent implementation of the new design of a WSN, the entrepreneur needs to know what are the actual needs and requirements for the proper functioning of this network. In this sense, it is the IT manager to demonstrate the benefits of using a new technology, as well as prove that the investments will deliver the expected results. Whatever type of project, network simulators are tools that can assist in decision making, since enabling a prediction of how the system will behave in the real environment, without the use of any specific hardware. Thus, this research devoted to studying the use of network simulators to design an environment intended for sensing seeking to verify if these tools can base the decision making of a manager as well as assess and compare the best configuration for in a network environment.

**KEYWORDS:** Wireless Sensor Networks, Simulation, IT Management

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Componentes de uma rede sem fio infra-estruturada.....	23
Figura 02: Roteamento em redes ad hoc. ....	25
Figura 03: Arquitetura básica de uma RSSF. ....	27
Figura 04: Componentes de um nó sensor. ....	29
Figura 05: Transmissão multi-hop numa RSSF. ....	29
Figura 06: Esquema de Roteamento Plano.....	35
Figura 07: Esquema de Roteamento Hierárquico.....	35
Figura 08: Etapas do método científico para cenários de rede.....	41
Figura 09: Componentes de software da ferramenta NS-2.....	43
Figura 10: Ilustração do processo de criação e resultados da simulação.....	44
Figura 11: NAM – Network Animator.....	45
Figura 12: Estrutura modular do OMNeT++.....	46
Figura 13: Disposição dos nós.....	50
Figura 14: Modelo Proposto.....	51
Figura 15: Divisão hierárquica em um ambiente rural.....	52
Figura 16: Comparativo da evolução dos custos do sistema com e sem aplicação da simulação .....	53
Figura 17: Distribuição em grade dos nós sensores.....	59
Figura 18: Formação da rede com 2 clusters.....	61
Figura 19: Formação da rede com 4 clusters.....	61
Figura 20: Formação da rede com 6 clusters.....	61
Figura 21: Formação de rede com 9 clusters.....	61
Figura 22: Gráfico com o tempo de duração da rede.....	62
Figura 23: Gráfico com a quantidade de dados transmitidos.....	62
Figura 24: Análise do tempo de vida útil da rede.....	64
Figura 25: Análise da quantidade de dados transmitidos.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Classificação quanto à configuração de uma RSSF. ....	31
Quadro 02: Classificação quanto à coleta de dados de uma RSSF. ....	32
Quadro 03: Classificação quanto à comunicação de uma RSSF. ....	32
Quadro 04: Classificação quanto ao processamento de uma RSSF. ....	33
Quadro 05: Resumo das simulações realizadas.....	63
Quadro 06: Variação da quantidade de nós sensores .....	66
Quadro 07: Variação do posicionamento da estação base.....	67

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1 Objetivos</b> .....	12
1.1.1 Objetivo Geral .....	12
<b>1.2 Estrutura do Documento</b> .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1 Gestão de TI .....	15
2.1.1 Gestão de TI Para Agricultura de Precisão.....	16
2.1.2 A Simulação e a Gestão de TI .....	17
<b>2.2 Redes de Computadores</b> .....	18
2.2.1 Redes Sem Fio .....	19
2.2.1.1 Técnicas de transmissão .....	20
2.2.1.2 Transmissão de Rádio.....	20
2.2.1.3 Transmissão de Microondas .....	21
2.2.1.4 Transmissão de Ondas de Infravermelho .....	22
2.2.1.5 Transmissão por Ondas de Luz .....	22
2.2.2 Redes Sem Fio Infra-estruturadas .....	23
2.2.3 Redes Sem Fio <i>Ad hoc</i> .....	24
<b>2.3 Redes de Sensores Sem Fio – RSSF</b> .....	25
2.3.1 Princípios das Redes de Sensores Sem Fio .....	26
2.3.2 Características.....	28
2.3.3 Componentes .....	28
2.3.3.1 Nodos Sensores .....	29
2.3.3.2 <i>Gateway</i> .....	30
2.3.3.3 Estação Base .....	31
2.3.4 Classificação.....	31
2.3.5 Roteamento de Rede de Sensores Sem Fio .....	33
2.3.5.1 Algoritmo de Roteamento Plano .....	34
2.3.5.2 Algoritmo de Roteamento Hierárquico .....	35
2.3.5.2.1 Protocolos Hierárquicos .....	36
2.3.5.2.2 <i>Leach – Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy</i> .....	38
2.3.5.2.3 <i>Leach-c – Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized</i> .....	40
<b>2.4 Simulação</b> .....	41
2.4.1 Simuladores de Rede .....	43
2.4.1.1 NS-2.....	43
2.4.1.2 OMNeT++ .....	45
2.4.1.3 WiNes .....	47
<b>2.5 Trabalhos Relacionados</b> .....	47
<b>3 TRABALHO DESENVOLVIDO</b> .....	50
<b>3.1 Considerações Iniciais</b> .....	50
<b>3.2 Resultados Esperados</b> .....	54
<b>3.3 Contexto da Simulação</b> .....	55
3.3.1 Definição do Algoritmo de Roteamento.....	55
3.3.2 Definição do Simulador.....	55
3.3.3 Projeto <i>μAMPS</i> .....	57
<b>3.4 Definição do Cenário</b> .....	57
<b>3.5 Simulações e Resultados Alcançados</b> .....	60



3.5.1 Parâmetros Iniciais .....	60
3.5.2 Variação da Quantidade de <i>Clusters</i> .....	60
3.5.3 Primeira Rodada de Simulação: Tempo de Vida da Rede.....	61
3.5.4 Segunda Rodada de Simulação: Transmissão dos Dados .....	62
3.5.5 Resumo das Simulações Efetuadas .....	63
3.5.6 Variação da quantidade de nós .....	65
3.5.7 Variação do Posicionamento da Estação Base .....	66
<b>3.6 Análise dos Resultados</b> .....	<b>68</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>
<b>ANEXO A – Instalação do Simulador NS-2</b> .....	<b>80</b>

## INTRODUÇÃO

No atual cenário, a informação é determinante para o sucesso no ambiente organizacional, tornando-se assim, fator estratégico para o desenvolvimento do negócio. Nesse contexto, o uso da Tecnologia da Informação agiliza os processos de geração de informação em um ambiente cada vez mais complexo e menos previsível, conseqüentemente mais dependente dos dados e da infra-estrutura tecnológica.

Da mesma forma, os avanços na agricultura têm sido obtidos graças aos avanços agronômicos e da biotecnologia, além desses, nos últimos anos a utilização da eletrônica, dentro do contexto da agricultura de precisão, tem baseado um tratamento diferenciado para cada porção das áreas de produção, de acordo com as suas necessidades específicas.

Normalmente, os dispositivos utilizados para a coleta dos dados não permanecem nas lavouras. As informações são colhidas esporadicamente, quando é feita uma operação específica de amostragem. Nesse sentido, a quantidade de informação disponível é pequena, correspondendo ao número de vezes em que se foi a campo coletá-las.

No contexto da agricultura de precisão, existe uma necessidade cada vez maior do acesso às informações das áreas de produção de forma contínua, através da utilização de sensores que permaneçam no campo. Dados como umidade, temperatura, monitores de pragas e outros, se disponíveis continuamente, poderiam abrir novas portas para a agricultura de precisão, que hoje completa seus ciclos com dados anuais ou sazonais, correspondentes às safras.

As informações colhidas por sensores em campo poderiam estar disponíveis para os tomadores de decisões de forma prática, econômica e eficiente, proporcionando aos mesmos, dados que pudessem subsidiar suas ações e por conseqüência, uma maior otimização da sua produção.

O uso da tecnologia pode ser utilizado juntamente com sistemas destinados à irrigação, onde o produtor precisa obter dados constantes das condições do ambiente para que se possa fazê-la de forma eficiente. No caso de culturas como o milho e soja, caso a irrigação ocorra de forma exagerada, poderá ocasionar perdas de produtividade e ataque de pragas e doenças que, em sua maioria, encontram o ambiente propício de infestação quando o nível de umidade estiver alto, além de desperdiçar um recurso natural cada vez mais escasso.

A conservação dos recursos hídricos implica na necessidade de desenvolver métodos para maximizar o uso eficiente da irrigação, como utilizar um conceito baseado em setores na área de plantio, onde o sistema de irrigação é espacialmente diferenciado, e somente áreas com deficiência hídrica são irrigadas, evitando assim, o desperdício de água e também, diminuindo o custo com o consumo de energia para acionamento das bombas de irrigação (Torre-Neto, 2007).

Nesse sentido, a utilização de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), pode ser aplicada para essa realidade. Uma RSSF é formada por um grande número de nós sensores distribuídos em uma área de interesse, interconectados por uma tecnologia de comunicação, como por exemplo: radiofrequência. Cada nó sensor pode adquirir dados relativos ao estado de variáveis de interesse do ambiente monitorado, incluindo, por exemplo, temperatura, pressão, umidade, ruído e luminosidade (Sausen, 2008). As RSSF possibilitam assim, uma melhor compreensão do ambiente monitorado quando comparado a Redes Sem Fio (*Wireless Networks*) em virtude, por exemplo, de funcionarem em ambientes inóspitos e dispensarem uma infraestrutura complexa para operarem (Akyildiz et al, 2002) e (Iyer; Kleinrock, 2003).

As áreas de aplicação das RSSF são inúmeras, vários trabalhos citam a utilização dessa tecnologia em área desde a medicina até o controle industrial. Sua utilização é interessante onde haja a necessidade de monitoramento constante de variáveis físicas, de forma autônoma. Alguns campos de potencial aplicação para RSSF são o monitoramento ambiental (Mittal; Bhatia, 2010), a prevenção de acidentes (Rajesh; Muruganandam, 2012), a automação predial (Osterlind et al., 2007), a assistência médica (Baker et al., 2007) e a agricultura (Polpitiya; Prasanna, 2012).

Assim, diante da iminência pela aceitação da implementação de um novo projeto de uma RSSF, o empresário rural necessita conhecer quais serão as reais necessidades e exigências para o funcionamento correto dessa rede. Nesse sentido, cabe ao Gestor de TI demonstrar quais serão os benefícios da utilização dessa nova tecnologia, bem como, apresentar e comprovar que os investimentos irão proporcionar os resultados esperados.

Independentemente do tipo de projeto, os Simuladores de Rede são ferramentas que podem auxiliar na tomada de decisão, já que possibilitam realizar a previsão de um ambiente real, sem a necessidade da utilização de nenhum tipo *hardware* específico. Através dessas, é possível emular diferentes cenários, sistemas e equipamentos envolvidos no projeto,

permitindo colher informações sobre as variações e modificações que foram testadas, a ponto de conseguir dados que comprovem ou não, a viabilidade da solução.

Com a utilização dessas ferramentas, torna-se possível obter arquivos contendo dados, os quais descrevem os principais eventos ocorridos na rede, essas informações podem ser analisadas e comparadas, garantindo a viabilidade e o direcionamento para a implantação de um projeto real, e dessa forma, o Gestor terá a certeza do que será necessário para o sucesso da implementação, evitando prejuízos com aquisições desnecessárias, insuficientes ou ineficientes.

Esse trabalho caracteriza-se no desenvolvimento de um modelo funcional de simulação, o qual possa embasar o Gestor de TI, na identificação das reais necessidades para implementação de um novo projeto de uma Rede de Sensores Sem Fio.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Ao nível de Gestão Organizacional, esse estudo tem por objetivo comprovar que os *softwares* para simulação de rede são ferramentas que podem proporcionar ao Gestor de TI, dados inerentes ao processo decisório, onde as informações são resultantes de simulações que modelam o comportamento das variações no mundo real, além de oferecer dados relativos a estimativas dos investimentos necessários.

Esse trabalho também procura identificar os aspectos tecnológicos, visando definir o melhor cenário de configuração de uma RSSF, o qual busca alcançar o melhor desempenho para o monitoramento de uma área agrícola. Para a realização desse trabalho será utilizado o simulador *Network Simulator* na versão 2.34, juntamente com componente desenvolvido inicialmente pelo projeto  $\mu$ AMPS do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), o qual permitirá simular o uso de RSSF hierárquicas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Esse estudo tem por objetivo o desenvolvimento de uma simulação que possa modelar uma área destinada à Agricultura de Precisão que utiliza sistemas de irrigação. Dessa forma, busca-se identificar os melhores parâmetros para implementação do projeto, entre eles, os seguintes:

- Verificar a melhor configuração para a montagem de uma RSSF hierárquica, através da utilização do conceito de *clusters*;
- Escolher o algoritmo de roteamento que melhor adapta-se a essa necessidade;
- Identificar a quantidade de nós sensores necessários para cobrir toda a área de monitoramento;
- Verificar se os nós sensores terão energia suficiente para monitorar a rede, durante um determinado período de tempo.

Deste modo, com o intuito de identificar essas características serão realizadas diversas simulações e análises, para diferentes configurações de rede. Essas análises poderão viabilizar a criação de uma RSSF, para o monitoramento real, pois os parâmetros ideais de configuração serão conhecidos, e a montagem e configuração da rede poderão ser guiadas por esses parâmetros.

## 1.2 Estrutura do Documento

Esse trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre as Redes de Sensores Sem Fio, além de apresentar a utilização de ferramentas capazes de simular essa tecnologia, para tanto, o estudo está organizado da seguinte forma:

No Capítulo 2 é abordada uma série de conceitos básicos necessários para a melhor compreensão da presente monografia. Ainda nesse Capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica, abordando principalmente os conceitos e as tecnologias envolvidas em Redes de Sensores Sem Fio, conceitos relativos às técnicas de simulação e ferramentas simuladoras de rede, além de abordar o papel da simulação para a Gestão de TI.

O Capítulo 3 apresenta o desenvolvimento do trabalho, onde consta a escolha pela ferramenta de simulação, bem como, a definição dos algoritmos de roteamento que serão estudados e avaliados, além dos testes e simulações realizadas, com o objetivo de verificar a melhor configuração de uma RSSF, para o ambiente proposto.

Para finalizar são apresentadas as conclusões e considerações finais sugeridas nesse trabalho de Pós-Graduação.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo é apresentado o referencial bibliográfico responsável pelo suporte necessário para dar sequência ao estudo inicialmente proposto. O mesmo apresenta os principais conceitos abordados no decorrer do desenvolvimento da presente Monografia, a fim de auxiliar na identificação das necessidades da implantação de um modelo de Simulação para Redes de Sensores Sem Fio. Buscando facilitar o entendimento e fundamentar o desenvolvimento desse trabalho, são apresentados conceitos relacionados às Gestão de TI, Redes de Computadores, Métodos de Transmissão, Redes de Sensores Sem Fio - RSSF, Protocolos de Roteamento, e Técnicas de Simulação.

### **2.1 Gestão de TI**

A Tecnologia da Informação proporciona às organizações suporte para auxiliar nos processos de gestão e tomada de decisões. Entretanto, o sucesso na aplicação dos elementos da TI depende do seu alinhamento às estratégias das organizações. Assim, a adoção, ainda que parcial, das boas práticas da Gestão de TI é apontada como um importante fator para aprimorar a gestão de um negócio.

Magalhães (2007), descreve o papel da TI como uma estratégia competitiva, principalmente pelas novas possibilidades de negócios que são proporcionados. As ferramentas atualmente disponibilizadas pela TI possibilitam aos gestores de empresas o aprimoramento da gestão. Essas ferramentas podem ser utilizadas para auxiliar o processo de tomada de decisões, reduzindo custos e melhorando a comunicação interna e com clientes, fornecedores e prestadores de serviços.

Nesse contexto, as organizações já estão mais maduras em relação ao assunto e tomam decisões mais estratégicas que levam em conta não apenas custo, mas a criticidade de cada processo da área de TI para a geração de valor para a organização (Duarte, 2003).

Para a maioria das organizações, já é passado remoto o tempo em que a área de TI poderia limitar-se apenas à entrega de produtos de tecnologia, atuando como um provedor de tecnologia, com sua atenção exclusivamente dedicada ao gerenciamento da infraestrutura de

informática. Com o passar do tempo, a área de TI está sendo incentivada a elevar sua maturidade em termos de atuação dentro da organização, e a tendência é de se tornar um parceiro estratégico dos demais setores de negócio que compõem a organização, dotando-se de uma forte Governança de TI, alinhada com a Governança Corporativa (Magalhães, 2007).

### 2.1.1 Gestão de TI Para Agricultura de Precisão

Segundo estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2011), a Agricultura de Precisão visa o gerenciamento mais detalhado dos sistemas de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todos os processos envolvidos na produção.

Nesse contexto, nos últimos anos a Agricultura de Precisão, vem se utilizando de novas soluções de instrumentação agrícola, a exemplo disso, a Gestão da Tecnologia Informação desempenha meios para a geração de indicadores para o suporte de decisão, quanto ao tipo de manejo mais apropriado e eficiente (Oliveira, 2009).

Além disso, o autor afirma que a Agricultura de Precisão utiliza-se também, de um conjunto de sistemas para posicionamento e mapeamento digital, orientando a captação de dados oriundos de sensores e imagens de alta resolução, que permitem monitorar e quantificar os principais parâmetros da produção agrícola, com alta precisão espacial.

Diante da alta expansão do mercado do agronegócio, cada vez mais, o gerenciamento dos sistemas de produção agrícola se confrontam com o desafio de ponderar as decisões estratégicas e operacionais, levando em consideração o uso dos conhecimentos obtidos através das novas tecnologias aplicadas ao campo. A inexistência de sistemas que permitam um acesso amplo e facilitado aos diferentes métodos de análise e planejamento eficientes agrava a demora na determinação de ações. Muitos agricultores demonstram grande incerteza quanto ao risco econômico envolvido em um tipo de manejo que requer significativo aporte de investimentos na fase de implantação, e com uma estimativa de tempo alto, para o retorno do capital aplicado (Oliveira, 2009).

Com isso, a informação técnica é um elemento-chave em todo processo de inovação em pesquisa do setor agropecuário, o qual se defronta com os desafios da Gestão da Tecnologia da Informação que são comuns a outras organizações. Entre esses desafios está a necessidade de incorporar o conhecimento tácito e científico no planejamento e execução dos processos de produção (Oliveira, 2009).



Assim, a Tecnologia da Informação pode auxiliar o produtor a gerir melhor o seu empreendimento, através de um controle de custos, investimentos e de suprimentos, bem como, auxiliar na otimização dos fatores de produção do campo, minimizando desperdícios e incrementando a produtividade.

### 2.1.2 A Simulação e a Gestão de TI

No mundo contemporâneo cada vez mais, a Gestão de TI torna-se fundamental para o aumento da eficiência e da qualidade organizacional. A utilização da Tecnologia da Informação agiliza processos, tornando-os mais úteis e mais precisos, além de agregar maior valor (Vit; Da Rosa, 2009).

A simulação é uma importante técnica de avaliação de soluções existentes ou de novas propostas, ao se comparar com outras técnicas de análise, a simulação é a mais aconselhada na área de redes de computadores, pois possibilita a modelagem de um ambiente mais próximo ao mundo real (Utzig, 2007).

Guedes (2005), mostra que as ferramentas de simulação para redes de computadores, nesse caso específico, as utilizadas em ambientes de RSSF, trazem ao Gestor de TI, informações importantes para a escolha, implementação e avaliação de uma nova solução tecnológica, dentre os vários motivos que tornam a simulação, uma ferramenta que pode auxiliar o nível gerencial das organizações, estão os seguintes:

- a) **Avaliação de *hardware*:** as técnicas de simulação permitem avaliar e testar a utilização de novos equipamentos, bem como, novos arranjos físicos dentro do ambiente organizacional, sem que haja a necessidade de realizar investimentos com novas aquisições;
- b) **Avaliação de novos procedimentos:** novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxo de informação, podem ser estudados sem causar nenhum tipo de interferência nas operações do sistema real;
- c) **Avaliação de protocolos:** possibilita realizar experimentos para analisar o comportamento de protocolos em diferentes ambientes de rede, cuja preparação para testes reais em laboratório ou em um ambiente corporativo, poderia ser impraticável, por questões de custo, tempo ou até mesmo pelo ponto de vista

administrativo;

- d) **Baixo custo:** em alguns casos os experimentos de novas tecnologias envolvem investimentos na aquisição de equipamentos de *hardware* e *software*. A simulação permite testar esses tipos de recursos sem a necessidade de realizar altos investimentos de aquisição;
- e) **Avaliações futuras:** as simulações permitem avaliar situações que podem acontecer durante todo o período de funcionamento do ambiente. É possível prever acontecimentos futuros, como por exemplo, o aumento gradativo de tráfego de informações em uma rede, ou ainda, a inoperância de um determinado segmento dessa rede.

O mesmo autor explica ainda, que as simulações em um ambiente de rede, podem responder uma série de perguntas ao Gestor, entre elas:

- *Como será o comportamento da rede quando o tráfego aumentar?*
- *Quantos enlaces são necessários?*
- *Qual será o impacto no caso de falha em um enlace?*
- *Qual protocolo que otimizará o desempenho da rede?*
- *Quantos nós ou enlaces são necessário para uma determinada área?*

Com base nessas informações, de maneira prévia à implementação de um novo projeto de rede, as chances de sucesso são maximizadas, haja vista que construção de um modelo simulado pode ser utilizado para analisar uma grande quantidade de variáveis essenciais ao desenvolvimento do projeto, e fornecer ao Gestor de TI informações essenciais para uma correta tomada de decisão.

## 2.2 Redes de Computadores

As Redes de Computadores surgiram e evoluíram à medida em que irrompeu a necessidade de compartilhamento dos recursos computacionais nas empresas. As primeiras redes de que se tem conhecimento eram de pequeno porte, com apenas algumas máquinas interligadas. (Pinheiro, 2003).

Ainda segundo Pinheiro (2003), os primeiros sistemas a funcionar comercialmente surgiram nos Estados Unidos por volta de 1964, para serviços de reserva de passagens de companhias aéreas. As soluções disponíveis eram de um único fabricante, mas

por volta de 1970 houve a primeira iniciativa de interligar uma rede utilizando tecnologias de diferentes fabricantes. Foi nesta oportunidade que um grupo de empresas e entidades de padronização iniciou o movimento em direção ao que hoje são chamados de protocolos abertos, ou seja, protocolos que não oferecem uma única solução. Assim, no início da década de 1980, empresas como a *Xerox*, a *Digital* e a *Intel* uniram-se e disponibilizaram ao mercado o padrão *Ethernet*, que impulsionou definitivamente o desenvolvimento das redes.

Com o passar do tempo, se pôde interligar um grupo maior de computadores, originando o que hoje se denominam “redes locais de computadores”, as LANs (*Local Area Network*). Posteriormente a necessidade de interligar pontos cada vez mais distantes com números maiores de máquinas fez surgir as chamadas WANs (*Wide Area Network*), que, indiferente ao tamanho da rede, tem como objetivo principal garantir que todos os recursos disponíveis sejam compartilhados rapidamente e de forma segura, ou seja, uma rede deve ser capaz de determinar o destino das informações, e os computadores integrantes da mesma devem ser capazes de identificar as mensagens destinadas a ele.

Devido à redução do custo de implementação de uma rede, atualmente, é impossível prever um ambiente corporativo, em que as estações de trabalho não estejam interligadas. Até mesmo em pequenos ambientes há a necessidade da troca de informações, é inaceitável ficar trocando dados corporativos através de alguma mídia portátil. (Torres, 2001).

Acrescenta-se ainda, que um dos objetivos das redes de computadores, é oferecer um meio eficiente de comunicação, entre seus usuários. Estas redes são imensamente importantes para pessoas que se encontram em regiões geograficamente distantes, dando a elas o mesmo acesso a serviços que são oferecidos às pessoas que vivem em uma grande metrópole. (Tanenbaum, 2003).

### 2.2.1 Redes Sem Fio

Segundo Tanenbaum (2003), a ideia de comunicação digital sem fio é algo que iniciou há vários anos atrás. Em 1901, o físico italiano Guglielmo Marconi demonstrou como funcionava um telegrafo sem fio que transmitia informações de um navio para o litoral por meio de código *morse*. Atualmente os modernos sistemas digitais sem fio possuem um desempenho muito superior, mas a ideia básica é a mesma.

O mesmo autor explica inicialmente, que as redes sem fio podem ser classificadas em três categorias principais:

- a) **Interconexão de Sistemas:** a característica básica desse modelo é o alcance limitado. Utilizado basicamente para interconectar os componentes de um computador através de ondas de rádio. Baseado nesse modelo surgiu a tecnologia *bluetooth*, com alcance limitado e utilizada para conectar diversos periféricos a um computador.
- b) **LANs sem fio:** são sistemas em que todo computador possui uma interface de comunicação e uma antena de rádio, por meio dos quais podem se comunicar com outros sistemas. Cada vez mais, esse tipo de comunicação sem fio está presente no ambiente doméstico e corporativo. Para a normatização desse tipo de comunicação foi desenvolvido o padrão IEEE 802.11.
- c) **WANs sem fio:** esse tipo de rede é utilizada em sistemas geograficamente distribuídos, a rede de rádio utilizada para a telefonia celular, é um exemplo de sistema de uma rede WAN sem fio.

#### 2.2.1.1 Técnicas de transmissão

Nas obras de Comer (2007) e Tanenbaum (2003), ambos concordam que a comunicação sem fio pode ser realizada basicamente através de quatro tipos principais de meios de transmissão: *transmissão por rádio*, *transmissão por microondas*, *ondas de infravermelho* e *transmissão por onda de luz*. Sendo que cada uma apresenta vantagens e características distintas.

A seguir, apresentaremos cada um desses meios de transmissão.

#### 2.2.1.2 Transmissão de Rádio

Segundo Comer (2007), a transmissão de rádio além de ser utilizada na transmissão pública dos programas de rádio e televisão, também serve para a comunicação privada de dispositivos, como em telefones e computadores. Ao contrário das redes que usam cabeamento físico, as transmissões de frequência de rádio (*Radio Frequency – RF*), não necessitam de uma conexão física direta entre os computadores.

Já Tanenbaum (2003) explica, que nesse meio de transmissão as ondas de rádio são facilmente geradas, e conseguem percorrer longas distâncias e penetrar facilmente em edificações. Dessa forma, são largamente utilizadas para comunicação, seja em ambientes externos ou internos. Essas ondas de rádio podem ser do tipo *omnidirecional*, ou seja, podem viajar em todas as direções a partir da fonte, possibilitando que o transmissor e o receptor, não estejam cuidadosamente e fisicamente alinhados.

Tendo em vista a capacidade de percorrer longas distâncias, muitas vezes ocorrem problemas de interferências, devido a isso, os governos exercem um rígido controle sobre o licenciamento do uso desses transmissores de rádio.

### 2.2.1.3 Transmissão de Microondas

São ondas eletromagnéticas acima da frequência de 100 MHz, as quais trafegam praticamente em linha reta e que se concentram em uma faixa estreita. Sua transmissão ocorre através de antenas parabólicas (antena de TV por satélite, por exemplo), devendo possuir um grau de alinhamento com o máximo de precisão. Além disso, o fato das antenas estarem bem alinhadas permite a comunicação e a interligação de várias antenas, fazendo com que elas se comuniquem com vários receptores sem que haja nenhum tipo de interferência (Tanenbaum, 2003).

Comer (2007) enfatiza ainda, que embora as microondas sejam meramente uma versão das ondas de rádio com frequências mais elevadas, elas se comportam de maneira diferente. Em vez de transmitir em todas as direções, a transmissão de microondas deve ser apontada em uma única direção, impedindo assim, que outros interceptem o sinal.

Durante décadas, antes da chegada da fibra ótica, as transmissões por microondas formavam o núcleo de comunicação dos sistemas de telefonia de longa distância, principalmente para a interconexão de centrais. No entanto, esse sistema apresentou algumas desvantagens, entre elas, a dificuldade em atravessar obstáculos físicos e também problemas relacionados à aspectos atmosféricos, como, a possibilidade de uma onda ser refletida nas camadas atmosféricas mais baixas, e por consequência, sua chegada mais demorada que as ondas diretas, ou seja, um sistema suscetível, que possui certa dependências das condições climáticas (Tanenbaum, 2003).

#### 2.2.1.4 Transmissão de Ondas de Infravermelho

As ondas de infravermelhos são muito utilizadas nas comunicações de curto alcance, sua utilização é muito popular em equipamentos eletrônicos que utilizam controle remoto. Possui restrição quanto a sua utilização para atravessar objetos sólidos, caso encontre algum tipo de obstáculo, a comunicação não irá ocorrer. Está limitado também, a uma área pequena e normalmente exige que o transmissor esteja apontado diretamente para o receptor (Tanenbaum, 2003).

Em redes de computadores, o infravermelho pode ser aplicado na comunicação entre dispositivos portáteis, tendo em vista, que a tecnologia permite a comunicação sem a utilização de nenhum tipo de antena, dessa forma, um dispositivo pode ter embutido no seu *hardware* a tecnologia de infravermelho (Comer, 2007).

#### 2.2.1.5 Transmissão por Ondas de Luz

Como nas fibras óticas, um feixe de luz pode ser utilizado para transmitir dados pelo ar, da mesma forma que outros sistemas, uma comunicação que utiliza luz consiste em dois locais, um deles possui um equipamento transmissor e o outro possui um receptor. Esses equipamentos de comunicação são montados em uma posição fixa, e alinhados de forma que o transmissor em sua posição envie seu feixe de luz diretamente ao receptor. (Comer, 2007)

Nesse sistema a luz de *laser* deve viajar em uma linha reta, sem nenhum tipo de obstáculo. Além disso, possui a desvantagem dos seus feixes de raio de luz de não atravessar a chuva, a neve ou uma neblina espessa, também é suscetível ao calor do sol e outras variações atmosféricas. (Tanenbaum, 2003)

Tanenbaum (2003) cita um exemplo típico de utilização, onde é possível realizar a conexão de LANs em dois prédios, por meio de *lasers* instalados em seus telhados, onde a sinalização ótica utiliza raios unidirecional, assim, cada prédio precisa do seu próprio raio *laser* e do seu próprio fotodetector. Esse modelo proporciona uma largura de banda muito alta e com um custo relativamente baixo.

### 2.2.2 Redes Sem Fio Infra-estruturadas

Segundo Kurose e Ross (2006), as redes sem fio infra-estruturadas são aquelas onde as estações móveis sem fio estão em contato direto com uma estação base central de comunicação, conhecida como um ponto de acesso (*Access Point – AP*).

Essa forma de comunicação é semelhante ao utilizado na telefonia celular, onde toda a comunicação deve necessariamente passar por uma central, independentemente que o destinatário final da mensagem estejam posicionado muito mais próximo do que a própria base central (Corrêa et al., 2006).

O autor explica ainda, que uma rede local sem fio pode ser considerada como uma extensão de uma LAN cabeada, tendo a possibilidade de converter os pacotes de dados em ondas de rádio e os enviando para um ponto de acesso, que serve da mesma maneira que uma conexão para uma rede local. A figura 01 demonstra os principais componentes de uma rede sem fio infra-estruturada, e finalizando, são explicados um a um desses componentes.

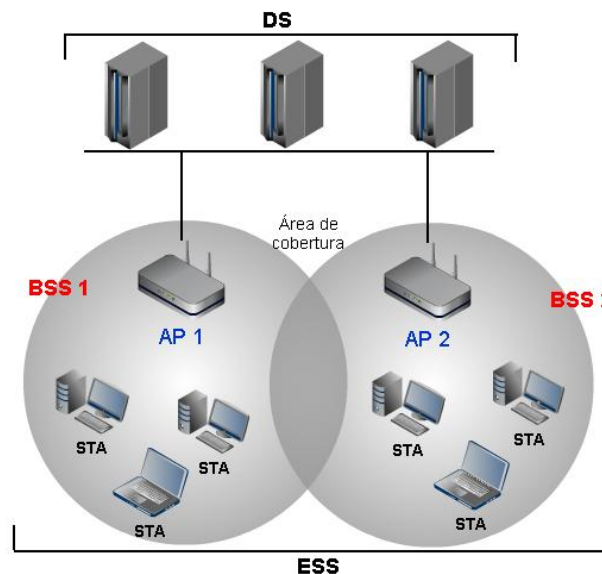


Figura 01 - Componentes de uma rede sem fio infra-estruturada.

- a) **BSS – Basic Service Set:** corresponde a uma célula de comunicação da rede sem fio;
- b) **STA – Wireless LAN Stations:** são os diversos clientes da rede;
- c) **AP – Access Point:** é o nó que coordena a comunicação entre as STAs dentro da BSS. Funciona como uma ponte de comunicação entre a rede sem fio e a rede convencional;

- d) **DS – *Distribution System***: corresponde ao *backbone* da WLAN, realizando a comunicação entre os APs;
- e) **ESS – *Extended Service Set***: conjunto de células BSS cujos APs estão conectados a uma mesma rede convencional. Nestas condições uma STA pode se movimentar de uma célula BSS para outra permanecendo conectada à rede. Este processo é denominado de *roaming*.

### 2.2.3 Redes Sem Fio *Ad hoc*

Em sua dissertação, Câmara (2001) explica outro tipo importante de rede móvel, a rede *ad hoc*, onde os dispositivos computacionais são capazes de trocar informações diretamente entre si. Normalmente são utilizadas em ambientes onde não se pode ou não se têm infraestrutura para a instalação de uma rede tradicional.

Cenários complexos de infraestrutura, como a utilização de um veículo militar em um campo de batalha, ou ainda, operações de resgate em situações de emergência de calamidade pública. Nessas situações qual a maneira para realizar o roteamento, de forma a garantir a comunicação entre esses *hosts* móveis?

Segundo Tanenbaum (2003), em todas essas situações, cada nó consiste em um roteador e um *host*, em geral no mesmo equipamento, esse tipo de rede de nós, que simplesmente estão próximas entre si são chamadas de rede *ad hoc* ou MANETs – *Mobile Ad hoc NETWORKs*.

Nesse modelo de rede, os roteadores podem ir e vir ou aparecer em novos locais de um momento para outro. No caso de uma rede fisicamente conectada, quando um roteador possui um caminho válido para algum destino, esse caminho continuará a ser válido indeterminadamente. Já no caso de uma rede *ad hoc*, a topologia pode ser alterada a todo instante, assim, o interesse e até mesmo a validade dos caminhos podem se alterar de modo espontâneo, sem qualquer tipo de aviso (Tanenbaum, 2003).

Para a manutenção de rota, as redes *ad hoc* utilizam um processo muito interessante. Devido a possibilidade de mover ou desativar um determinado nó, a topologia pode variar espontaneamente. Ao observar a figura 2, caso o nó “G” for desativado, o nó “A” não perceberá que a rota que esteve sendo utilizada para alcançar o nó “I” (A-D-G-I) não é mais válida. Dessa forma, o algoritmo de roteamento precisa ter a possibilidade de lidar com esse problema e optar por uma rota alternativa.





**Figura 02 – Roteamento em redes ad hoc.**  
**Fonte: Adaptado de Tanenbaum, 2003.**

Nessa situação, a um determinado período de tempo, cada nó transmite por meio de difusão uma mensagem *Hello*, cada um dos seus vizinhos deverá responder a essa mensagem. Caso não haja resposta, o transmissor saberá que aquele vizinho saiu de seu alcance e não estará mais conectado a ele. Essas informações são utilizadas para montar uma tabela de roteamento, onde as informações sobre quais nós estão ativos são armazenados e usados para purgar ou criar novas rotas de comunicação.

### 2.3 Redes de Sensores Sem Fio – RSSF

Cada vez mais, o sensoriamento remoto está inserido no cotidiano das pessoas. Nesse contexto, as Redes de Sensores Sem Fio – RSSF, apresentam-se extremamente viáveis para implementação nas mais diversas áreas do conhecimento, graças aos avanços tecnológicos em convergência com as áreas da microeletrônica, comunicação sem fio e sistemas eletromecânicos, tudo isso com um custo razoável. (Niar; Haffaf, 2012) O surgimento de novos componentes embarcados forneceu base para a criação de novas redes de sensores inteligentes, que facilitaram no desenvolvimento de novas soluções em nossas vidas (Qela et al., 2009).

As Redes de Sensores Sem Fio tem por finalidade a realização do monitoramento de ambientes através da utilização de sensores, os quais realizam a coleta de informações, encaminhando esses dados para um ponto de acesso, para posteriormente serem processados e analisados.

Segundo Da Costa (2011), as RSSF possuem grande potencialidade de observação e controle do mundo real, mostrando-se como uma solução adequada para as mais diversas áreas, entre elas as seguintes:

- a) **Agricultura de precisão:** a rede consegue obter informações a respeito das condições do solo, composição, umidade, permitindo analisar e ampliar a produção de uma determinada área;
- b) **Segurança pública:** utilização para o monitoramento de ambientes com agentes químicos, biológicos ou radiativos;
- c) **Meio ambiente:** utilização em áreas de proteção ambiental, onde os sensores são distribuídos para monitorar qualquer tipo de alteração na temperatura (indício de incêndio), ou para verificar a qualidade da água;
- d) **Controle industrial e doméstico:** sensores que realizam o controle da luminosidade, temperatura, qualidade do ar, entre outros;
- e) **Medicina:** monitoramento sobre os sinais vitais dos pacientes;
- f) **Uso militar:** detecção da movimentação de tropas inimigas e substâncias perigosas;

Outro ponto interessante sobre esse tipo de redes, é a possibilidade da sua utilização em ambientes onde a instalação de uma infraestrutura de rede convencional através de fios, é um fator crítico. A utilização de sensores pode ser distribuída nas mais variadas áreas, possibilitando a sua utilização em áreas onde a interação humana é impossível, como por exemplo, em florestas, pântanos, áreas de conflitos, etc (Verona, 2010).

### 2.3.1 Princípios das Redes de Sensores Sem Fio

Segundo Loureiro et al. (2003), as Redes de Sensores Sem Fio diferem-se dos modelos de rede de computadores tradicionais, devido a grande quantidade de sensores<sup>1</sup> distribuídos, por vezes, sendo compostas por milhares desses dispositivos. Possui ainda, restrições quanto ao consumo de energia e da necessidade da utilização de mecanismos de auto-configuração, devido a necessidade de prevenir problemas que venham a ocorrer durante a comunicação, como falha ou perda de um nó.

Nesse tipo de rede são utilizados sensores sem fio de baixa potência, onde os mesmos são espalhados por uma determinada área geográfica, para realizar o controle e o

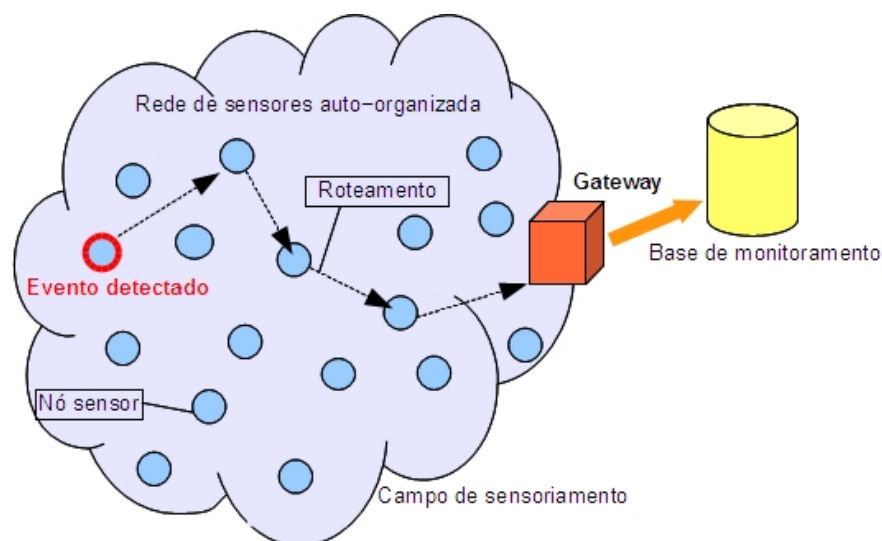
---

<sup>1</sup> Nessa pesquisa os termos nós e sensores são sinônimos, o quais definem um elemento computacional com capacidade de processamento, memória, interface de comunicação sem fio.

monitoramento físico do ambiente. Esses dispositivos são compostos por sensores integrados, por uma interface de comunicação sem fio e por uma fonte de energia. (Gandomi et al., 2010)

Segundo Verona (2010), as RSSF são consideradas como uma subclasse das redes *ad hoc*, as quais possuem como característica básica, na descentralização do envio e recepção dos dados, sendo que não existe um ponto de coleta centralizado. Ou seja, esse modelo permite que qualquer ponto da rede possa realizar o roteamento dos dados, trabalhando de forma colaborativa, através do envio e recepção das solicitações dos pontos vizinhos.

Em uma RSSF, normalmente os nós são posicionados aleatoriamente ao longo de uma área geográfica predeterminada, onde cada pequeno nó é responsável pela transmissão e recepção dos dados de um nó para outro, trabalhando em forma de uma rede *ad hoc*, até a chegada dos dados ao usuário. (Niar; Haffaf, 2012) A Figura 3, demonstra claramente a arquitetura básica de uma Rede de Sensores Sem Fio.



**Figura 03 - Arquitetura básica de uma RSSF.**

As RSSF podem utilizar dois tipos de comunicação: infra-estruturada ou *ad hoc*. Na infra-estruturada, os nós sensores se comunicam por meio de estações base, as quais são responsáveis por toda a comunicação entre os nós, impedindo que ocorra a comunicação direta entre os nós. Já no tipo de comunicação *ad hoc*, existe um modelo de auto-organização, onde os sensores se comunicam entre si, sem a necessidade da utilização dessas estações de suporte (Utzig, 2007).

### 2.3.2 Características

Para Corrêa (2006), as Redes de Sensores Sem Fio possuem algumas características próprias, diferentes das redes sem fio *ad hoc* tradicionais, as redes de sensores são altamente centradas a dados e orientada a aplicações.

No funcionamento das redes *ad hoc* sem fio tradicionais, as informações são encaminhadas através de um roteador entre dois ou mais nodos com endereçamento IP. Em contrapartida, as RSSF são uma fonte muito grande de coleta de informações. Dados de múltiplas fontes são coletados, relacionando sempre o mesmo fenômeno físico, esses, precisam ser agregados e enviados a um determinado destino na rede, quando poderão ser analisados e processados (Corrêa, 2006).

O mesmo autor cita a seguir, algumas das principais características das RSSF:

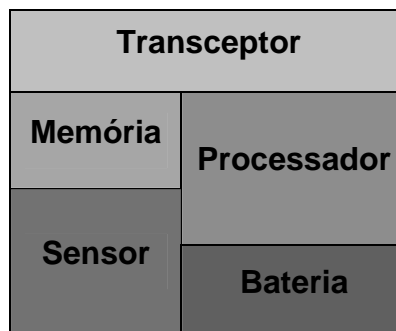
- a) **Redes Homogêneas:** as redes de sensores sem fio formam-se topologicamente com nodos com as mesmas características de comunicação e processamento.
- b) **Redes com nodos estacionários ou semi-móveis:** a mobilidade dos nodos também é uma característica presente na rede de sensores. Essa situação ocorre quando há o esgotamento de energia do nodo. Tipicamente os nodos de rede são estacionários, mas existem aplicações onde se emprega a mobilidade; um exemplo disso são as redes utilizadas para rastrear animais ou ainda sensores lançados em oceanos.
- c) **Redes Relativamente Dispersas:** essa é uma característica comum tanto em redes *ad hoc* quanto em rede de sensores sem fio. Uma rede de sensores é normalmente formada por nodos que são dispersos numa região geograficamente grande, de modo que a comunicação *single-hop* (salto único) em geral é inviável.
- d) **Redes com Densidade Populacional:** normalmente a quantidade de nodos que compõem uma rede sensores é muito ampla, variando de dezenas para milhares de nodos.

### 2.3.3 Componentes

Nos próximos capítulos da pesquisa serão definidos os principais componentes físicos de uma Rede de Sensores Sem Fio.

### 2.3.3.1 Nodos Sensores

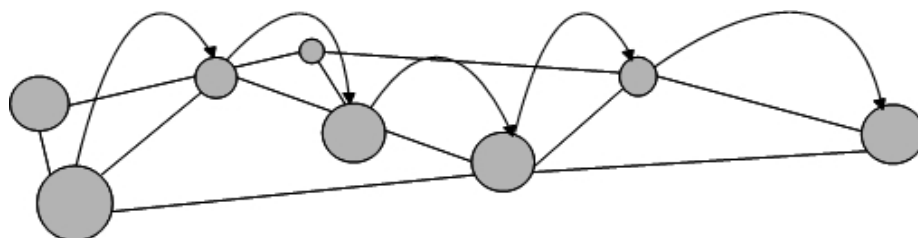
São dispositivos os quais possuem capacidade de realizar sensoriamento, processamento e comunicação. A Figura 4, mostra o seus componentes, os quais são compostos por um conjunto de sensores, memória, um microcontrolador, um transceptor sem fios e bateria. Coordenam-se e trocam informações de maneira a prover uma visão global de dado objeto de um estudo (Junior; Fröhlich, 2010).



**Figura 04 - Componentes de um nó sensor.**

De forma individual, cada nó possui uma capacidade limitada, mas quando dispostos em modo *ad hoc*, possuem a facilidade na obtenção de dados mais precisos. Ou seja, os nodos coletam dados via sensores, processam localmente ou coordenam entre os nodos vizinhos.

Loureiro et al. (2003), explica que um nó de rede possui essencialmente algumas tarefas específicas, como: sensoriamento do ambiente, processamento da informação e tarefas associadas com o tráfego em um esquema de retransmissão *multi-hop*, como demonstrado na imagem abaixo.



**Figura 05: Transmissão *multi-hop* numa RSSE.**

Junior e Fröhlich (2010), afirmam ainda, que um sensor possui as seguintes características básicas:

- a) **Dimensões físicas reduzidas:** para serem instalados de maneira não intrusiva, os nodos sensores precisam possuir tamanho reduzido. Graças às novas técnicas de

miniaturização de hardware, as dimensões tendem a diminuir constantemente, levando em consideração as limitações quanto ao tamanho da fonte de energia;

- b) **Quantidade limitada de energia:** um dos fatores determinantes em um projeto, está relacionado a capacidade limitada de energia disponível no sensor. É requisito fundamental que o consumo de energia do hardware seja baixo, dessa forma, equipamentos com suporte de baixa potência e com suporte a gerenciamento do consumo de energia são priorizados.
- c) **Customização do canal de transmissão de dados:** técnicas de modulação de dados e controle de acesso ao meio, facilitam o controle do consumo de energia, sem comprometer a comunicação de dados, assim, o transceptor deve permitir uma maior configuração do canal de dados.

Segundo Da Costa (2011), esses dispositivos podem ser equipados com uma grande variedade de dispositivos sensores, como por exemplo: acústicos, infravermelhos, de calor, sísmicos, de temperatura, de pressão, entre outros. Esses são responsáveis na aquisição de dados de grandezas físicas ou eventos do mundo real, que quando processados podem ser transformados em informações difundidas pela rede.

#### 2.3.3.2 Gateway

Nesse modelo de rede, o *Gateway* é o equipamento que tem por finalidade a realização de uma interface de comunicação entre a *RSSF* e um computador, onde possibilita que os dados coletados sejam tratados e armazenados, para posteriormente serem utilizados conforme necessidade do usuário (Da Costa, 2011).

O autor explica ainda, que até a chegada de um determinado dado ao *gateway* de uma *RSSF*, esses trafegam por diversos nós sensores da rede, estando suscetíveis a perdas ou duplicidade de dados, devido à sobreposição de áreas de monitoramento e falhas na comunicação entre nós sensores.

Esses equipamentos são considerados como nós especiais, já que esses transmitem informações para os nós sensores da rede e também para redes externas, através de um contato com uma estação base (Utzig, 2007).

### 2.3.3.3 Estação Base

Outro componente essencial em um modelo de Rede de Sensores Sem Fio é a chamada Estação Base, sendo considerada como dispositivo que recebe as informações de um *gateway* para posterior processamento (Utzig, 2007).

A Estação Base pode ser representada por um *notebook*, um computador ou um servidor que tenha capacidade de comunicação com *gateway*. Normalmente esse dispositivo apresenta os resultados ao usuário, sendo responsável pelo processamento e armazenamento em banco de dados das informações coletadas pelos nós sensores (Utzig, 2007).

### 2.3.4 Classificação

As RSSF possuem uma classificação de acordo com os objetivos e especialmente a sua aplicação. Assim, qualquer tipo de solução que utilize RSSF deverá levar em consideração os requisitos da aplicação para a qual foi desenvolvida. (Sausen, 2008).

O autor explica ainda, que as redes de sensores podem ser classificadas pelos seguintes critérios: *configuração, coleta de dados, comunicação e processamento que executam*.

Especificamente quanto à configuração, uma RSSF pode ser caracterizada da seguinte maneira:

<b>Composição</b>	<b>Homogênea:</b> todos os nós possuem as mesmas características computacionais; <b>Heterogênea:</b> a rede possui nós de diferentes capacidades computacionais;
<b>Organização</b>	<b>Hierárquica:</b> quando todos os nós estão organizados em grupos (clusters); <b>Plana:</b> rede em que os nós não estão organizados em grupos;
<b>Mobilidade</b>	<b>Estacionária:</b> todos os nós permanecem estáticos; <b>Móvel:</b> os nós podem mudar de posição;
<b>Densidade</b>	<b>Balanceada:</b> rede que apresenta uma distribuição uniforme dos seus nós; <b>Densa:</b> rede que apresenta uma alta concentração de nós por unidade de área; <b>Esparsa:</b> apresenta uma baixa concentração de nós por unidade de área;
<b>Distribuição</b>	<b>Irregular:</b> rede que apresenta uma distribuição não uniforme dos nós; <b>Regular:</b> rede que apresenta uma distribuição uniforme dos nós.

**Quadro 01: Classificação quanto à configuração de uma RSSF.**

**Fonte: Adaptado de Sausen, 2008.**

Com relação à coleta de dados, a rede de sensores pode ser classificada em:

<b>Periódica:</b>	os nós sensores coletam dados em intervalos regulares pré-definidos;
<b>Contínua:</b>	os nós sensores coletam os dados de forma contínua.
<b>Reativa:</b>	os nós sensores coletam dados quando da ocorrência de um evento de interesse, ou quando solicitado pela aplicação;
<b>Tempo Real:</b>	os nós sensores coletam a maior quantidade de dados possível no menor intervalo de tempo.

**Quadro 02: Classificação quanto à coleta de dados de uma RSSF.**

**Fonte: Adaptado de Sausen, 2008.**

Em relação à comunicação, as RSSF podem ser classificadas da seguinte forma:

<b>Disseminação</b>	<p><b>Programada:</b> os nós disseminam os dados em intervalos regulares;</p> <p><b>Contínua:</b> os nós disseminam os dados continuamente;</p> <p><b>Sob Demanda:</b> os nós disseminam os dados em resposta à consulta da aplicação, ou na ocorrência de um evento;</p>
<b>Transmissão</b>	<p><b>Simplex:</b> os nós sensores apenas transmitem os dados;</p> <p><b>Half-duplex:</b> os nós sensores podem transmitir ou receber dados, mas não simultaneamente;</p> <p><b>Full-duplex:</b> os nós sensores podem transmitir e receber dados simultaneamente;</p>
<b>Alocação do Canal</b>	<p><b>Estática:</b> neste tipo de rede a largura de banda é dividida de forma equitativa entre todos os nós.</p> <p><b>Dinâmica:</b> neste tipo de rede não existe atribuição fixa de largura de banda; os nós disputam o canal.</p>
<b>Fluxo de Informações</b>	<p><b>Flooding:</b> neste tipo de rede os dados são transmitidos utilizando o conceito de broadcast, ou seja, um nó sensor transmite para todos os seus vizinhos, que por sua vez transmite para todos os seus vizinhos, seguindo esse padrão até o dado alcançar o seu destino;</p> <p><b>Multicast:</b> neste tipo de rede os dados são transmitidos a todos os nós que fazem parte de um grupo;</p> <p><b>Unicast:</b> neste tipo de rede o nó transmite seus dados a apenas um outro nó;</p> <p><b>Gossiping:</b> neste tipo de rede, os nós sensores selecionam os nós para os quais transmitem seus dados;</p> <p><b>Bargaining:</b> neste tipo de rede, os nós transmitem os dados somente se o nó destino manifestar interesse, isto é, existe um processo de negociação.</p>

**Quadro 03: Classificação quanto à comunicação de uma RSSF.**

**Fonte: Adaptado de Sausen, 2008.**

E para finalizar o autor cita a classificação das RSSF segundo o processamento:



<b>Infraestrutura</b>	a rede de sensores executa mecanismos relacionados à infraestrutura da rede, ou seja, utiliza mecanismos de controle de acesso, roteamento, criptografia e eleição de líderes;
<b>Localizada</b>	os nós sensores além de executar mecanismos de infraestrutura, executam algum processamento local, por exemplo, condicionamento dos dados coletados a partir da calibração do nó sensor;
<b>Correlação</b>	a rede executa procedimentos relacionados aos dados, por exemplo, fusão, compressão e agregação.

**Quadro 04: Classificação quanto ao processamento de uma RSSF.**

**Fonte: Adaptado de Sausen, 2008.**

### 2.3.5 Roteamento de Rede de Sensores Sem Fio

Em uma Rede de Sensores Sem Fio, questões relativas ao consumo de energia e largura de banda são determinantes para o funcionamento correto da rede. Dessa forma, esse tipo de arquitetura demanda por soluções que preocupem-se com a economia de energia em todas as suas camadas.

Brittes (2007), explica que cada RSSF possui particularidades próprias, devido ao tipo da aplicação e dos seus objetivos, assim, o requisito de um protocolo de roteamento difere-se de acordo com as características de cada tipo rede. Algumas necessitam de um monitoramento e transferências de dados contínuos, e outras, possibilitam uma coleta de dados com intervalo de tempo maior, ou ainda, somente realizam a coleta quando ocorre a requisição por parte da estação base.

A nível de camada de rede, o objetivo é de encontrar meios capazes de realizar um roteamento eficaz e com otimização da utilização de energia, proporcionando assim, aumento do tempo de vida da rede.

Segundo Lazzarotto (2008), as RSSF possuem características próprias e devido a isso, apresentam novos desafios relacionados ao seu roteamento. O autor cita ainda, alguns argumentos relacionados a essas diferenças:

- Devido ao grande número de nós ativos de uma RSSF, dificilmente se aplicaria a utilização de protocolos tradicionais, baseados em IP, pois nesse caso, haveria um alto

tráfego de controle (*overhead*) para a manutenção da rede, além da dificuldade de atribuir um endereço de rede para cada nó;

- Diferentemente das redes tradicionais, as aplicações de RSSF realizam o encaminhamento de dados coletados de diversas regiões, para um determinado ponto de acesso;
- Devido à característica de sensoriamento dessas redes, muitos dados são gerados de forma redundante para um mesmo fenômeno, assim, é de responsabilidade do protocolo de roteamento tratar questões relacionadas à redundância, evitando transmissões desnecessárias, objetivando a economia de energia.

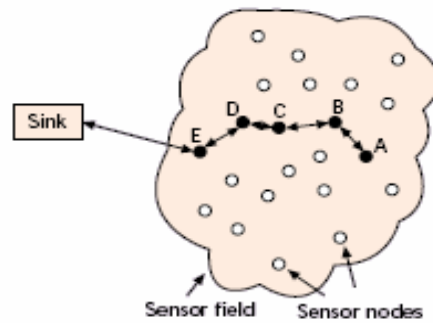
Por fim, Brittes (2007), acrescenta que ao levar em consideração essas características e analisando as necessidades de cada aplicação, os protocolos de roteamento para RSSF possuem os seguintes objetivos:

- Minimizar o consumo de energia;
- Maximizar o tempo de vida útil dos nós e da rede como um todo;
- Ser tolerante a falhas;
- Garantir eficiência na comunicação;
- Garantir eficiência na disseminação de dados.

#### 2.3.5.1 Algoritmo de Roteamento Plano

Para Lazzarotto (2008), em RSSF o roteamento plano é utilizado em estruturas planas, onde todos os nós da área de sensoriamento desempenham a mesma função e possuem as mesmas características, assim, a tarefa de roteamento é tratada de forma idêntica por todos os sensores da rede.

Quando um sensor necessita transmitir uma determinada informação, esse deve encontrar uma rota até a Estação Base. Caso o sensor seja vizinho da Estação Base, a conexão será direta, caso contrário, a rota será constituída pelo o conceito *multi hop*, que consiste na utilização de saltos múltiplos, através de um ou mais nós intermediários, até a chegada da informação ao ponto de coleta (Oliveira, 2006). A figura 06 apresenta esse tipo de comunicação.

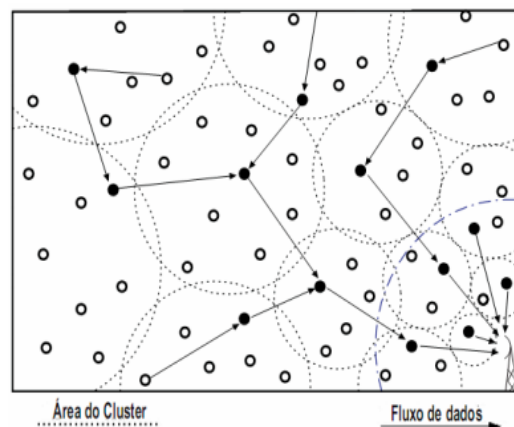


**Figura 06 – Esquema de Roteamento Plano**

Dentre as características desse tipo roteamento, está a desvantagem que normalmente, os nós ao redor do ponto de coleta, possuem maiores chances de participar do processo de transmissão de dados, se comparados com os nós que estão localizados mais distantes. Assim, esses sensores tendem a ter sua energia consumida mais rapidamente, o que provavelmente irá reduzir o tempo de vida da rede (Lazarotto, 2008).

#### 2.3.5.2 Algoritmo de Roteamento Hierárquico

Segundo Brittes (2007), os protocolos de roteamento hierárquicos utilizam o conceito de *clusters*, abordagem semelhante à utilizada na telefonia celular. Nesse modelo, a área de sensoriamento é dividida em áreas menores, onde cada uma possui um nó principal. Dessa forma, nós sensores enviam os dados coletados somente para o nó principal da sua área, que posteriormente encaminhará as informações para a estação base, esse modelo pode ser visualizado na Figura 07.



**Figura 07 – Esquema de Roteamento Hierárquico**

No roteamento hierárquico são definidas duas classes distintas de sensores: os *nós sensores fontes (ou nós coletores)* e os *nós sensores líderes* de grupos, denominados *cluster head* (Oliveira, 2006). Os sensores fontes são responsáveis em coletar e enviar os dados observados para o sensor líder do grupo. Restando a esse, a função de decidir se ocorrerá uma fusão ou agregação dos dados recebidos antes de encaminhá-los a estação base.

Maciel (2012), explica que a topologia hierárquica se mostra vantajosa no que se refere à economia de energia, já que os números de transmissões são reduzidos na rede. Além disso, nesse modelo de roteamento a utilização de agregação de dados pelo nó líder, torna-se mais vantajosa, pois apenas os dados mais relevantes são transmitidos para a Estação Base.

Por outro lado, na estrutura hierárquica, o nó líder necessita de uma maior quantidade de energia, já que há uma maior carga em relação ao processamento e recepção dos dados. Dessa forma, os protocolos de roteamento hierárquicos, com o intuito de minimizar o desgaste de energia do líder, realizam uma eleição, com objetivo de eleger um novo nó líder entre os membros do *cluster*, a cada nova rodada. Através desse processo, todos os nós participam da eleição, a fim de obter-se o equilíbrio de consumo de energia na rede.

#### 2.3.5.2.1 Protocolos Hierárquicos

O conceito de roteamento hierárquico estabelece duas classes distintas de nós: nós coletores e líderes de grupo (*clusters heads*). Os nós coletores simplesmente coletam e enviam os dados para o líder do seu grupo que pode executar uma fusão/agregação destes dados antes de enviá-lo para a estação base. Todos os nós são considerados iguais do ponto de vista funcional. Alguns algoritmos desta classe de algoritmos são apresentados logo a seguir.

O protocolo *Leach - Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy*, tem por objetivo reduzir o consumo de energia. O protocolo foi desenvolvido para redes homogêneas e utiliza ciclos durante os quais são formados agrupamentos de nós, denominados *clusters*, onde um nó é escolhido como líder (Heinzelman et al., 2000).

Outro algoritmo dessa classe é o *Leach-c*, sendo considerada uma variação do *Leach* tradicional. Utiliza uma técnica na centralização das decisões para a formação dos grupos na estação base. A maior vantagem desta abordagem centralizada é a criação e distribuição mais

eficiente de grupos, na rede. Cada nó, na fase de inicialização, envia sua posição geográfica e energia disponível para a estação base. Baseado nesta informação, a estação base determina os grupos de forma centralizada (Heinzelman et al., 2000).

Manjeshwar and Agrawal (2001), apresentam o protocolo *Teen - Threshold sensitive Energy Efficient Sensor Network*, considerado um algoritmo de roteamento Leach exceto pelo fato de que os nós sensores podem não possuir dados a serem transmitidos de tempos em tempos. Os autores deste protocolo propõem classificar as redes de sensores em redes pró-ativas e redes reativas. Uma rede pró-ativa monitora o ambiente continuamente e possui dados a serem enviados a uma taxa constante. Em uma rede reativa os nós somente enviam dados quando a variável sendo monitorada se incrementa acima de um certo limite.

Lindsey e Raghavendra (2002), citam em seu estudo o protocolo hierárquico *Pegasis - Power- Efficient Gathering in Sensor Information Systems*, o qual é considerado um protocolo para RSSF baseado no conceito de correntes. Cada nó troca informações apenas com os vizinhos mais próximos formando uma corrente entre os nós, e apenas um nó é escolhido a cada momento para transferir as informações coletadas ao nó *gateway*.

Com esse modelo, a quantidade de trocas de mensagens é considerada baixa e a comunicação será realizada entre os nós próximos uns dos outros. Com isso, a energia consumida é menor, se comparada a outros protocolos que necessitam várias trocas de mensagens para a definição de líderes e formação de grupos.

Outro protocolo baseado no *Leach* é o algoritmo *ICA - Inter Cluster Routing Algorithm*, sendo idealizado para aumentar o tempo de vida e o número de pacotes enviados na rede. O ICA inicia com a estação base enviando um *broadcast* para todos os nós informando sua posição geográfica. Após essa fase, os nós sabem a posição geográfica da estação base e assumido que também conhecem suas próprias posições. No ICA os nós são agrupados em *clusters* que seguem as mesmas regras de formação do Leach, a não ser pela decisão de qual *cluster* os nós vão participar. Esta informação é dada pela proximidade dos nós aos *clusters heads*. O nó vai estar ligado sempre ao *cluster head* mais próximo. O processo de formação de *clusters* dissemina a informação da formação de *clusters* pelos *clusters* vizinhos. No ICA, ao contrário do *Leach*, os *clusters heads* tentam não enviar as mensagens diretamente para a estação base (Lazzarotto, 2008).

Ao invés disto, é utilizada uma abordagem diferente, enviando as mensagens para o *cluster head* mais próximo, na direção da estação base. O objetivo é economizar energia

enviando as mensagens ponto a ponto para nós que estão a uma distância menor que a estação base. Desta forma a quantidade de energia consumida por cada nó da rede diminui e a quantidade de energia total da rede aumenta.

A seguir são apresentadas de forma mais aprofundada, outras características do algoritmo *Leach* e *Leach-c*, o quais serão objeto desse trabalho.

#### 2.3.5.2.2 *Leach – Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*

Ao pesquisar, na literatura, algoritmos de roteamento utilizados para Rede de Sensores Sem Fio, um dos mais utilizados e estudados é o algoritmo *Leach – Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (Heinzelman, 2000). Quando da necessidade em realizar estudos sobre clusterização, muitos pesquisadores têm baseado seus experimentos na utilização desse algoritmo (Maciel, 2012).

O *Leach* encaixa-se na categoria de algoritmo de roteamento hierárquico, onde sua arquitetura baseia-se na organização dos nós em *clusters*. Nesse formato, a área de monitoramento é dividida em setores (*clusters*), onde os nós de cada *cluster* enviam seus dados somente para um determinado nó, denominado *cluster-head*. Por sua vez, esses *clusters-heads*, recebem os dados de todos os nós posicionados em seu *cluster*, sendo que, posteriormente, enviam essas informações para um ponto centralizador, o nó sorvedouro (estação base) (Lazarotto, 2008).

Esse mesmo autor explica ainda, que o motivo para utilização desse tipo de arquitetura é da possibilidade em realizar agregação dos dados, onde o nó *cluster-head* pode agregar os dados recebidos e enviar para a estação base uma quantidade de informação reduzida. Graças a essa técnica, obtém-se uma grande economia de energia, tendo em vista, que o custo necessário para a transmissão de dados é maior que o custo envolvido no cálculo e na agregação dos dados.

A organização dos *clusters* locais ocorre de forma autônoma com o algoritmo *Leach*. Em cada *cluster*, um nó é definido como *cluster-head* daquele setor, devido a isso, esses nós terão um consumo de energia superior aos demais, pois é deles a tarefa de receber os dados

vindos dos nós sensores do setor, realizar algum tipo de processamento, agregar os dados se necessário e, posteriormente, encaminhar essas informações para a estação base da rede.

Dessa forma, se um nó fosse definido como *cluster-head* de forma fixa, durante todo tempo de vida do sistema, logo sua energia seria consumida. Assim, ao se esgotar a energia desse *cluster-head*, ele perderia a sua capacidade de comunicar, tornando-se inoperante e todos os nós que pertencem ao seu *cluster* também perderiam a habilidade de comunicação (Brittes, 2007).

Assim sendo, o *Leach* utiliza o conceito de rotatividade aleatório de *cluster-heads*, trabalhando com a probabilidade em escolher os nós com maior índice de energia disponível para serem definidos como *cluster-heads*, possibilitando a otimização na utilização das energias das baterias, o que permite que o consumo de energia, ao ser um *cluster-head*, seja eventualmente distribuído entre todos os nós da rede (Brittes, 2007).

Brittes (2007), explica em sua dissertação, que através da utilização de um cálculo de probabilidade, onde os nós sensores tomam decisões autônomas, o *Leach* forma *clusters* utilizando-se de um algoritmo distribuído. Dessa forma, quando a rede é criada e se todos os nós forem inicializados com os mesmos níveis de energia, o algoritmo possibilita a distribuição da carga de energia entre todos os nós da rede, evitando com isto, que não ocorra sobrecarga em determinados nós e, para que os mesmos não fiquem sem energia muito antes dos demais nós da rede.

O consumo de energia do *cluster-head* é muito superior aos demais nós da rede, tendo em vista as operações que esse deve executar. O *Leach* utilizando o conceito de *rodada*, onde em cada nova *rodada* um novo *cluster-head* é “eleito”. Assim, o *Leach* determina que cada nó da rede seja eleito como *cluster-head*, permitindo um consumo uniforme da energia da rede.

A definição para um nó tornar-se *cluster-head* baseia-se na suposição que todos os nós da rede iniciam as suas atividades com os mesmos níveis de energia, e que todos os nós possuem dados a serem transmitidos. Caso os nós iniciem com níveis diferentes de energia, os nós com quantidades superiores serão definidos como *cluster-heads* com maior frequência do que os nós com menos energia, assegurando de tal modo que os nós possam “morrer”, aproximadamente, ao mesmo tempo.

Ao se definir qual nó será o *cluster-head* da rodada, esse deverá informar aos demais nós da rede da sua eleição e cada *cluster-head* da rede, transmite uma mensagem ADV –

*Advertising Message* via *broadcast*. Essa pequena mensagem contém apenas o *ID* do nó e um cabeçalho, que distingue essa mensagem como uma mensagem de aviso.

Brittes (2007), explica ainda que após ocorrer a definição de qual *cluster* o nó pertence, ele deve informar ao *cluster-head* que será membro desse *cluster*, isso ocorre através da transmissão de uma pequena mensagem do tipo *join-REQ* – *join request message*, da mesma forma, essa mensagem também é curta e consiste no envio do *ID* do nó para o seu *cluster-head*.

Através desse modelo adotado pelo *Leach*, o gerenciamento das transmissões de dados que ocorrem dentro de cada *cluster*, fica a cargo do *cluster-head*, garantindo que não ocorram colisões entre as mensagens e possibilitam também, que os componentes de rádio de cada nó sensor possam ser desligados várias vezes, exceto na sua vez de transmitir, reduzindo drasticamente o consumo de energia dos nós individualmente.

#### 2.3.5.2.3 *Leach-c – Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized*

O algoritmo *Leach-c - Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized*, é uma variação do *Leach*, sendo que a principal diferença está na centralização das decisões para a formação dos novos *clusters*, com isso, obtém-se uma criação mais eficiente desses grupos, possibilitando uma melhor distribuição pela rede (Lazarotto, 2008).

Nessa operação centralizada, a estação base possui a tarefa de formar a topologia de rede, definindo quais serão os *clusters-heads* naquela rodada, já com o *Leach* original, cabe aos próprios nós da rede realizar a eleição do *cluster-head*.

No *Leach-c*, quando ocorre a fase de formação da rede, cada nó transmite para a estação base, informações sobre a sua localização atual e também sobre os níveis de energia disponíveis. Assim, a estação base inicia a formação dos *clusters*, analisando a média de energia de todos os nós, retirando os nós com níveis de energia abaixo da média, sendo que esses não poderão ser definidos como *cluster-head*. Com os demais nós, a estação base utiliza-se do algoritmo *Simulated Annealing* (Heinzelman, 2000), para encontrar o número ótimo de *clusters*. Essa técnica tem por objetivo, minimizar os níveis de energia consumida pelos nós comuns para realizar a transmissão dos seus dados para o *cluster-head*, através da



minimização da distância quadrada entre todos os nós comuns e o *cluster-head* mais próximo (Brittes, 2007).

Após a definição dos *clusters* e os seus respectivos *clusters-heads*, a estação base transmite uma mensagem via *broadcast*, para todos os nós, nessa transmissão o *ID* do *cluster-head* é divulgado para toda rede. Caso um nó receba a informação com o seu próprio endereço de identificação, esse nó se tornará o *cluster-head*, caso contrário, o nó entra em estado *sleep*, e aguarda a sua hora para efetuar transmissões (Brittes, 2007).

## 2.4 Simulação

À medida que a Tecnologia da Informação evolui, os desafios em novos projetos de rede crescem na mesma proporção, cada vez mais, as técnicas de simulação para novos projetos, são determinantes na análise e implementação de sistema de comunicação.

Durante uma pesquisa o comportamento de um sistema pode variar de acordo com as mudanças em determinadas variáveis, um modelo de simulação pode auxiliar nessas investigações, a fim de prever o impacto causado por elas.

Segundo Araújo et al. (2009), a simulação tornou-se uma grande ferramenta de apoio na verificação da veracidade ou não de uma determinada hipótese. Geralmente, um experimento pode validar uma hipótese, mas para utilização de projetos de rede, uma hipótese pode ser validada utilizando-se de um ou mais dos seguintes métodos: *analítico, simulação e experimento controlado*, a figura abaixo, demonstra as etapas desse processo:

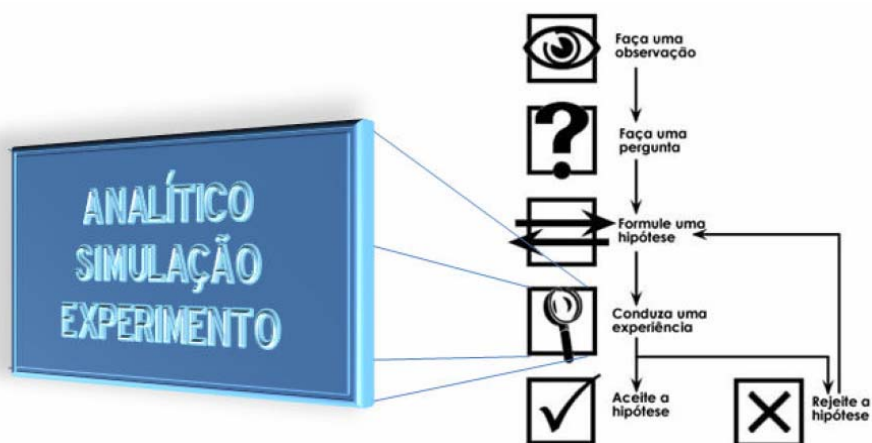


Figura 08: Etapas do método científico para cenários de rede.

Na verificação da validade de uma hipótese, a *modelagem matemática analítica* utiliza-se de cálculos e equações matemáticas, enquanto o *experimento* baseia-se na utilização de uma situação real controlada. Já nas *simulações*, são criados modelos virtuais, o mais próximo possível da realidade, usando como suporte as ferramentas de processamento de dados, onde é possível testar e colher os resultados antes de conduzir alguma experimentação real. (Araújo et al., 2009)

A utilização da simulação tem se mostrado com uma técnica eficaz, pois apresenta várias vantagens e facilidades no controle dos detalhes, custo/benefício, flexibilidade, possibilitando a realização de experimentos de *hardware* ou *software*, ainda que esses não estejam disponíveis. Dentre as áreas que vem se utilizando dessa técnica, é possível destacar as companhias aéreas, no treinamento de seus pilotos, também, a área médica, a qual vem desenvolvendo modelos com finalidade de treinar médicos em procedimentos cirúrgicos. (Utzig, 2007)

Em simulações de redes, são utilizadas ferramentas de simulação ou simuladores, as quais possibilitam aos pesquisadores analisar como um sistema real irá se comportar em diferentes condições. A simulação pode ser definida como um processo de avaliação numérica que representa de forma fiel o ambiente real a ser estudado, onde as informações resultantes são utilizadas para estimar o interesse desse sistema.

Através da sua utilização é possível personalizar um simulador para cumprir a análise de necessidades específicas, permitindo a comparação de custo e tempo envolvidos na criação de um novo projeto de rede. Possibilita também, testar cenários e eventos que são de difícil emulação no hardware real, além do mais, são extremamente úteis na simulação de novos protocolos de rede. (Martinez et al., 2009)

Segundo Dantas (2010), algumas características em RSSF podem variar, entre elas: adaptação ao tipo de serviço, tolerância a falha, escalabilidade, densidade variável dos nós, nós programáveis. Dessa forma, para a verificação desses requisitos é fundamental a utilização de técnicas variáveis.

Além disso, existe uma preocupação muito grande, quanto ao consumo de energia dos sensores. Todo esse cenário, mostra o quanto é desafiador qualquer tipo de projeto de simulação com RSSF e nem sempre há disposição do *hardware* necessário para o estudo, testes e homologação para um projeto em um ambiente real.

### 2.4.1 Simuladores de Rede

Para o desenvolvimento desse projeto serão utilizadas três das principais ferramentas capazes de simular um ambiente de Redes de Sensores Sem Fio, sendo as seguintes: *NS-2*, *OMNeT++* e o *WiNes* (desenvolvido pela PUCRS).

Os próximos tópicos do estudo serão dedicados a apresentar as principais funcionalidades e características dessas ferramentas.

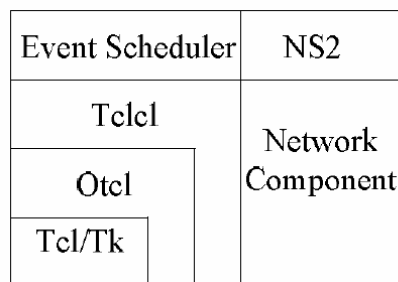
#### 2.4.1.1 NS-2

O NS-2 (*Network Simulator* – versão 2) é um software utilizado na simulação de redes de computadores, tem sua distribuição gratuita e seu código fonte aberto, graças a isso, teve grande avanço no seu desenvolvimento e larga utilização em pesquisas acadêmicas, onde tornou-se uma grande ferramenta colaborativa. (Korkalainen et al., 2009)

A essência básica do NS-2 é de ser um simulador discreto, ou seja, é uma ferramenta dinâmica, a qual sofre alterações a medida que os eventos vão ocorrendo, como o envio de um determinado dado pela rede. (Verona, 2010) Possui um relógio virtual, o qual orienta os eventos discretos que ocorrem durante a simulação, possui diversos módulos que podem simular inúmeros aspectos de uma determinada tecnologia de rede. (Zhang, 2009)

Basicamente a ferramenta NS-2 necessita dos seguintes componentes para o seu funcionamento: (Zhang, 2009)

- **Tcl** – *Tool Command Language* e **Tk** – *ToolKit graphical user interface*;
- **OTcl** – *Tcl* orientada a objetos;
- **TclCl** – *Tool Command Language with Classes*.



**Figura 09:** Componentes de software da ferramenta NS-2

No modelo utilizado pelo NS-2, os componentes de rede (*networks componenets*) são considerados o núcleo do simulador, sendo escritos na linguagem C++ e OTcl. OTcl é uma extensão desenvolvida na linguagem C que proporciona a realização da programação orientada a objeto na linguagem Tcl. (Verona, 2010)

O NS-2 necessita de um *script* escrito na linguagem OTcl para a realização de uma simulação, onde as configurações e parâmetros são definidos. Informações como o protocolo de roteamento, número de dispositivos de rede, tempo de simulação, estão presentes nesse *script*. Dessa forma, o NS-2 pode ser considerado um interpretador de linguagem OTcl. (Verona, 2010)

O mesmo autor explica ainda, que o Tk é o componente utilizado no desenvolvimento de uma interface gráfica, a qual permite a visualização dos eventos que ocorreram durante a simulação. Ainda, o componente Tclcl proporciona uma interface entre o NS-2 e o OTcl, realizando a ligação entre objetos e as variáveis da linguagem.

Dessa forma, através do script OTcl, o NS-2 irá interpretar com suas bibliotecas, obedecendo uma hierarquia de classes, cujo resultado será a criação de dois arquivos, que demonstram a análise e os resultados obtidos durante o período de simulação. (Utzig, 2007)

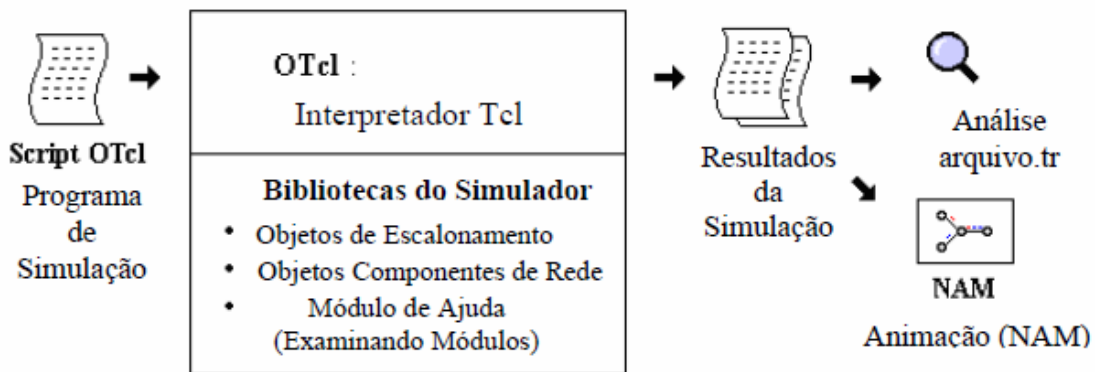


Figura 10: Ilustração do processo de criação e resultados da simulação.

Após a realização da simulação, o NS-2 gera arquivos de saída baseados em texto, possuindo informações detalhadas sobre o processo, os quais podem ser tratados *offline* por algumas ferramentas. Uma dessas ferramentas que permite a visualização gráfica é o NAM – *Network Animator*. (Korkalainen et al., 2009)

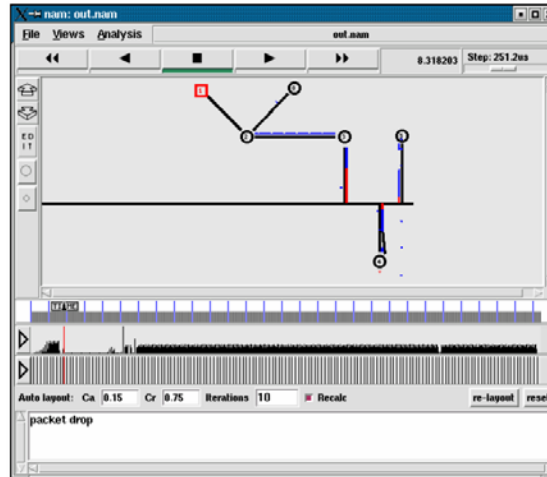


Figura 11: NAM – Network Animator

O NAM possibilita visualizar os fluxos de dados que trafegam nos enlaces e a ocupação das filas, entre outros fenômenos que ocorreram na rede, possui uma interface de trabalho simplificada, tornando-se amigável ao usuário, podendo apresentar graficamente informações presentes nas simulações.

#### 2.4.1.2 OMNeT++

Da mesma forma que *NS-2*, o simulador OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) é um simulador baseado em eventos discreto e orientado a objeto. Desenvolvido em C++ e distribuído através de licenciamento *open-source*, sendo largamente utilizado em pesquisas acadêmicas. Apresenta uma série de recursos referentes à modelagem de tráfego e tratamento de filas em redes de telecomunicações, possibilita verificação da modelagem de multi-processamento e outros sistemas de hardware distribuído. (Korkalainen et al., 2009)

Segundo Macedo (2010), o OMNeT++ consiste em uma arquitetura genérica que possibilita a criação de simulações de diversas situações, entre elas:

- (i) *Modelagem de tráfego e redes de telecomunicações;*
- (ii) *Modelagem de protocolos;*
- (iii) *Modelagem de multiprocessadores e outros sistemas distribuídos de hardware;*
- (iv) *Validação de arquiteturas de hardware;*
- (v) *Avaliação dos aspectos de desempenho de sistemas de software.*

Fundamentalmente, o OMNeT++ utiliza-se dos conceitos de módulos e mensagens. Um módulo aceita mensagens de um outro módulo iniciando assim, a comunicação entre eles. Conforme o tipo de mensagem recebida, o módulo executa o código que lhe corresponde. Este tipo de funcionamento facilita a criação de diferentes estruturas e topologias de rede. (Macedo, 2010)

Além disso, o OMNeT++ possui uma interface gráfica, possibilitando a exibição de gráficos de redes, animações de fluxos de mensagens sendo uma ferramenta totalmente programável e configurável, com uma arquitetura modular. Devido a esse tipo de arquitetura é possível sempre que necessário, acoplar novos módulos, com novas funcionalidades. (Niar; Haffaf, 2012) Esses módulos estão organizados de forma hierárquica, onde os mesmos se comunicam através da troca de mensagens.

O OMNeT++ utiliza como princípio de funcionamento a hierarquização de módulos, os quais comunicam-se entre si, através da passagem de mensagens, que podem possuir uma estrutura complexa de dados.

Cada módulo pode conter uma série de variáveis que possibilitam configurar o seu comportamento e que podem também, através de mensagens próprias, executar uma parte específica do seu código. As mensagens que são trocadas entre módulos podem ser diretamente enviadas entre os módulos simples, ou por meio de conexões previamente especificadas pelo usuário. (Junior, 2006)

Segundo Macedo (2010), os módulos são divididos em três tipos: *módulos simples*, os de nível mais baixo no modelo hierárquico, que são customizados pelo próprio usuário, através da linguagem C++; os *módulos compostos*, que são um conjunto de módulos simples; e por fim o *módulo de camada superior*, denominado por módulo do sistema ou rede. A estrutura modular do OMNeT++ pode ser visualizada na figura 12.

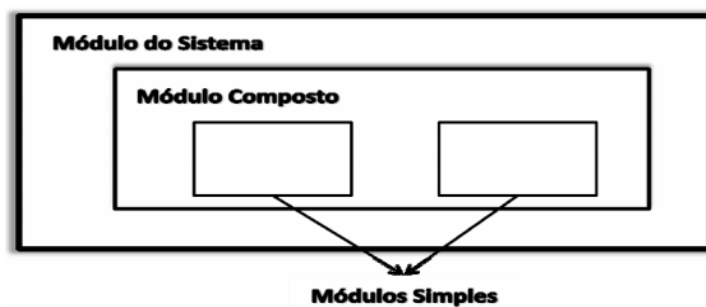


Figura 12: - Estrutura modular do OMNeT++

### 2.4.1.3 WiNes

O simulador de rede sem fio *WiNes* é uma ferramenta que foi desenvolvida pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul – *PUCRS*, sendo um projeto estruturado independente de plataforma, inteiramente desenvolvida na linguagem de programação Java. (Bohrer, 2012)

O objetivo do *WiNes* é fornecer um ambiente de simulação flexível para acomodar qualquer tipo de rede sem fio, independentemente da topologia, do protocolo de comunicação ou do dispositivos, focado na facilidade de utilização para o usuário final, permitindo implementar tais recursos sem um profundo conhecimento da arquitetura e das operações do simulador, além de permitir escalabilidade nós.

O *WiNes* emprega mecanismo de troca de mensagens, permitindo a transmissão de qualquer tipo de dados entre dispositivos simulados. Um conjunto de regras pré-definidas de simulação verifica se um dispositivo é capaz de comunicar-se com outro. Dessa forma, mesmo se um conjunto de dispositivos é incapaz de estabelecer comunicações com base em uma falta de uma determinada regra, é possível que um outro conjunto de regras existentes possa satisfazer os requisitos de comunicação para os dispositivos envolvidos. (Bohrer, 2012)

Esse simulador possui algumas características, tais como:

- (i) *Verificação da possibilidade de comunicação entre os nós,*
- (ii) *Simulação de diferentes topologias de rede;*
- (iii) *Simulação de arquiteturas homogêneas e heterogêneas, e*
- (iv) *Simulação de usuário implementado protocolos.*

O simulador permite que ao usuário possa customizar a ferramenta de acordo com a suas necessidade, já que o *WiNes* permite adicionar informações necessárias para as operações da rede específicas, através de bibliotecas externas (Bohrer, 2012).

## 2.5 Trabalhos Relacionados

No trabalho de Santos (2010), o autor revela a necessidade de repensar o modo de como é realizada a atual produção agrícola nacional, tendo em vista, que cada vez mais ocorrem mudanças climáticas e trazem consigo grandes prejuízos nessa importante atividade

econômica. Essa constatação revela a necessidade em encontrar novas formas e sistemas, através da utilização de novos meios tecnológicos.

Em outro estudo, de Polpitiya e Prasanna (2012), cujo título é “Redes de Sensores sem Fio Agrícolas” (*Wireless Agricultural Sensor Network*), descreve que os avançados tecnológicos podem ajudar a melhorar setores de agricultura de baixa produtividade, principalmente nos países em desenvolvimento. Além disto, o trabalho mostra que o uso da eletrônica, comunicação e tecnologia da informação resulta em melhorias de produtividade na agricultura.

Outros trabalhos citam o uso real de Redes de Sensores em campo, para atividades ligadas à agricultura. Burrell (2004) mostra da aplicação para monitoração de vinhedos. Baggio (2005) demonstra a aplicação em plantação de batatas, para monitorar possibilidade do desenvolvimento de fungos, através de variáveis como umidade e temperatura. Já o trabalho de Camilli (2007), aborda a utilização de Redes de Sensores na agricultura, sob um ponto de vista conceitual, através da utilização de técnicas de simulação.

Dentre as várias pesquisas e protótipos desenvolvidos neste escopo, várias tecnologias são utilizadas e validadas, como por exemplo, nodos com conexão GPRS (*General Packet Radio Service*) e uso de protocolo TCP-IP padrão (Bencini et al., 2009); módulos comerciais de rádio padrão IEEE 802.11b/g a 2.4GHz denominado WSN802G, que dispensam programação e processador (Mendez et al., 2011); sensores e módulos de Rádio Frequência (Verma et al., 2010); e sensores do tipo “zigBee” (Yao et al., 2010).

Na pesquisa intitulada “RSSF baseadas em Grades Hierárquicas: Proposta e Experimento” (*WSN experiment and a grid-based network architecture proposal*) (Shubeita et al., 2012), realizou-se um experimento prático de uma RSSF em uma área rural, durante 90 dias, período em que foram analisados diversos eventos que afetaram o funcionamento desta Rede.

O trabalho baseou-se na utilização de um protótipo LNK2100 (Pohren e Lange, 2009), que propõe o desenvolvimento de uma RSSF para coleta de dados voltada à Agricultura de Precisão, mais especificamente em uma lavoura irrigada por aspersão. O LNK2100 é um sistema modular baseado no sistema operacional *TinyOS*, tendo como finalidade estabelecer uma RSSF de modo que todos os nodos sensores possam participar do roteamento de pacotes até um nó coletor de dados. O sistema é executado em plataforma baseada no TELOSB (Crossbow, 2009) que utiliza o processador MSP430F5418.



Deste trabalho, detectou-se a necessidade de ampliação dos estudos, através do aprofundamento dos tópicos relacionados a Protocolos, Simuladores e Aplicações em RSSF.

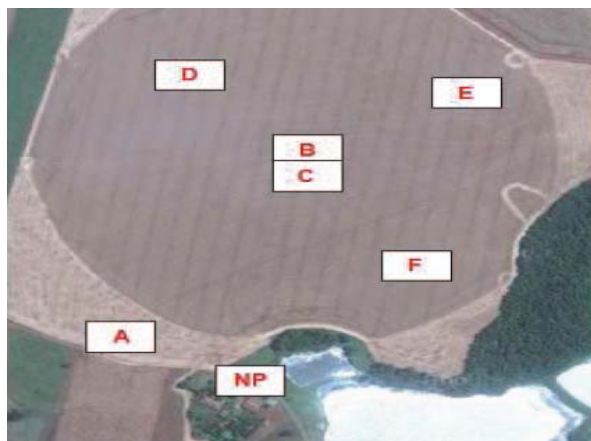
### 3 TRABALHO DESENVOLVIDO

A simulação de sistemas reais por meio de ferramentas computacionais possibilita analisar pontos negativos de um produto ou sistema antes de sua comercialização, como um erro em um projeto aerodinâmico de um avião, ou do sistema de freios de um automóvel. Neste estudo propõe-se uma análise por meio de simulações de RSSF objetivando prever quais as características que melhor se adaptam ao monitoramento de um ambiente destinado à Agricultura de Precisão. A seguir, estão descritas algumas considerações sobre o trabalho, como também, os protocolos de roteamento a serem analisados e a ferramenta para simulação do ambiente.

#### 3.1 Considerações Iniciais

No estudo desenvolvido por Schubeita et al, (2012), realizou-se um experimento prático da implantação de uma RSSF para a coleta de dados voltada à Agricultura de Precisão, buscando colher informações referente ao de uma área de lavoura irrigada.

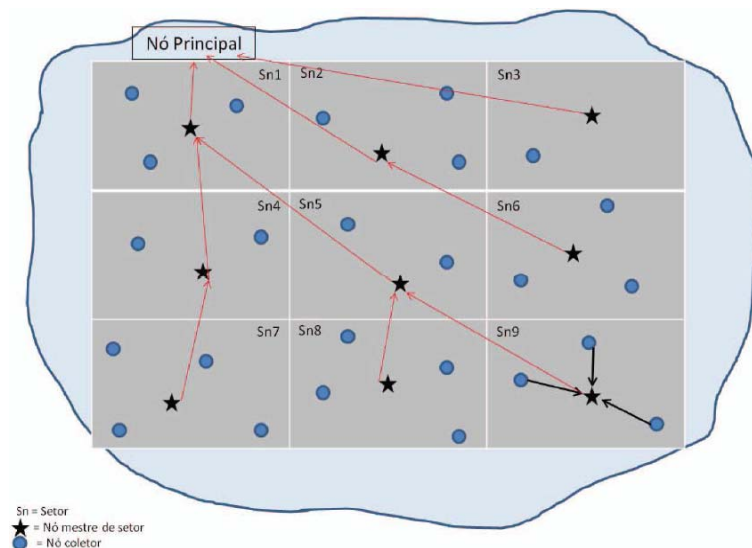
Nesse experimento, utilizou-se uma arquitetura plana para a RSSF, onde os nodos foram dispostos de forma homogênea em uma área de sensoriamento, sendo que um desses foi definido como *Nó Principal*, possuindo a responsabilidade em centralizar o recebimento dos dados, os demais nós, tiveram como tarefa, coletar as informações do ambiente sensoriado, a imagem abaixo representa esse experimento.



**Figura 13 – Disposição dos nós**  
**Fonte: Schubeita et al, (2012).**

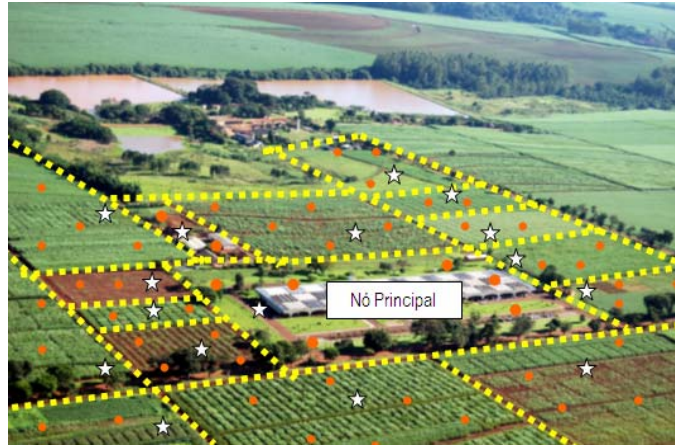
Dentre as diversas conclusões desse experimento, os autores descrevem que, através do arranjo de rede implementado, os problemas relacionados à instabilidade de um determinado nó têm impacto significativo em toda a rede, pois no momento que um sensor deixa de coletar dados de um determinado ponto, acaba por comprometer a qualidade dos resultados no restante da rede. Diante disso, os pesquisadores identificaram a necessidade de propor um modelo de funcionamento que possa prover mais autonomia de decisão aos nodos de rede.

Neste contexto, propõe-se a definição de setores dentro da área a ser sensoriada, através da subdivisão da área em vários setores, com a utilização de protocolos de roteamento hierárquicos, os quais tendem a otimizar os recursos da rede, energia em especial.



**Figura 14 – Modelo Proposto**  
**Fonte: Schubeita et al, (2012).**

A figura acima mostra o conceito de comunicação proposto, onde os pesquisadores deixam claro, que esse modelo poderia ser abstraído para qualquer espaço, seja ele urbano ou rural. Além da otimização dos recursos de energia, esse tipo de protocolo pode melhorar a cobertura da área monitorada, além de permitir, no caso de uma aplicação voltada ao meio rural, a subdivisão e setorização de culturas e instalações (figura 15), possibilitando controlar diferentes culturas em momentos pontuais.



**Figura 15 – Divisão hierárquica em um ambiente rural.**

Conforme apresentado na Figura 14, os elementos que compõem esse cenário podem ser descritos como: (i) *nó Principal (ou estação base)*, (ii) *nó Mestre (cluster head)*, (iii) *nó Coletor* e (iv) *Setor*. Os conceitos de nó Mestre e nó Coletor são utilizados para *cluster heads* hierarquizar a comunicação e definir claramente o papel de cada um dentro da rede. O nó Principal é o ponto de envio e coleta de dados. Ele concentra todas as informações de configurações e funcionamento da rede, tais como: o canal de comunicação (mono ou multicanal), armazenamento dos dados coletados, informações dos setores, nós Mestres e nós Coletores, data e hora e os demais parâmetros da rede. Ele pode prover um novo setor, caso um dos nodos Mestres apresentarem uma falha, além de manter um histórico da rede pré/pós-falhas e de possuir recursos computacionais robustos e possuir sistemas de alimentação de energia tolerante a falhas.

O nó Mestre de cada setor tem a função de gerenciar e transmitir dados coletados pelo seu setor. Para fazer isto, este mantém uma tabela com todos os IDs (identificadores) dos nodos Coletores, além dos valores de identificação de todos os outros Mestres de setor, caso existam. O nó Mestre é o mais exigido em nível de transmissão e recepção na rede e tem, teoricamente, maior consumo de energia. O nó Coletor possui as funções de coletar e repassar os dados sensorizados ao nó Mestre do Setor e receber parâmetros de configuração. Mesmo com visada e alcance de transmissão para outros setores, ele se comunica apenas com seu nó Mestre, garantindo assim, a autonomia dos setores.

Os autores explicam ainda, que esse modelo de rede permitirá a criação de mecanismos na ocorrência de falha de algum dos nodos Mestre. Dessa forma, o setor é dissolvido e incorporado ao setor do nó Mestre mais próximo, com a distância mensurada

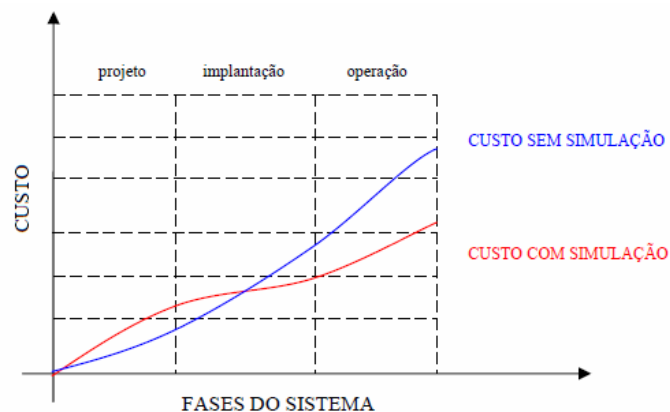
pelos parâmetros de comunicação. O novo nó Mestre designado pelo nó Principal é informado da queda no nó Mestre vizinho, tendo armazenado os parâmetros do setor dissolvido.

Mas, caso ocorra algum tipo de problema com um nó Coletor, o nó Principal irá resgatar dados históricos sobre as coletas já realizadas, calculará sua média e realizará uma previsão do comportamento futuro desse nó ausente, utilizando ainda as leituras e médias dos demais nodos.

Diante da oportunidade em criar uma rede desse modelo, qual seria a melhor forma de demonstrar e comprovar ao empresário rural, que esse tipo de investimento pode resolver o seu problema? Que a implementação ocorrerá com sucesso? Dessa forma, a simulação vem ao encontro a essa necessidade, a fim de auxiliar e embasar o Gestor de TI, sobre utilização dessa nova tecnologia, tendo em vista que as técnicas de simulação podem gerar benefícios através da identificação e eliminação de problemas de forma antecipada, ainda na fase de projeto (Duarte, 2003). Portanto, demonstraremos o funcionamento de RSSF, em um ambiente simulado, onde pode-se verificar a eficácia ou não da tecnologia nesse ambiente.

Ao aplicar técnicas de simulação, o Gestor terá a percepção de que o investimento é ou não viável, sendo que, durante o desenvolvimento, o projeto passa por diferentes fases e características distintas entre si, ou seja, cada qual com o seu tempo e custo.

Dessa forma, é importante apresentar ao empresário a figura 16, que ilustra que a utilização das técnicas de simulação durante o desenvolvimento de uma rede possui um custo significativo na fase de projeto, mas é justamente nessa fase que essa metodologia consegue planejar um sistema mais otimizado e preciso e, por consequência, nas fases de implantação e operação obtém-se a esperada redução do custo (Duarte, 2003).



**Figura 16 – Comparativo da evolução dos custos do sistema com e sem aplicação da simulação**  
**Fonte: Duarte (2003).**

Diante disso, esse trabalho dedicou-se a realizar uma revisão bibliográfica, a fim de definir quais seriam as melhores opções para prover o ambiente proposto nesse experimento. Os próximos tópicos serão dedicados a debater a melhor opção para a implantação desse cenário, onde os dados comprobatórios serão obtidos através das técnicas e ferramentas de simulação de rede.

### 3.2 Resultados Esperados

Em linhas gerais, sabe-se que a configuração de uma Rede de Sensores Sem Fio depende do tipo de aplicação em questão, assim, a especificação dos componentes da rede, protocolos de comunicação e a distribuição dos nós sensores estão diretamente associados ao desempenho do ambiente.

De modo a auxiliar na identificação da melhor opção para a criação de uma RSSF hierárquica, analisam-se alguns cenários para a implementação, onde os dados serão obtidos através de simulações, comprovando o melhor arranjo e configuração do modelo.

Com o objetivo de validar a melhor opção para a utilização de um arranjo hierárquico, as simulações pretendem responder aos seguintes questionamentos:

- Baseado no cenário de RSSF destinado à agricultura de precisão, qual a melhor opção de protocolo hierárquico a ser utilizado?
- Nesse ambiente, qual a quantidade ideal de *clusters* a serem configurados?
- Realizando a variação da localização da estação base, há algum tipo de ganho ou prejuízo de comunicação?
- Qual a quantidade ideal de nós sensores para realizar o monitoramento de forma eficiente?
- A rede terá energia suficiente para monitorar todo o período de simulação?

### 3.3 Contexto da Simulação

A seguir, apresentam-se os protocolos de roteamento que serão avaliados, a escolha pelo simulador a ser utilizado nas simulações, além de apresentar alguns parâmetros envolvidos com o cenário de avaliação.

#### 3.3.1 Definição do Algoritmo de Roteamento

Com base no modelo de estudo proposto por Schubeita et. al, (2012), onde mostra a possibilidade em subdividir a área de sensoriamento em setores, buscou-se identificar na literatura algum protocolo que permita realizar o roteamento de forma hierárquica.

Diante desse contexto, optou-se em estudar e simular o comportamento do protocolo *Leach* e sua variação *Leach-c*. Dentre as vantagens que levaram a essa escolha, está a característica do algoritmo possuir uma coordenação local da rede, a qual permite criar e operar seus aglomerados, além de possibilitar a rotação aleatória dos seus *clusters heads* e por fim, a fusão local dos dados conforme apresentado no capítulo anterior.

#### 3.3.2 Definição do Simulador

Para definir a ferramenta de simulação de rede a ser trabalhada para implementação dos protocolos hierárquicos e para a coleta dos resultados de simulação, realizou-se um estudo bibliográfico entre as ferramentas NS-2, OMNeT++ e o simulador WiNES.

Dentre os fatores que devem ser avaliados para a escolha de um simulador aos projetos de RSSF, estão nos modelos de energia suportados, bem como os protocolos e algoritmos de comunicação, além disso, outro fator que deve ser considerado é verificar se há uma boa qualidade de documentações, facilidade para implementação de novas características, entre outras.

Lesmann et al. (2008), demonstram em seu trabalho uma comparação entre alguns simuladores de rede, onde o NS-2 mostrou-se mais simples em relação à implementação, porém com uma curva de aprendizado superior aos demais. Contudo, esse simulador foi

escolhido, além, da facilidade de implementação mencionada, em razão dos recursos implementados, por ser gratuito e vastamente utilizado no meio acadêmico.

Aguiar et al. (2008), explica em seu comparativo que NS-2 é largamente utilizado para comparação de resultados com diversos protocolos, devido a sua confiabilidade, além de ser vastamente difundido, tendo em vista, a confiança adquirida pelo longo tempo de uso, sendo inclusive utilizado para a validação de outros simuladores.

Caldeira (2012) cita em sua dissertação, que o NS-2 é um simulador para eventos discretos, direcionado para pesquisa em redes de computadores. Fornece um suporte amplo para avaliação de desempenho de funções como *Unicast* ou *Multicast* e todos os principais protocolos *IP*, *TCP*, *UDP*, *RTP*, *RTCP*, *FTP*, *HTTP* em taxas de tráfego constantes *CBR* ou variáveis *VBR*. O simulador funciona tanto para redes fixas como para *wireless* em geral. A plataforma é considerada como um padrão de fato e sua validação é comprovada e aceita por órgãos de padronização como o *NIST*<sup>1</sup> e agências de governo como a *DARPA*<sup>2</sup>.

Dessa forma, baseado na revisão bibliográfica realizada e analisando as opções das ferramentas, optou-se em utilizar o simulador NS-2 para simular o ambiente proposto. Esse simulador foi desenvolvido no projeto VINT - *Virtual InterNet Testbed*, através da LBNL - *Lawrence Berkley National Laboratory*, pela ISI - *Information Sciences Institute* na Universidade da Califórnia do Sul e pelo laboratório da Xerox PARC (Teixeira, 2005).

Baseia-se na linguagem *TCL* para a elaboração de *scripts*, onde são definidos os cenários e o comportamento das conexões, possui ainda alta flexibilidade, possibilitando sua customização. O NS-2 permite a criação de protocolos de diversos tipos e topologias de rede, incluindo as RSSF, suportando a utilização de nós móveis e a definição de restrições de energia (De Paula, 2006).

O NS-2 possui uma estrutura dividida em duas partes, as quais separam a do *usuário* e a do *desenvolvedor*. O modo usuário é utilizado para construir cenários de simulação com suporte nativo do NS-2, através da linguagem *TCL* envolvendo parâmetros como: a quantidade e a localização dos nós, seleção da camada física, de enlace, de transporte, de aplicação; configuração dos fluxos das informações; comportamentos de mobilidade da rede, entre outras, as quais, posteriormente, irão gerar arquivos de resultados. (Pantoni, 2011).

---

<sup>1</sup> NIST - *National Institute of Standards and Technology* é uma agência governamental não-regulatória da administração de tecnologia do Departamento de Comércio dos Estados Unidos.

<sup>2</sup> DARPA - *Defense Advanced Research Projects Agency*, agência americana de projetos de pesquisa avançada de defesa.



Já o modo desenvolvedor permite, por sua vez, o desenvolvimento de novos protocolos de rede. Esse modo requer uma linguagem de programação de sistemas de baixo nível, e nesse aspecto a linguagem C++ possibilita a manipulação *bytes*, processamento de pacotes e implementação de algoritmos, além de fornecer todos os recursos da orientação a objeto (Pantoni, 2011).

### 3.3.3 Projeto $\mu$ AMPS

Tendo em vista a necessidade em simular protocolos de roteamento hierárquico no simulador NS-2, foi necessária ainda, a aplicação de um componente extra, o qual permitiu simular o uso desse modelo de algoritmo. Dessa forma, foi utilizada a extensão desenvolvida para o projeto  $\mu$ AMPS do MIT (Mit, 2000).

O projeto  $\mu$ AMPS - *Micro-Adaptive Multi-domain Power-aware Sensors*, do MIT - *Massachusetts Institute of Technology*, objetivou o desenvolvimento de soluções com garantia de escalabilidade e baixo consumo de energia para diversos tipos de aplicações em Redes de Sensores Sem Fio (Brittes, 2007).

Além do desenvolvimento do protocolo *Leach*, esse projeto também desenvolveu uma extensão para o simulador NS-2, viabilizando testes e simulações com o pacote de protocolo e suas variantes.

Essa ferramenta visa adicionar suporte para RSSF em larga escala, incluindo modelos de dissipação de energia, verificação do estado de um determinado nó, entre outros (Mit, 2000).

## 3.4 Definição do Cenário

Esse estudo pretende servir como base para uma tomada de decisão em ambiente empresarial, no que diz respeito a novos projetos ou melhorias em uma RSSF, já que as informações essenciais para o empresário rural estão relacionadas, principalmente, ao tempo de vida útil da rede e na quantidade de dados transmitidos pelos nós sensores para a estação base. Outra questão necessária é verificar se essas informações poderão ser coletadas durante todo um período de um determinado ciclo de produção.

Portanto, pretende-se demonstrar que a utilização de simuladores pode ser uma importante ferramenta para prever esse cenário, por isso, questões relativas a colisões, necessidade de retransmissão, frequência de transmissão, etc, estarão fora do escopo deste estudo.

Um dos objetivos dessas simulações é justamente, quantificar a diferença entre os algoritmos de roteamento propostos, avaliando questões relativas ao desempenho em transmissões efetuadas pelos nós sensores para a estação base.

Será verificado ainda, se as questões do posicionamento da estação base em uma RSSF e quantidade de *clusters* em uma rede hierárquica têm interferência direta na qualidade de transmissão e no tempo de vida útil da rede.

Dentre os parâmetros utilizados para a simulação, serão considerados os seguintes:

- a) **Área de simulação:** o tamanho definido para a área de sensoriamento, será a mesma utilizada no experimento real (Schubeita et. al, 2012), ou seja, 300 metros de largura por 300 metros de extensão;
- b) **Modelo de sensor:** Visando facilitar o desenvolvimento da pesquisa e, tendo em vista, que um dos objetivos é o de proporcionar uma visão geral sobre a utilização dos simuladores de rede, se utilizará o modelo de sensor incluído ao módulo de simulação do projeto  $\mu$ AMPS. Esse tipo de sensor foi criado pelos pesquisadores do MIT, onde os nós sensores  $\mu$ AMPS possuem uma política de gerenciamento de energia, conhecida por *power-aware* ou *energy-aware*, o qual permite que cada nó sensor seja capaz de fazer com que o seu consumo de energia se adapte às características e variações do ambiente existem muitas variações no ambiente. O nó sensor  $\mu$ AMPS utiliza o rádio transceptor *LMX3162* da *National Semiconductor*. Opera na frequência de 2,45 GHz, conseguindo um alcance entre 10 e 100 metros e uma taxa de transmissão de 1 *Mbps*, em transmissões sem-fio, ponto a ponto (Silva et. al, 2013).

Cabe ressaltar que o simulador NS-2 permite o desenvolvimento de módulos adicionais, que permitem simular exatamente a arquitetura e funcionamento de sensores específicos. Nessa pesquisa, não será simulado o mesmo tipo de sensor utilizado na pesquisa Schubeita et. al, 2012, pois aquele *hardware* é parte de um projeto de arquitetura fechada, o que impediu sua completa descrição e reprodução para fins de simulação.

Nosso objetivo foi de verificar se há alterações de performance na rede, ao efetuar diferentes configurações, bem como verificar se é possível utilizar essa metodologia para comparar, por exemplo, diferentes algoritmos de roteamento. Desse modo, o uso de um modelo genérico de sensor atende perfeitamente a essa necessidade.

- c) **Localização dos nós:** a distribuição dos nós sensores pela área de sensoriamento realizou-se em forma de *grid*, ou seja, de maneira uniforme em todo perímetro de análise. É importante ressaltar, que a ferramenta de simulação permite a criação de outras formas de distribuição dos nós. Na Figura 17, observam-se como os nós sensores foram distribuídos na área.

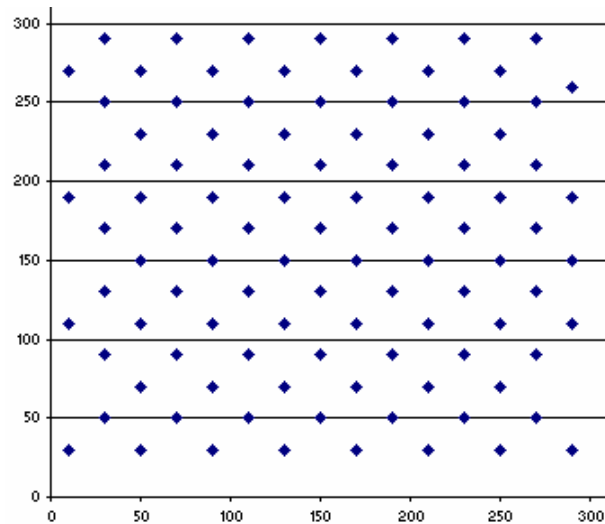


Figura 17 – Distribuição em grade dos nós sensores

- d) **Quantidade de nós sensores:** inicialmente, o cenário será composto por 100 nós sensores, sendo que um desses é definido como a estação base da rede. Posteriormente, pretende-se reduzir essa quantidade e verificar se a rede manterá o seu funcionamento.
- e) **Rede hierárquica:** tendo como objetivo analisar o comportamento de uma RSSF hierárquica, decidiu-se verificar o desempenho ao variar a quantidade de *clusters* da área, para tanto, serão simulados quatro diferentes tipos de configuração de *cluster*, onde a área será dividida em dois, quatro, seis e nove *clusters*.

### 3.5 Simulações e Resultados Alcançados

A seguir, são descritos os parâmetros utilizados para realização das simulações, bem como, os resultados que comparam o desempenho dos protocolos *Leach* e *Leach-c*, aplicando diversos modelos de configurações em RSSF. Apresentam-se os testes que foram realizados, onde se avaliaram os parâmetros relativos às transmissões efetuadas, bem como a análise do tempo em que a rede manteve-se ativa.

#### 3.5.1 Parâmetros Iniciais

Como explanado anteriormente, as simulações realizaram-se através da utilização do simulador NS-2 (*Network Simulator*), na versão 2.34, sendo utilizado o Sistema Operacional *Linux*, através da distribuição *Ubuntu 10.10*.

Tornou-se necessário ainda, instalar o componente extra, desenvolvido para simulações de protocolos hierárquicos, o qual foi criado originalmente para o projeto  $\mu$ AMPS do MIT. Com base nesse componente, utilizaram-se como parâmetros básicos de configuração, os seguintes:

- *Taxa de transmissão: 1 Mbps*
- *Tamanho do bloco de dados: 500 bytes*
- *Tempo de simulação: 3600 segundos*
- *Intervalo de troca dos clusters: 20 segundos*
- *Energia inicial do nó: 15 Joules<sup>3</sup>*

Através desses parâmetros e, juntamente, com o cenário desenhado na seção 3.4, será possível obter dados, os quais poderão quantificar e demonstrar as principais diferenças entre as configurações e arranjos propostos para uma RSSF.

#### 3.5.2 Variação da Quantidade de *Clusters*

Sob a ótica de um ambiente destinado à Agricultura de Precisão, é preciso que a rede tenha autonomia de energia suficiente para monitorar todo um ciclo de uma determinada área

---

<sup>3</sup> Joule (*J*) - unidade do sistema internacional utilizada para quantificar a energia.

de cultivo. Portanto, para obter a melhor configuração de uma RSSF serão simuladas as seguintes opções para dividir a área de sensoriamento em setores, assim, as simulações utilizaram os seguintes cenários:

- a) Dividir a área e simular uma configuração composta por 2, 4, 6 e 9 *clusters* comparando o desempenho dos algoritmos: *Leach* e *Leach-c*. As figuras a seguir, proporcionam uma visão de como a rede é dividida, utilizando esse conceito de *cluster*.

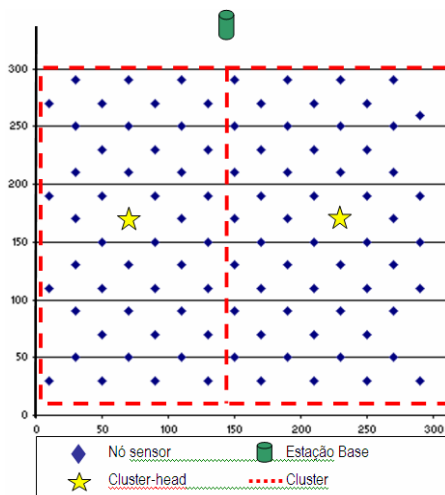


Figura 18: Formação da rede com 2 clusters

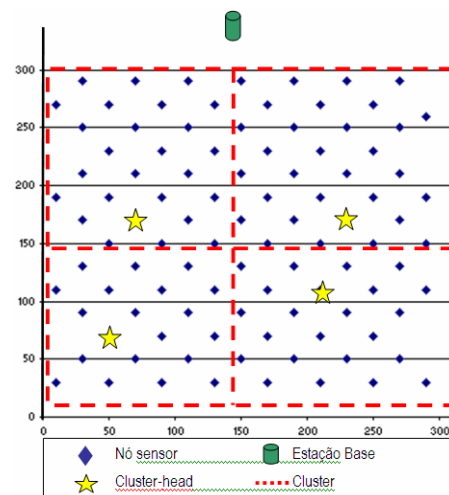


Figura 19: Formação da rede com 4 clusters

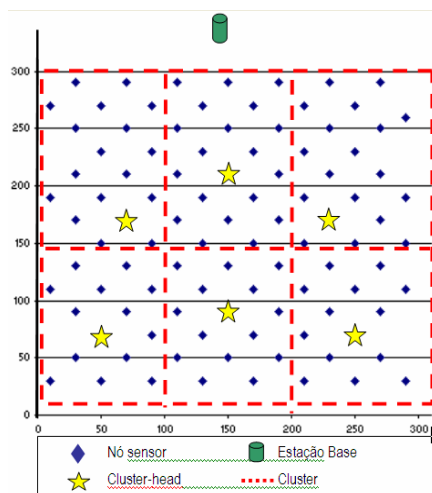


Figura 20: Formação da rede com 6 clusters

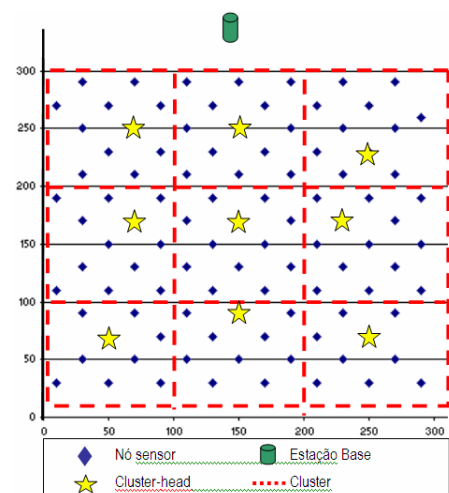


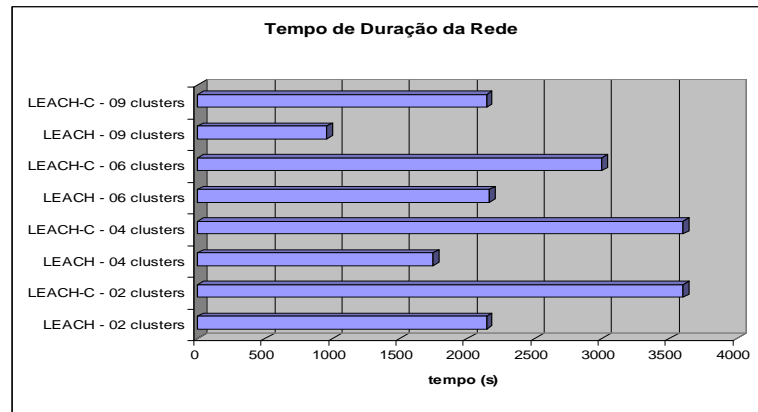
Figura 21: Formação de rede com 9 clusters

### 3.5.3 Primeira Rodada de Simulação: Tempo de Vida da Rede

Nessa primeira rodada de simulação, procurou-se avaliar o tempo em que a rede se manteve ativa. Definiu-se como tempo limite de simulação, o máximo de 3600 segundos, com

um nível inicial de energia de 15 *joules*. Portanto, o cenário ideal será aquele que mantiver o funcionamento da rede durante todo esse espaço de tempo.

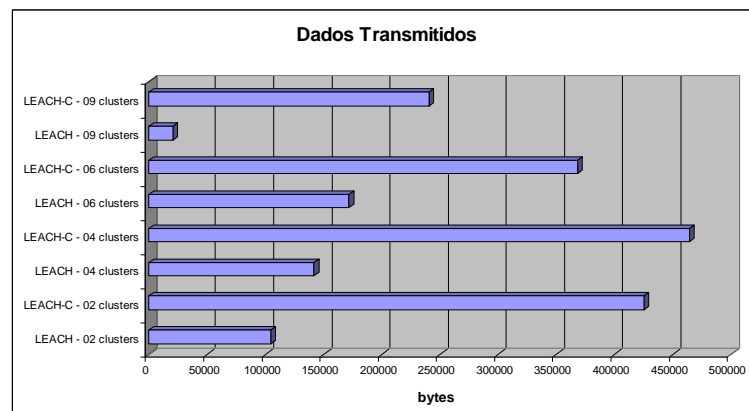
Realizaram-se simulações variando a quantidade de *clusters*, e analisando o desempenho dos dois protocolos objetos de estudo. No gráfico abaixo é possível visualizar o desempenho dos mesmos, em cada um dos cenários definidos.



**Figura 22: Gráfico com o tempo de duração da rede**

### 3.5.4 Segunda Rodada de Simulação: Transmissão dos Dados

Posteriormente, as simulações realizaram-se com o objetivo de avaliar a quantidade de dados enviados pelos nós coletores para o nó centralizador (estação base). Os requisitos e o cenário foram os mesmos definidos anteriormente. Dessa vez, o cenário considerado ideal é aquele que conseguir transmitir um maior número de informações. O gráfico abaixo ilustra os resultados alcançados.



**Figura 23: Gráfico com a quantidade de dados transmitidos**

### 3.5.5 Resumo das Simulações Efetuadas

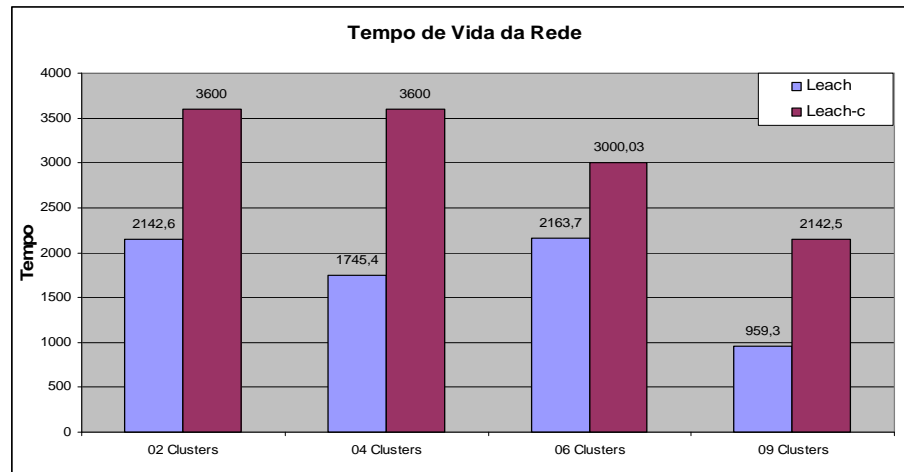
Durante as etapas anteriores, realizaram-se várias simulações, onde foi possível obter alguns resultados. Os dados que estão listados no quadro abaixo apresentam informações a respeito das diversas configurações de *clusters* testadas, bem como uma comparação entre os algoritmos *Leach* e *Leach-c*.

É possível observar a quantidade de tempo em que a rede manteve-se ativa, a quantidade de dados transmitidos, como também, ao término da simulação, a quantidade de nós sensores que ainda possuíam algum índice de energia. Logo após, esses dados são comparados através de uma forma gráfica.

<b>Área de sensoriamento: 300m x 300m</b> <b>Quantidade de nós sensores: 99</b> <b>Quantidade de estação base: 01</b> <b>Posição da estação base (eixo x, y): 150, 330 (fora da área de sensoriamento)</b>				
<i>Número de Clusters</i>	<i>Leach</i>		<i>Leach-c</i>	
<b>02 clusters</b>	Tempo de vida:	<b>2142,60</b>	Tempo de vida:	<b>3600,00</b>
	Bytes transmitidos:	<b>104886</b>	Bytes transmitidos:	<b>425266</b>
	Nós ainda vivos:	<b>1</b>	Nós ainda vivos:	<b>18</b>
<b>04 clusters</b>	Tempo de vida:	<b>1745,40</b>	Tempo de vida:	<b>3600,00</b>
	Bytes transmitidos:	<b>141894</b>	Bytes transmitidos:	<b>464240</b>
	Nós ainda vivos:	<b>3</b>	Nós ainda vivos:	<b>11</b>
<b>06 clusters</b>	Tempo de vida:	<b>2163,70</b>	Tempo de vida:	<b>3000,03</b>
	Bytes transmitidos:	<b>171810</b>	Bytes transmitidos:	<b>368546</b>
	Nós ainda vivos:	<b>5</b>	Nós ainda vivos:	<b>6</b>
<b>09 clusters</b>	Tempo de vida:	<b>959,30</b>	Tempo de vida:	<b>2142,50</b>
	Bytes transmitidos:	<b>20641</b>	Bytes transmitidos:	<b>240782</b>
	Nós ainda vivos:	<b>8</b>	Nós ainda vivos:	<b>8</b>

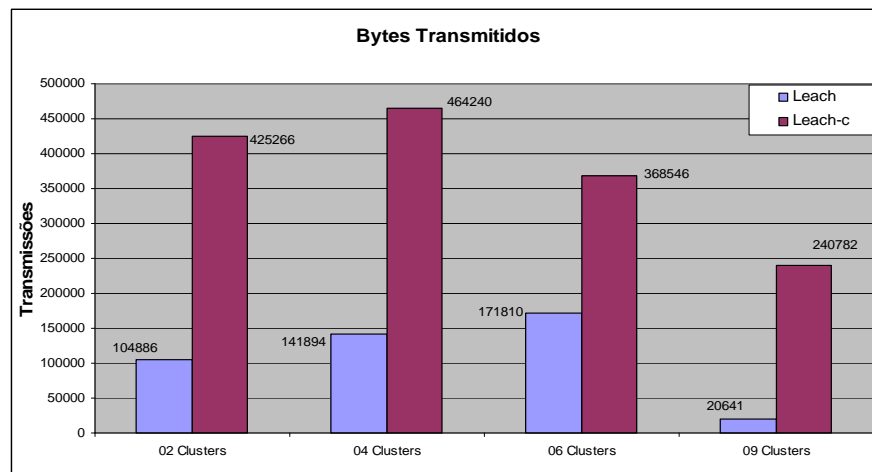
**Quadro 05: Resumo das simulações realizadas**

A figura 24 apresenta as diferentes configurações da rede, onde a quantidade de *clusters* influencia diretamente na duração do tempo de vida útil da rede, é mostrada também, a diferença entre os dois algoritmos de roteamento.



**Figura 24: Análise do tempo de vida útil da rede**

A figura 25 apresenta o mesmo cenário apresentado acima, sendo que dessa vez, é comparada a quantidade de dados que são transmitidos nessas configurações.



**Figura 25: Análise da quantidade de dados transmitidos**

Através dessas simulações foi possível observar que uma rede iniciando suas atividades com uma mesma quantidade de energia, e com um mesmo número de nós sensores, pode alcançar diferentes resultados, através da aplicação de diferentes formas de configuração dos nós.

Observa-se ainda, que somente os cenários configurados com dois e quatro *clusters*, tiveram autonomia de energia suficiente para manter a rede em funcionamento durante todo o



período de simulação, nos demais, a rede funcionou por um período inferior, tendo em vista a quantidade de energia consumida nesse modelo de configuração.

Baseado nesses resultados entende-se, que o cenário que apresentou o melhor desempenho foi de uma rede composta por quatro *clusters*, e utilizando-se do protocolo *Leach-c*. Essa afirmação vai ao encontro da necessidade do ambiente agrícola, onde é essencial que a rede mantenha-se ativa e transmitindo a maior quantidade de informações possíveis. Também foi possível visualizar que nessa configuração, a rede manteve-se ativa durante o tempo máximo de simulação (3600 segundos), mesmo tempo que o cenário composto por dois *clusters*, mas com a vantagem de transmitir uma maior quantidade de dados (464240 bytes).

### 3.5.6 Variação da quantidade de nós

Como em qualquer área empresarial, uma das funções da TI é proporcionar meios para maximizar o lucro e reduzir as despesas. A simulação a seguir, mostra uma forma eficiente de quantificar o número ideal de nós sensores para uma rede.

Nas simulações anteriores, optou-se por uma rede composta por 100 nós sensores, sendo que um destes nós, foi definido como a estação base da rede. O modelo de sensor simulado foi o do projeto *μAMPS*, já descrito na seção 3.5, o que garantiu o sensoriamento e o funcionamento da rede.

Para demonstrar se é possível obter uma otimização dos investimentos em uma RSSF, através da utilização de simuladores, foram simuladas a diminuição do número inicial de sensores, sendo reduzida essa quantidade em 20%, 15% e 10%.

Com base nessa hipótese, realizaram-se outras três simulações, onde os parâmetros iniciais foram os mesmos utilizados anteriormente, além disso, a rede foi dividida em 4 *clusters* e utilizou o algoritmo *Leach-c*. Essa configuração foi embasada nos resultados alcançados anteriormente.

Quantidade de nós	Tempo de vida da rede	Bytes transmitidos
<i>80 nós</i>	3150,02	377273
<i>85 nós</i>	3262,70	382493
<i>90 nós</i>	3572,40	433573

**Quadro 06: Variação da quantidade de nós sensores**

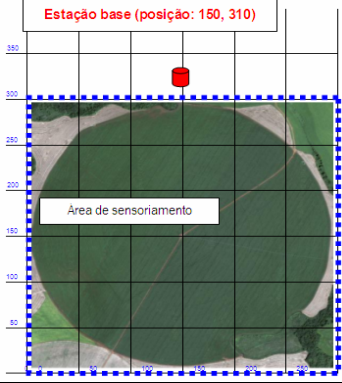
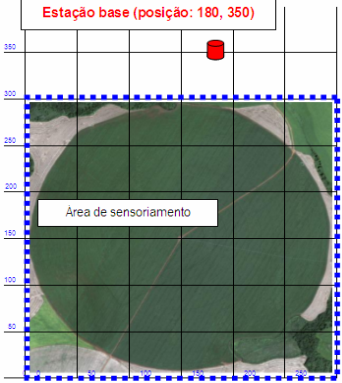
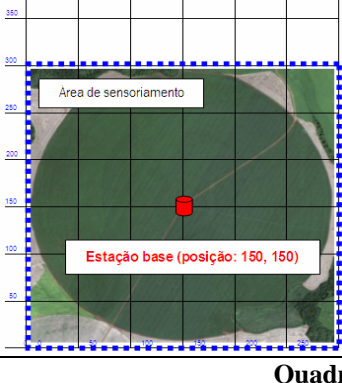
Ao observar o quadro 06, é possível verificar que pode-se alcançar uma redução de, em torno de 10% na quantidade de nós sensores, já que a rede composta de 90 nós, manteve-se ativa, praticamente, durante todo o tempo previsto de simulação, alcançando um tempo de duração de 3572 segundos.

### 3.5.7 Variação do Posicionamento da Estação Base

Visando otimizar ainda mais a performance da rede, as simulações a seguir visam obter informações sobre o posicionamento da *Estação Base*, com o objetivo de verificar se há ganho de desempenho nas transmissões realizadas pela rede e será empregado o cenário que alcançou o melhor desempenho anteriormente, portanto, a rede será composta de 4 *clusters*, utilizará o protocolo *Leach-c* e terá 90 nós sensores.

Em um ambiente de agricultura de precisão, no caso, por exemplo, da utilização para o monitoramento de uma área de cultivo irrigada, normalmente a estação base fica fora do perímetro de sensoriamento, onde existe uma infraestrutura de rede elétrica e lógica disponível.

Assim, as simulações anteriores basearam-se em um posicionamento da estação base fora da área de sensoriamento, fundamentados em um eixo *xy* na posição *150,330*. A seguir serão simuladas diferentes posições para a Estação Base, sendo consideradas as seguintes coordenadas: *150,310* e *180,350*. Por fim, será realizada ainda uma simulação que prevê o posicionamento da Estação Base, no centro da área de sensoriamento (*150,150*). Os resultados dessas simulações são visualizados no quadro abaixo.

Posicionamento Estação Base	Tempo de vida da rede	Energia consumida	Bytes transmitidos
<p><i>Coordenada: 150, 310</i></p> 	3600,00	2989,33	440989
<p><i>Coordenada: 180, 360</i></p> 	3361,90	3457,10	403666
<p><i>Coordenada: 150, 150</i></p> 	3600,00	1780,95	496118

**Quadro 07: Variação do posicionamento da estação base**

Conforme os resultados alcançados a partir dessas simulações é possível verificar que a localização da Estação Base tem ligação direta com a qualidade de comunicação da rede. Ao observar a tabela acima, nota-se que ao posicionar a Estação Base no centro da área a ser monitorada há um ganho na qualidade de transmissão, uma vez que a rede consegue transmitir uma maior quantidade de dados, empregando uma menor quantidade de energia.

Observa-se ainda, quanto maior a distância entre a Estação Base e os nós coletores, há a necessidade de uma maior quantidade de energia para o funcionamento da rede e, por consequência, uma durabilidade menor da rede.

Novamente, voltando-se à análise para o cenário da Agricultura de Precisão, a melhor opção simulada é a localização fixada nas coordenadas 150, 310, fora da área de sensoriamento, onde teoricamente existe a possibilidade de uma infraestrutura de rede tradicional para a estação base. Dificilmente esse tipo de estrutura poderia estar acondicionada no centro de uma área destinada à irrigação, no caso, o cenário que simulou as coordenadas 150, 150.

Observa-se ainda, que a partir das coordenadas 150, 310, a rede conseguiu manter-se ativa durante todo o período de simulação e, obteve-se ainda, um ganho na quantidade de dados transmitidos, em relação à simulação realizada no quadro 06.

### **3.6 Análise dos Resultados**

Como visto anteriormente, e independentemente do tipo do ramo de atuação, as organizações competem em um ambiente cada vez mais dinâmico e competitivo, e seus gestores precisam tomar decisões importantes para o futuro desses ambientes. Muitas vezes estas decisões são tomadas sem a obtenção e análise de todos os dados necessários, prejudicando assim, o alcance dos resultados desejados.

Mesmo com a análise de todos os dados, as decisões tomadas pelos gestores em ambientes empresariais de alta pressão são sempre baseadas em hipóteses. Estas hipóteses se manifestam de diversas maneiras: hipóteses sobre previsões de demanda e comportamento da base de clientes, hipóteses sobre as reações futuras dos concorrentes, hipóteses sobre as condições de produção e assim por diante. Entretanto, qualquer hipótese carrega consigo um determinado grau de incerteza em relação a sua confirmação. Esta incerteza depende de uma série de fatores complexos e inter-relacionados que muitas vezes não são entendidos pelos tomadores de decisão de uma forma adequada.

As seções anteriores apresentaram uma série de simulações que foram realizadas em virtude desse estudo, com objetivo de obter dados que pudessem nortear o desenvolvimento de uma RSSF para um ambiente agrícola. Esse experimento pode proporcionar resultados que, dificilmente, seriam obtidos através de outro método de avaliação.

Após a definição do cenário que foi emulado computacionalmente, a seção 3.5, apresentou informações que puderam comprovar que a melhor configuração de RSSF para o

ambiente seria através da utilização do algoritmo *Leach-c*, e com uma rede dividida em quatro *clusters*. Com essa composição, pode-se observar que a rede manteve-se ativa por um período de tempo superior, além de transmitir uma maior quantidade de dados.

Ainda nessa seção, pode-se otimizar o número de nós sensores atribuídos no início do estudo. Graças às simulações, pode-se alcançar uma redução em torno de 10% no número inicial. Isso comprova que essa técnica é uma ferramenta estratégica, permitindo otimizar os investimentos necessários logo no início de um projeto.

Para melhorar ainda mais o desempenho da rede, na seção 3.5.7, foram realizadas outras simulações, referente ao posicionamento da Estação Base, e pode-se comprovar que a sua localização está diretamente relacionada ao consumo de energia e, ao número de dados transmitidos. Por isso, a localização da Estação Base deve visar, sempre que possível, a diminuição da distância máxima entre ela e os nós sensores da rede.

Baseado nas alternativas propostas, a melhor configuração para essa rede seria através da utilização do algoritmo *Leach-c*, sendo configurada com quatro *clusters*, sendo composta por noventa nós sensores, onde a Estação Base estaria posicionada nas coordenadas 150, 310, fora do perímetro de sensoriamento, em virtude das restrições do ambiente em questão.

Outro importante fator que pode ser observado foi à possibilidade em emular um *hardware* com suas características reais. Ao basear-se nessa metodologia de simulação, o Gestor pode analisar o custo/benefício de um determinado equipamento, já que as verificações, como por exemplo, a da quantidade de energia disponível, pode ser analisada, testada e otimizada para uma aplicação específica.

Nesse caso, a metodologia apresentada proporciona ao Gestor de TI um mecanismo capaz de testar a eficácia de diferentes tipos de *hardware*, comparados e verificando suas características e limitações, promovendo assim, um investimento de acordo com a estratégia da organização.

Dessa forma, as técnicas de simulação utilizadas nesse capítulo puderam demonstrar um mecanismo eficiente para apoio à tomada de decisão. Sendo que através dessa metodologia, conseguiu a minimização dos custos, diminuindo o grau incertezas relacionadas às decisões de investimento.

## 4 CONCLUSÃO

Esse trabalho dedicou-se a estudar e simular diferentes cenários de Redes de Sensores Sem Fio, com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros de configuração em relação ao aumento do tempo de vida útil da rede, além de buscar a otimização na quantidade de transmissões efetuadas em um ambiente destinado à Agricultura de Precisão.

Além disso, outro enfoque em que o trabalho foi direcionado refere-se à importância em utilizar esse tipo de metodologia (simulação) para embasar um direcionamento estratégico na tomada de uma decisão.

Para o melhor entendimento a respeito das conclusões alcançadas nesse estudo, as considerações finais estão divididas sob dois enfoques diferentes, ou seja, sob uma visão dos aspectos tecnológicos envolvidos nesse tipo de rede, e também, sobre a visão organizacional.

Sob o ponto de vista tecnológico, dentre as várias considerações que foram observadas, abaixo estão apresentadas algumas relacionadas à utilização do simulador NS-2:

- a) A primeira relaciona-se, com a constatação que a aplicação da simulação não é uma tarefa trivial. Há a necessidade da disponibilidade de uma pessoa ou equipe, com profundo conhecimento técnico sobre a ferramenta, de modo que os conhecimentos possam dar origem a um modelo que represente a realidade, com uma confiabilidade na qual as decisões possam ser tomadas através dos resultados gerados a partir desse modelo;
- b) Outra constatação refere-se que a ferramenta de simulação utilizada (NS-2), mesmo sendo largamente utilizada e conhecida, apresenta uma alta curva de aprendizado. Mesmo para usuários com conhecimentos técnicos avançados, existem várias dificuldades e problemas para a sua configuração, especialmente quanto à compilação do seu código-fonte. Alguns passos para essa compilação não são bem documentados, o que torna o processo de instalação e configuração, longo e complicado;
- c) Os problemas relatados acima se repetem quando da necessidade em simular algum protocolo que não esteja implantado nativamente na ferramenta. No caso desse estudo, quando se optou em simular do algoritmo *Leach*, houve a necessidade de

pesquisar em repositórios de projetos externos alguma solução que poderia ser aplicada no estudo;

d) Por outro lado, mas ainda sobre as questões relativas ao NS-2 e conforme citado na seção 3.4, vários estudos apontaram como uma vantagem determinante para a sua utilização, o alto grau de confiabilidade nos resultados gerados por essa ferramenta;

e) Outro fator que pode ser confirmado nesse trabalho foi que, através da utilização de um componente extra, como por exemplo, o que foi desenvolvido pelo projeto  $\mu$ AMPS, o NS-2 permite modificações e novas implementações em seu código fonte, possibilitando a simulação de novos protocolos e novas tecnologias.

Ainda, ao analisar os aspectos tecnológicos, mas com a visão voltada para as necessidades de um ambiente agrícola, as simulações efetuadas proporcionaram resultados, os quais puderam responder alguns dos questionamentos existentes no início desse estudo:

a) Ao comparar o desempenho dos algoritmos de roteamento propostos, foi possível verificar que em todas as simulações realizadas, o protocolo *Leach-c* apresentou uma melhor performance em relação ao *Leach*. Sendo que esse algoritmo proporcionou uma maior quantidade de transmissões entre os nós coletores e a estação base, como também, manteve a rede ativa por um período de tempo superior.

b) Baseado ainda nessas simulações foi possível concluir que, ao utilizar o conceito de setorização para o ambiente escolhido, a melhor configuração foi a de uma rede composta por quatro *clusters* e utilizando o algoritmo *Leach-c*, já que esse modelo possibilitou manter a rede ativa durante todo o período de simulação e ainda, transmitindo uma maior quantidade de dados, em relação às outras opções.

c) Outra constatação que pode ser apurada, é que a localização da Estação Base está diretamente relacionada ao consumo de energia e ao número de dados transmitidos. Assim, a localização da Estação Base deve visar, sempre que possível, a diminuição da distância máxima entre ela e os nós sensores da rede.

O outro enfoque que foi tratado nesse trabalho é a relação da Simulação com a Gestão de TI, a fim de obter informações que pudessem embasar a decisão de se implementar ou não uma rede desse tipo. Uma das preocupações iniciais em projeto de uma RSSF é de prever, de forma antecipada, quais equipamentos serão necessários para monitorar a área, bem como a quantidade necessária para o funcionamento correto.

Nesse contexto, avaliou-se de forma positiva, a possibilidade do simulador permitir a emulação do *hardware* utilizado em um projeto com as suas características reais. Na seção 3.5, foi descrito o tipo de nó sensor usado para esse cenário. Portanto, comprovou-se que os *softwares* de simulação são ferramentas importantes para a tomada de decisão no nível gerencial da organização, já que permitem definir, testar e avaliar de forma antecipada, quais serão os equipamentos que melhor se adaptarão à realidade do ambiente, bem como, a possibilidade de prever a quantidade e o modelo a ser utilizado, evitando investimentos desnecessários ou insuficientes.

Como apresentado na seção 3.5, as simulações iniciaram com uma configuração de uma rede composta por 100 nós sensores, os quais demonstraram a capacidade de sensoriar toda a área destinada ao monitoramento. Posteriormente, buscou-se utilizar o simulador, a fim de verificar a possibilidade em reduzir essa quantidade inicial de sensores. Através de novos testes, chegou-se a conclusão que o número inicial de sensores para a área escolhida poderia ter uma redução em torno de 10%, ou seja, os investimentos iniciais com a compra de sensores podem ser otimizados graças aos resultados colhidos durante essa análise.

Em resumo, a pesquisa deixou evidente que a utilização das ferramentas simuladoras para RSSF, trouxe diversos benefícios no aspecto científico, permitindo a realização de vários tipos de análise sob os dados ligados à tecnologia envolvida, como por exemplo, a avaliação de novos protocolos de roteamento. E também, possibilitam gerar dados inerentes à visão gerencial do Gestor de TI, onde a simulação mostrou o valor em basear decisões, através de dados obtidos por essas ferramentas. A simulação proporciona a esse Gestor, informações que, dificilmente, seriam alcançadas através de outros métodos de avaliação, com isso, o uso dessas ferramentas pode, com certeza, nortear o Gestor na tomada de uma decisão precisa e correta e, por consequência, uma otimização dos investimentos a serem realizados.

## **Trabalhos Futuros**

Muitas questões importantes foram apenas citadas, tratadas de maneira introdutória ou nem mesmo mencionadas. Novos trabalhos de pesquisa, como a continuidade deste, poderiam abordá-las mais profundamente. Algumas delas são:



- Podem ser criadas novas simulações contendo uma distribuição diferente dos nós sensores pela área de monitoramento, um número maior de nós sensores pela área de monitoramento, utilização de mais de uma Estação Base na área de monitoramento, entre outras.
- Seria também interessante testar os protocolos com outras configurações de *hardware*, e não apenas com *hardware* genérico, como foi feito até então. Assim, poderia ser desenvolvido um novo módulo para o simulador NS-2, com as mesmas características do nó sensor utilizado no experimento de Shubeita et. al, (2012).
- Outro estudo importante pode ser realizado sobre a simulação de colisões detectadas durante as transmissões de pacotes, dentro e fora dos *clusters*, pois se estas puderem ser minimizadas, o desempenho dos protocolos será ainda mais eficiente.

A partir da realização desses trabalhos, será possível aperfeiçoar ainda mais a utilização de simuladores para RSSF, assim como também, poderão ser criados novos modelos inspirados nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. S. C.; FERNANDEZ, M. P.; SILVA, J. L. C. and BEZERRA, J. M. **“Análise Comparativa de Simuladores de Redes Baseados em Pacotes versus Simuladores Utilizando Abstração de Fluidos,”** in *Anais – XXVI SBRC - 2008*, Rio de Janeiro, Mai 2008, pp. 175-188.
- AKYILDIZ, I.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E., **“Wireless sensor networks: A survey,”** in *Computer Networks Journal Vol.4*. New York, NY, USA:Elsevier, Mar 2002, pp. 393–422.
- ARAÚJO, H. S.; CASTRO, W. L. T.; HOLANDA FILHO, R. **“Simulação em RSSF para Protocolos de Roteamento usando uma Abordagem Geocast,”** ERCEMAPI 2009 - Escola Regional de Computação Ceará - Maranhão – Piauí, 2009.
- BAGGIO, A., **“Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture,”** *ACM Workshop on Real World Wireless Sensor Network – RealWSN - Estocolmo*, 2005.
- BAKER, C.R.; ARMIJO, K.; BELKA, S.; BENHABIB, M.; BHARGAVA, V.; BURKHART, N.; DER MINASSIANS, A.; DERVISOGLU, G.; GUTNIK, L.; HAICK, M.B.; HO, C.; KOPLOW, M.; MANGOLD, J.; ROBINSON, S.; ROSA, M.; SCHWARTZ, M.; SIMS, C.; STOFFREGEN, H.; WATERBURY, A.; LELAND, E.S.; PERING, T.; WRIGHT, P.K.; , **“Wireless Sensor Networks for Home Health Care,”** *Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2007, AINAW '07. 21st International Conference on* , vol.2, no., pp.832-837, 21-23 May 2007.
- BENCINI, L.; CHITI, F.; COLLODI, G.; DI PALMA, D.; FANTACCI, R.; MANES, A.; MANES, G.; , **“Agricultural Monitoring Based on Wireless Sensor Network Technology: Real Long Life Deployments for Physiology and Pathogens Control,”** *Sensor Technologies and Applications, 2009. SENSORCOMM '09. Third International Conference on* , vol., no., pp.372-377, 18-23 June 2009.
- BRITTES, M. P. **“Uma Proposta Para Melhoria de Desempenho do Protocolo Leach para RSSF”**. Dissertação (Mestrado Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- BOHRER, V.; FERNANDES, R.; WEBBER, THAIS and MARCON, C., **“WiNeS - A Flexible Framework for Wireless Network Description and Simulation,”** *Technical Report no. 070*, PUCRS, Porto Alegre, 2012.
- BURREL, J., **“Vineryard Computing: Sensor Network in Agricultural Production”**. *IEEE Pervasive Computing*, Washington, v.3, n.1, p. 38-45, Jan-Mar. 2004.
- CALDEIRA, J. F. **“Estudo e Desenvolvimento de uma Plataforma de Comunicação Sem Fio para Redes Elétricas Inteligentes,”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CÂMARA, D. **“Estudo de Algoritmos de Roteamento para Redes Móveis Ad Hoc”**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

CAMILLI, A., **“From Wireless Sensor to Field Mapping: Anatomy of na Aplication for Precision Agriculture”**. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v.58, p. 25-36, 2007.

COMER, DOUGLAS E. **“Redes de Computadores e Internet”**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

CORRÊA, U.; PINTO, A.R.; CODAS, A.; FERREIRA, D. J. AND MONTEZ, C. **“Redes Locais Sem Fio: Conceito e Aplicações”** - *IV Escola Regional de Redes de Computadores*, Passo Fundo, 2006.

CROSSBOW, **TELOSB Mote Plataform**. 2009.

DA COSTA, R. A. G. **“Utilização de Data Warehouses para Gerenciar Dados de Rede de Sensores Sem Fio que Monitoram Polinizadores,”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

DANTAS, A. V.; **“DESRO: Um Protocolo de Roteamento com Gerenciamento Dinâmico de Energia para Redes de Sensores Sem Fio,”** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

DE PAULA, L. B. **“Utilização das Características Intrínsecas das Redes de Sensores Sem Fio na Detecção de Invasões.”** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

DUARTE, R. N. **“Simulação Computacional: Análise de uma Célula de Manufatura em Lotes do Setor de Auto-Peças.”** Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

EMBRAPA Instrumentação. **“Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar”**. São Paulo: Cubo, 1ª ed, 2011.

GANDOMI, A.; TAFTI, V.A.; GHASEMZADEH, H. **“Wireless Sensor Networks Modeling and Simulation in Visualsense,”** *Computer Research and Development, 2010 Second International Conference on* , vol., no., pp.251,254, 7-10 May 2010

GUEDES, B. C. L. **“Análise do Desempenho de Redes Ópticas de Topologia Manhattan Street com Roteamento por Deflexão de Pacotes”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2005.

HEINZELMAN, W.; CHANDRAKASAN, A. and BALAKRISHNAN, H. **“Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks.”** *In Proceedings of the 33<sup>rd</sup> International Conference on System sciences (HICSS '00)*. Maui, Hawaii, Jan 2000.

IYER, R.; KLEINROCK, L.; **“QoS Control for Sensor Networks,”** *in (IEEE International Conference Communications (ICC))*, 2003, pp. 517–521.

JUNIOR, A. H.; FRÖHLICH, A. A. **“Redes de Sensores Sem-Fio Sob a Perspectiva do EPOS,”** Minicurso (XI Simpósio em Sistemas Computacionais - WSCAD-SSC 2010). Petrópolis, 2010.

JUNIOR, B. G. **“Análise de Algoritmos de Roteamento Baseados em Formigas,”** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KORKALAINEN, M.; SALLINEN, M.; KARKKAINEN, N.; TUKEVA, P. **“Survey of Wireless Sensor Networks Simulation Tools for Demanding Applications,”** *Networking and Services, 2009. ICNS '09. Fifth International Conference on*, vol., no., pp.102,106, 20-25 April 2009

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **“Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down”**. São Paulo: Person, 3<sup>a</sup> ed, 2006

LAZZAROTTO, P. **“Algoritmos de Roteamento Hierárquicos em Redes de Sensores Sem Fio Utilizando Algoritmos Evolutivos para Determinação de Cluster-Head’s,”** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LESSMANN, J.; JANACIK, P.; LACHEV, L. and ORFANUS, D. **“Comparative Study of Wireless Network Simulator”**. *IEEE Seventh International Conference On Networking*, New York: IEEE, 2008, p.517-523.

LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A.; NAKAMURA, E. F.; and FIGUEIREDO, C. M. S. **“Redes de Sensores Sem Fio,”** *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores – SBRC 2003*, pp 179-226, Natal, 2003.

MACEDO, P. J. S. F. A. **“Desenvolvimento de modelos de simulação de redes de sensores sem fio,”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica Industrial e Computadores) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2010.

MACIEL, C. C. O. **“Estratégia de Redução de Consumo de Energia em Redes de Sensores Sem Fio Heterogêneas Utilizando Lógica Fuzzy”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

MAGALHÃES, I. V., PINHEIRO, W. B. **“Gerenciamento de Serviços de TI na Prática,”** São Paulo: Novatec, 2007.

MARTINEZ, F. J., TOH, C. K., CANO, J.C., CALAFATE, C. T. and MANZONI, P. **“A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs),”** *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2009.

MENDEZ, G.R.; MD YUNUS, M.A.; MUKHOPADHYAY, S.C.; **“A WiFi based smart wireless sensor network for an agricultural environment,”** *Sensing Technology (ICST), 2011 Fifth International Conference on*, vol., no., pp.405-410, Nov. 28 2011-Dec. 1 2011.

MIT, Massachusetts Institute of Technology. **"The MIT uAMPS ns Code Extensions,"** Cambridge, MA, Ago 2000.

MITTAL, R.; BHATIA, M.P.S.; **"Wireless sensor networks for monitoring the environmental activities,"** *Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2010 IEEE International Conference on* , vol., no., pp.1-5, 28-29 Dec. 2010.

NIAR, L.I.; HAFFAF, H. **"Graphical Analysis for monitoring in a sensor network (WSN). Simulator: OMNET++,"** *Education and e-Learning Innovations (ICEELI), 2012 International Conference on* , vol., no., pp.1,6, 1-3 July 2012

OLIVEIRA, E. C. R. **"Avaliação de Protocolos para Redes de Sensores e Redes Ad Hoc Aplicados à TV Digital Interativa e Cidades Digitais"** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

OLIVEIRA, R. P. **"Agricultura de Precisão: A Tecnologia da Informação em suporte ao Conhecimento Agrônomo Clássico "** *Revista Tecnologia e Cultura, n. 15. Centro Federal de Educação Tecnológica Suckow da Fonseca* , 2009.

OSTERLIND, F.; PRAMSTEN, E.; ROBERTHSON, D.; ERIKSSON, J.; FINNE, N.; VOIGT, T.; , **"Integrating building automation systems and wireless sensor networks,"** *Emerging Technologies and Factory Automation, 2007. ETFA. IEEE Conference on* , vol., no., pp.1376-1379, 25-28 Sept. 2007.

PANTONI, R. O. P. **"Estratégias de Roteamento e de Controle de Acesso ao Meio para Redes de Sensores Sem Fio Destinada a Redes Urbanas"**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, SP, 2011.

PINHEIRO, José Mauricio S. **Guia Completo de Cabeamento de Redes:** Rio de Janeiro: Campus, 2003.

POHREN, F.; LANGE, A.; **Arquitetura de Software – Software Embarcado LNK2100,** 2009.

POLPITIYA, M.L.G.; PRASANNA, W.K.S.S.; CHANDIMA, D.P.; RABAN, G.R.; PERERA, D.T.S.; UDAWATTA, U.K.D.L.; , **"Wireless agricultural sensor network,"** *TENCON 2012 - 2012 IEEE Region 10 Conference* , vol., no., pp.1-6, 19-22 Nov. 2012.

QELA, B.; WAINER, G.; MOUFTAH, H. **"Simulation of Large Wireless Sensor Networks using Cell-DEVS,"** *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009 Winter* , vol., no., pp.3189,3200, 13-16 Dec. 2009

RAGHAVENDRA, C.S.; SIVALINGHAM, K. M.; ZNATI, T.;, **"Wireless sensor networks."** *New York: Springer Science + Business Media, Inc.* 2004. 435p.

RAJESH, M.; MURUGANANDAM, D.;, **"On proposing automobile accident prevention system (A2PS) using wireless sensors and zigbee technology,"** *Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on* , vol., no., pp.1-5, 26-28 July 2012.

RUIZ, L. B.; FERNANDES, A. O.; NOGUEIRA, J. M. S. and DA SILVA Jr., D. C. **“How to obtain the energy map in wireless sensors networks?”**, in *Proceedings of the 5th Wireless Communication and Mobile Computing Workshop (WCSF'03)*, pages 183-189, São Lourenço, Minas Gerais, 2003.

SANTOS, I. M.; DOTA, M.A.; CUGNASCA, C. E.; **" Visão Geral da Aplicabilidade de Redes de Sensores Sem Fio no Monitoramento Agrícola no Estado de Mato Grosso"** *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2010*, Riberirão Preto – São Paulo, Setembro, 2010

SAUSEN, P. S., **“Gerenciamento integrado de energia e controle de topologia em redes de sensores sem fio”**. Tese de doutorado. UFCG. 2008.

SHUBEITA, F. M.; AMARAL, L. A. ; MARCON, C. ; VIT, A. R. D.; **“WSN experiment and a grid-based network architecture proposal”**. In: *SBESC - Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais*, 2012, Natal - RN. Anais do SBESC - Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais, 2012. v. 1.

SILVA, F. A.; BRAGA, T. R. M.; RUIZ, L. B. and NOGUEIRA, J. M. S. **“Tecnologia em Nós Sensores”**. 2013. Disponível em: [http://homepages.dcc.ufmg.br/~linnyer/ufmgnos\\_sensores.pdf](http://homepages.dcc.ufmg.br/~linnyer/ufmgnos_sensores.pdf)

TANENBAUM, A. S. **“Redes de Computadores”**. Rio de Janeiro: Elsevier, 4ª ed, 2003.

TEIXEIRA, I. **“Roteamento com Balanceamento de Consumo de Energia para Redes de Sensores Sem Fio”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

TORRE-NETO, A.; RODRIGUES, E. L. L.; FERRAREZI, R. A.; SPERANZA, E. A. and OLIVEIRA, A. C. N.. **"Rede de Sensores e Atuadores Sem Fio para Irrigação com Taxa Variável"** *VII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, Out. 2007

TORRES, Gabriel. **Redes de Computadores: Curso Completo**: Axcel Books, 2001.

UTZIG, J. T. **“Redes de Sensores Sem Fio: Um Estudo Teórico com Experimentação via Simulação,”** Trabalho de conclusão de curso (Ciência da Computação) – Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, 2007.

VERMA, S.; CHUG, N.; GADRE, D.V.; , **"Wireless Sensor Network for Crop Field Monitoring,"** *Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing (ITC), 2010 International Conference on* , vol., no., pp.207-211, 12-13 March 2010.

VERONA, A. B. **“Simulação e Análise de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas À Viticultura,”** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

VIT, A. R. D.; DA ROSA, C. M. **"O Uso da Inteligência de Negócios e da Informação Estratégica na Secretaria de Finanças da Prefeitura Municipal de Passo Fundo"** in *“Caminhos para a Reforma Administrativa dos Municípios”*, Passo Fundo, IMED, 180p. 2009.

WILLIG, A., **“Wireless sensor networks: concept, challenges and approaches.”** *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*. Volume 123, Issue 6, pp 224-231. Berlin, Germany. 2006.

YAO, Z.; LOU, G.; ZENG, X.; ZHAO, Q.; , **“Research and development precision irrigation control system in agricultural,”** *Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering (CCTAE), 2010 International Conference on* , vol.3, no., pp.117-120, 12-13 June 2010.

ZHANG, J.; LI, W.; CUI, D.; ZHAO, X.; YIN, Z. **“The NS2-Based Simulation and Research on Wireless Sensor Network Route Protocol,”** *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on* , vol., no., pp.1,4, 24-26 Sept. 2009

## ANEXO A – Instalação do Simulador NS-2

O endereço oficial do *site* do NS-2 é o <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, onde é possível efetuar o seu *download*. Sugere-se, principalmente para os iniciantes, que o formato chamado *allinone* (tudo em um) seja utilizado. Nesse formato todos os pacotes, sejam eles opcionais ou não, são baixados em um único arquivo com cerca de 50 *megabytes*.

Isso realmente facilita a instalação apesar de requerer um espaço maior em disco (cerca de 250 *megabytes*). Os módulos opcionais do NS como o *NAM*, que é um visualizador gráfico das simulações e o *Xgraph*, que permite a criação de gráficos estão presentes.

Existem ainda versões do NS-2 para diversos sistemas operacionais dentre os quais, *FreeBSD*, *Linux*, *SunOS*, *Solaris* e para *Windows*. Os arquivos disponíveis para *download* nas plataformas padrão “X”(*linuX*, *UniX*, *aiX*, etc) estão no formato “.tar.gz”. Para a utilização em sistema operacional *Windows*, é necessário utilizar o *Cygwin* que permite utilizar comandos e programas do *Linux* dentro do *Windows*. Sendo uma coleção de ferramentas para criar no um ambiente similar ao UNIX, com grande compatibilidade.

### Instalação no Ubuntu 10.10:

Abaixo, são apresentados os principais comandos que foram utilizados para realizar a instalação desse simulador na distribuição *Ubuntu 10.10*:

Primeiramente é necessário realizar a instalação dos pacotes necessários pelo NS-2.

```
$ sudo aptitude install build-essential autoconf automake libxmu-dev xgraph
```

Posteriormente, é realizada a instalação do simulador propriamente dito. Mas é preciso lembrar que os procedimentos abaixo devem ser realizados na pasta do usuário (/home/pasta\_do\_usuario) e não como *root*.

Copie o arquivo de instalação (*ns-allinone-2.3x.tar.gz*) para a pasta do usuário.

Depois entre no terminal e digite:

```
$ cd ~
$ tar xzvf ns-allinone-2.3x.tar.gz
$ cd ns-allinone-2.3x/
$ ./install
```



Se o erro abaixo ocorrer siga os procedimentos descritos adiante:

```
erro: make: *** [libotcl.so] Error 127 otcl-1.13 make failed!
```

```
$sudo apt-get install g++-4.3
```

```
$gedit otcl-1.13/Makefile.in
```

#edite a linha 7

Altere de :

```
CC= @CC@
```

para :

```
CC= gcc-4.3
```

Grave o arquivo

Digite na linha de comando:

```
$CC=gcc-4.3 CXX=g++-4.3 ./install
```

### Instalação no Ubuntu 11.04:

Passo 1:

```
sudo apt-get install xorg-dev g++ xgraph
```

Passo 2:

**Edite a linha 6304 em otcl-1.13/configure.**

**Ajuste para SHLIB\_LD="gcc -shared", onde se lê SHLIB\_LD="ld -shared"**

Passo 3:

Edite o arquivo **ns-2.34/tools/ranvar.cc** e modifique a linha 219 de:

```
return GammaRandomVariable::GammaRandomVariable(1.0 + alpha_,beta_)
.value( ) * pow (u, 1.0 / alpha_);
```

**para**

```
return GammaRandomVariable(1.0 + alpha_, beta_).value() * pow (u, 1.0 /
alpha_);
```

Passo 4:

```

Modifique as linhas 183 e 185 no arquivo ns-2.34/mobile/nakagami.cc para
resultPower = ErlangRandomVariable(Pr/m, int_m).value();
e
resultPower = GammaRandomVariable(m, Pr/m).value();

```

Passo 5:

```

Instale o gcc-4.4 e g++-4.4 incluindo as dependências. Use o comando abaixo:
$ sudo apt-get install gcc-4.4 g++-4.4

```

Passo 6:

```

Mude a linha 270 em tcl8.4.18/unix/Makefile.in. Onde se lê:
CC = @CC@
mude para
CC = @CC@ -v 4.4

```

Finalmente, rode o `./install` na pasta **ns-allinone-2.34**

## Ajuste do Caminho

Passo 1:

Copie o texto abaixo para um arquivo chamado **ns-2.txt** e grave na pasta **home** do usuário. Ex.: /home/usuário

```

#-----
#                               .ns2
# -----

NS2_ROOT=$HOME/ns-allinone-2.3x

# LD_LIBRARY_PATH
OTCL_LIB=$NS2_ROOT/otcl-1.1x

```

```

NS2_LIB=$NS2_ROOT/lib
X11_LIB=/usr/X11R6/lib
USR_LIB=/usr/local/lib
export
LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_LIB:$USR_LIB

# TCL_LIBRARY
TCL_LIB=$NS2_ROOT/tcl8.4.1x/library
USR_LIB=/usr/lib
export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB

# PATH
XGRAPH=$NS2_ROOT/bin:$NS2_ROOT/tcl8.4.1x/unix:$NS2_ROOT/tk8.4.1x/unix
NS=$NS2_ROOT/ns-2.3x/
NAM=$NS2_ROOT/nam-1.1x/
PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
export PATH

#-----

```

Passo 2:

```

digite :
# mv ns-2.txt ~/.ns-2
# echo "source ~/.ns-2" >> ~/.bashrc

```

Passo 3:

Feche a sessão e abra novamente

Passo 4:

Verifique se o simulador está instalado corretamente digitando no prompt de comando:

```

# ns
% ns-version

```

Se aparecer a versão **2.3x** a instalação foi concluída com sucesso.

## LEACH *ns* Code Extensions

Para simulação dos protocolos *Leach* e *Leach-c*, foi necessário ainda, instalar junto ao NS-2 o componente extra desenvolvido pelo MIT. O arquivo de instalação pode ser obtido através do endereço <http://www.ece.rochester.edu/projects/wcng/code/leach/>. Após o download, seguir os passos listado abaixo:

```
#tar xvf mit.tar
```

Editar o arquivo Makefile e adicionar as seguintes linhas:

```
Add DMIT_uAMPS to the DEFINE list
Add I./mit/rca I./mit/uAMPS to the INCLUDE list
Add the following just prior to the line gaf/gaf.o \
mit/rca/energy.o mit/rca/rcagent.o \
mit/rca/rca-ll.o mit/rca/resource.o \
mac/mac-sensor-timers.o mac/mac-sensor.o mit/uAMPS/bsagent.o \
```

Posteriormente executar os seguintes comandos:

```
#make clean
#nohup make 2>error.log >make.log &
#./test
#nohup ./validate-full 2>validate.error >validate.log &
```