

**Universidade Federal de São Carlos**

**Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia**

**Departamento de Computação**

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**Uma Solução Baseada em Agentes para  
Redes Sensores Sem Fios**

IGOR MARÇAL BOTAMEDE SPADONI

ORIENTADORA: REGINA BORGES DE ARAÚJO

CO-ORIENTADOR: CÉSAR A. C. MARCONDES

SÃO CARLOS - SP

MARÇO – 2010

# **Universidade Federal de São Carlos**

**Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia**

**Departamento de Computação**

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

## **Uma Solução Baseada em Agentes para Redes Sensores Sem Fios**

Igor Marçal Botamede Spadoni  
Dissertação apresentado ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência da Computação, do  
Departamento de Computação, da  
Universidade Federal de São  
Carlos, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre  
em Ciência da Computação.  
Área de concentração:  
Processamento de Imagens e  
Sinais - PIS.

SÃO CARLOS - SP  
MARÇO – 2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S732sb

Spadoni, Igor Marçal Botamede.

Uma solução baseada em agentes para redes sensores sem fios / Igor Marçal Botamede Spadoni. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

97 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Redes de computação. 2. Redes de sensores sem fio. 3. Agentes móveis (Software de computador). 4. Fusão de dados. I. Título.

CDD: 004.6 (20ª)

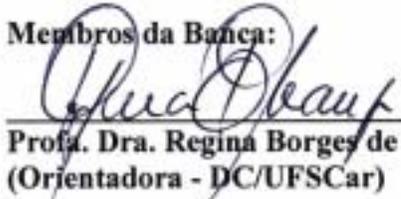
**Universidade Federal de São Carlos**  
**Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação**

**“Uma Solução Baseada em Agentes para Redes  
Sensores Sem Fios”**

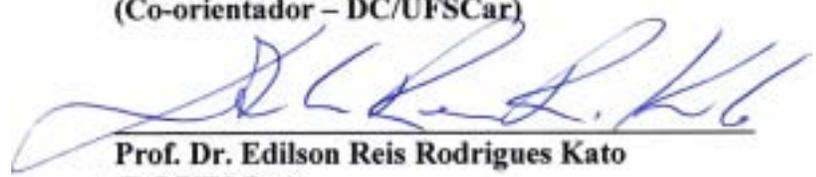
**IGOR MARÇAL BOTAMEDE SPADONI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Ciência da  
Computação da Universidade Federal de São  
Carlos, como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em Ciência da  
Computação

Membros da Banca:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Regina Borges de Araújo  
(Orientadora - DC/UFSCar)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. César Augusto Cavalheiro Marcondes  
(Co-orientador - DC/UFSCar)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edilson Reis Rodrigues Kato  
(DC/UFSCar)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eleri Cardoso  
(DCA/UNICAMP)

São Carlos  
Julho/2009

*"Uma vida não é importante, a não ser pelo impacto que  
causa em outras vidas"*  
**Jackie Robinson**

*"A única maneira de ter um amigo é ser um"*  
**Ralph Waldo Emerson**

*"Everything will turn out well in the end, but only if you  
struggle and sacrifice to make it happen"*  
**Lee Iacocca**

## **DEDICO ESTE TRABALHO:**

A Deus pela dádiva da vida, e por conceber a oportunidade de vivermos a experiência de uma pós-graduação e possibilidade de morar fora e morar com pessoas diferentes.

Aos meus pais, Sônia e Luiz Mauro, pelo apoio e compreensão absoluta que tive durante toda minha vida e principalmente nesses últimos anos. Agradeço a eles por toda responsabilidade que eles têm sobre meu caráter. Pelo ensino da persistência através do caminho do amor e do carinho que muitos problemas foram superados.

À minha irmã, Thais, pelo carinho e paciência oferecidos durante momentos de tensões e com um jeito único ajudando a amenizar o problema.

Aos meus queridos amigos e companheiros (SCORPIONS) que sempre estiveram comigo durante todo esse tempo dando apoio e principalmente oferecendo lazer e distração em momentos de tensão.

## **AGRADECIMENTOS**

***Meus sinceros agradecimentos aos que me auxiliaram e apoiaram durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho:***

*A Deus, por iluminar meus caminhos e revigorar minha busca diária rumo aos meus objetivos e evolução espiritual, pessoal e profissional.*

*Aos meus pais e familiares pelo apoio, e incentivo ao meu esforço e capacidade.*

*À prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Borges de Araújo, pela oportunidade de poder crescer profissionalmente e principalmente pessoal. Pelas palavras de motivação, encorajamento, amizade e direção durante os meus estudos na pós-graduação.*

*Ao prof. Dr. César Marcondes, pelas colaborações e sugestões no desenvolvimento do projeto. Pelas inúmeras discussões realizadas para o aprimoramento do trabalho.*

*A todos os meus colegas do Laboratório de Realidade Virtual (LRVNet), principalmente Ricardo Ferrari, Leandro, Bruno, Fábio, Márcio, Rodolfo, Zé Eduardo, Rafaela, Max, Ricardo Luis, Allan, Felipe e Marcelo pelas discussões que contribuíram para a realização de nossos trabalhos.*

*Aos meus amigos, Toad, Marcelim, Botinha, Murilão, Vinny, Rattim, Paulim e Piaui que sempre estão ao meu lado dando apoio quando preciso e oferecendo auxílio em momentos difíceis e capaz de oferecer distração para aliviar o stress.*

*Aos professores do Departamento de Computação da UFSCar, principalmente aos que tive a oportunidade de conhecer durante os estudos. Principalmente ao Prof. Dr. José Hiroki Saito e Prof. Dr. Sergio Donizetti Zorzo pelas sugestões e dicas na qualificação do projeto.*

*Aos membros da banca examinadora pela atenção nas sugestões e julgamento do trabalho.*

## RESUMO

Tipicamente, os sistemas atuais de monitoramento de ambientes físicos sujeitos a situações de emergência, tais como plantas industriais, plataformas petrolíferas, usinas nucleares etc., não possuem a precisão necessária para a observação de eventos de emergência devido à falta de informação e/ou precisão sobre o que está ocorrendo no ambiente físico durante o evento. Assim, não há como saber exatamente onde, como e por que algumas situações de emergência ocorreram.

As Redes de Sensores Sem Fios (RSSFs) por sua vez, estão, cada vez mais, sendo utilizadas em sistemas de monitoramento de segurança crítica. Nestes sistemas, o nível de confiabilidade dos dados é de extrema importância, principalmente quando ocorrem situações de emergência (eventos) que podem envolver risco à vida e ao patrimônio. Portanto, é importante que incidentes possam ser monitorados, de maneira precisa, durante todo um evento. Claramente, o fluxo de informações dos sensores, nestes ambientes, deve alimentar um sistema de monitoramento contínuo durante a ocorrência de um evento. Além disso, o acompanhamento de todas as fases do incidente pode ser utilizado para investigação futura e prevenção ao revelar a fonte do problema. Pode também ajudar a equipe de salvamento, no âmbito da ação de gestão e na tomada de decisão.

As RSSF apresentam limitações de recursos, tais como comunicação, processamento e memória limitados, que geram grandes desafios para os projetistas de soluções para essas redes, tais como protocolo de roteamento e aplicações. Neste trabalho de mestrado um protocolo de roteamento que utiliza o paradigma de Agentes Móveis para realizar a coleta e o escoamento dos dados da rede foi projetado, implementado e avaliado. O uso de Agentes Móveis elimina a necessidade dos sensores enviarem suas leituras a um nó centralizado (*sink*) toda vez que uma anormalidade é detectada no ambiente sendo monitorado.

O Agente Móvel projetado como parte deste trabalho é otimizado de acordo com as necessidades da aplicação (por exemplo, menor latência, maior taxa de entrega etc).

O agente é responsável por visitar os nós da RSSF que identificaram problemas, coletar os valores lidos e ainda realizar a fusão dos dados dessa região. O diferencial deste trabalho está na flexibilidade do agente para alterações de comportamento que garantem a qualidade de serviço durante a coleta e entrega dos dados mesmo diante de condições adversas.

# ABSTRACT

Typically the current monitoring systems for physical environments subject to situations of emergency, such as industrial plants, petroliferous platforms, nuclear plants, etc., do not have the accuracy required to observe emergency events due to lack of information and/or accuracy about what is occurring in the physical environment during the event. Therefore, there is no way to know exactly where, how, and why some situations of emergency have occurred.

On the other hand wireless sensor networks (WSN) are being used more and more to monitor systems of critical safety. In these systems the level of data reliability is critical, mainly when situations of emergency (events) that involve risks to life and assets occur. Therefore, it is essential to monitor incidents in an accurate way all through the event. Clearly in these environments the sensors' flow of information must feed a system of continuous monitoring during the event. Besides, following up all phases of the incident may be used for future investigation and prevention by revealing the source of the problem. It may also help the rescue team, regarding managing and making decisions.

The WSN present limited resources, such as communication, processing, and memory, which generate great challenges for designers of solutions for networks, such as protocols of routing and applications. In this Dissertation a routing protocol, which uses the mobile agents paradigm to perform data collecting and forwarding was designed, implemented, and evaluated. With the mobile agents there is no need for sensors to send its reading to a centralized node (*sink*) every time an abnormality is detected in the environment being monitored.

The mobile agent designed as part of this work is personalized according to the needs of the application (for example, lower latency, higher delivery rate, etc).

The agent is responsible for visiting the nodes of the WSN that have identified problems, collecting the data read and performing the fusion of the data of that region. The highlight of this work relies on the flexibility of the agent for changes of behavior that grant the service quality during the collecting and delivery of data even in diverse conditions.

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Nós sensores sendo espalhados em um campo de interesse. ....	6
Figura 2.2. Componentes do nó sensor sem fio.....	7
Figura 2.3. Consumo de energia dos módulos de um nó sensor.....	10
Figura 2.4. Modelos de posicionamento em RSSF.....	12
Figura 2.5. Componentes do nó atuados.....	19
Figura 2.6. Esquema da arquitetura física das RASSFs.....	20
Figura 2.7. Modelo de Interpretação na RSSF.....	22
Figura 3.1. Estrutura principal do Agente Móvel.....	40
Figura 3.2. Ilustração do Modelo <i>Agilla</i> .....	44
Figura 4.1. Tipos de fusões de dados corrigindo falhas. ....	51
Figura 4.2. Modelo JDL exemplificando o modelo baseado em informação. ....	54
Figura 4.3. Diagramas exemplificando o modelo de atividade baseado em decisão.....	55
Figura 5.1. Arquitetura geral do MidSensorNet, com evidência os Agentes Móveis.....	62
Figura 5.2. Estruturas de mensagens utilizadas pelo protocolo QoS-MA. ....	64
Figura 5.3. Algoritmo da fase de monitoramento.....	69
Figura 5.4. Algoritmo de notificação de incidente.....	70
Figura 5.5. Tratamento do recebimento de <i>Endereço Dinâmico</i> do vizinho. ....	72
Figura 5.6. Agentes Móveis analisando tabela de vizinhos de cada nó para migrar. ....	74
Figura 5.7. Ações do Agente Móvel quando está em um nó. ....	75
Figura 5.8. Rotas dos Agentes Móveis na rede. ....	76
Figura 5.9. Taxa de Entrega dos pacotes. ....	79
Figura 5.10. Atraso da entrega dos dados da área de evento para o <i>sink</i> . ....	79
Figura 5.11. Eficiência da entrega dos pacotes alterando o número de nós na rede. ....	80
Figura 5.12. Taxa de entrega dos pacotes variando o número de nós fontes.....	81
Figura 5.13. A eficiência dos dois protocolos alterando o número de nós fontes.....	81
Figura 5.14. Gráfico exibe o atraso do agente alterando o tamanho da carga transportada.....	82
Figura 5.15. Número de saltos por regras da aplicação.....	83

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Caracterização das RSSFs quanto à configuração.....	166
Tabela 5.1. Especificações do cenário da simulação.....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	Acknowledge
ACL	Agent Communication Language
AF	Assured Forwarding
AODV	Ad-hoc On-Demand Vector Routing
API	Application Programming Interface
ARQ	Automatic Repeat Request
CDMA	Code Division Multiple Access
CIM	Common Information Model
DD	Directed Diffusion
DEV	Devices
DIFFSERV	Differentiated Services
DoD	U.S. Department of Defense
DMTF	Distributed Management Task Force
DSCP	Differentiated Services Codepoint
DSN	Distributed Sensor Network
DSR	Dynamic Source Routing
EAS	Electronic Article Surveillance
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EF	Expedited Forwarding
EPC	Electronic Product Code
FDX	Full Duplex System
FEC	Forward Error Correction
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FLBC	Formal Language for Business Communication
HDX	Half Duplex System
HF	High Frequency
GAMMA	Genetic Algorithm for Multiple Mobile Agent
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
INTSERV	Integrate Service
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
JDL	Joint Directors of Laboratories
KQML	Knowledge Query Manipulation Language
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LF	Low Frequency
LRVNet	Laboratório de Realidade Virtual de Rede
LR-WPAN	Low Rate Wireless Personal Area Network
Link	Caminho
MAC	Medium Access Control
MAWSN	Mobile-Agent based Wireless Sensor Network
NS-2	Network Simulator -2
PAN	Personal Area Network
PHB	Per-Hop Behaviors
PLL	Phase Locked Loop
PMAC	Policy Management for Autonomic Computing
PNC	Piconet Coordinator
QoS-MA	<i>Quality of Service - Mobile Agent</i>
QARP-DS	QoS-Aware Routing Protocol with Differentiation of Services
QoS	Qualidade De Serviço
RAM	Random Access Memory

RFID	Radio Frequency Identification
ROM	Read Only Memory
RSSFs	Redes de Sensores Sem Fio
RSVP	Resource Reservation Protocol
SAR	Sequential Assignment Routing
SAW	Surface Acoustic Wave
SEQ	Sequential System
SMP	Protocolo de Gerenciamento de Sensores
SNGF	Stateless Geographic Non-Deterministic Forwarding
SPIN	Sensor Protocol for Information via Negotiation
SQL	Structured Query Language
SQDDP	Protocolo de Consultas e Disseminação de Dados
TADAP	Protocolo de Aviso de Dados e Designação de Tarefas
TBF	Trajectory Based Forwarding
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TEDD	Trajectory And Energy-Based Data Dissemination
TOS	Type Of Service
UHF	Ultra High Frequency
UWB	Ultra Wide Band
WFQ	Weighted Fair Queue
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

# SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
1.1. Motivação .....	3
1.2. Objetivo .....	4
1.3. Organização do Trabalho .....	4
2. Redes de Sensores Sem Fio .....	5
2.1. Componentes do nó Sensor .....	7
2.2. Características de RSSF .....	8
2.2.1. Consumo de Energia .....	9
2.2.2. Tolerância a Falhas .....	11
2.2.3. Cobertura do Ambiente Monitorado .....	11
2.2.3.1. Posicionamento dos Nós Sensores .....	12
2.2.3.2. Área de Cobertura .....	13
2.2.4. Segurança de uma RSSF .....	13
2.2.5. Qualidade de Serviço (QoS – <i>Quality of Service</i> ) .....	15
2.2.6. Escalabilidade .....	15
2.2.7. Classificação das RSSFs .....	16
2.3. Rede de Atuadores e Sensores sem Fio (RASSF) .....	18
2.3.1. Componentes do nó atuador .....	19
2.3.2. Funcionamento Básico da RASSF .....	20
2.4. Integração de RSSF com RFID .....	23
2.4.1. Sistemas RFID e suas Características .....	23
2.4.2. Modelos de Integração .....	25
2.5. Protocolos de Roteamento para RSSF .....	26
2.5.1. Protocolo baseado em <i>data-centric</i> .....	26
2.5.2. Protocolo Hierárquico .....	27
2.5.3. Protocolos Baseados em Agentes Móveis .....	28
2.6. Considerações Finais .....	29
3. Agentes Móveis Aplicados a RSSF .....	30
3.1. Computação Autônoma .....	31
3.1.1. Auto-gerenciamento em RSSFs .....	32
3.1.2. Gerenciamento de Falhas .....	34
3.1.3. Políticas de Gerenciamento .....	34
3.1.3.1. Arquitetura Baseada em Política de Gerenciamento para Redes .....	35
3.1.3.2. <i>Middleware</i> Políticas de Gerenciamento para Computação Autônoma .....	35
3.2. Agentes Móveis .....	36
3.2.1. Características dos Agentes Móveis para o uso em RSSF .....	37
3.2.1.1. Tipos de Mobilidade de Código .....	38
3.2.2. Tipos de Agentes .....	39
3.2.3. Principais estruturas dos Agentes Móveis .....	40
3.2.4. Comportamento dos Agentes Móveis .....	41
3.2.5. ACL – Linguagem de Comunicação entre Agentes .....	41
3.3. Protocolos baseados em Agentes Móveis para RSSF .....	43
3.3.1. <i>Agilla</i> .....	43
3.3.1.1. <i>Tuple Space</i> .....	45
3.3.2. <i>Mobile-Agent based WSN (MAWSN)</i> .....	46
3.3.3. <i>Trajectory and Energy-Based Data Dissemination (TEDD)</i> .....	47
3.4. Considerações Finais .....	48
4. Agregação de Dados em RSSF .....	49
4.1. Justificativas para agregação de dados .....	49
4.2. Classificação dos tipos de Agregação .....	50
4.2.1. Agregação Baseada na relação entre as fontes .....	50
4.2.2. Agregação Baseada em nível de abstração .....	51
4.3. Modelo de agregação .....	53
4.3.1. Modelo baseado na informação .....	53
4.3.2. Modelo Baseado na Atividade .....	55
4.4. Agregação de Dados na Rede .....	56

4.4.1.	Modelo Físico.....	57
4.4.2.	Técnicas de Inferência Baseada em Características.....	57
4.5.	Considerações Finais .....	58
5.	Projeto de Protocolo para Roteamento de Dados em RSSF utilizando Agentes Móveis ...	59
5.1.	Visão Geral do Projeto do LRVNet.....	61
5.2.	Descrição do Protocolo QoS-MA ( <i>Quality of Service - Mobile Agent</i> ).....	62
5.2.1.	Estrutura das Mensagens Utilizadas.....	64
5.2.2.	Definição de <i>Endereço Dinâmico</i> .....	66
5.2.3.	Fase 1: Localização Geográfica dos Sensores .....	67
5.2.4.	Fase 2: Monitoramento do Ambiente .....	68
5.2.5.	Fase 3: Notificação de Ocorrência de Incidente .....	69
5.2.6.	Fase 4: Identificando os Nós e Gerando Tabela de Vizinhança.....	71
5.2.7.	Fase 5: Atuação do Agente Móvel na Rede.....	73
5.3.	Avaliação de Desempenho .....	76
5.3.1.	Cenário da Simulação .....	77
5.3.2.	Resultados da Simulação.....	78
5.3.2.1.	Alterando o número de nós na rede .....	78
5.3.2.2.	Alterando o número de nós fontes.....	80
5.3.2.3.	Alterando o tamanho do Agente Móvel.....	81
5.3.2.4.	Simulando diferentes requisitos da aplicação .....	82
5.4.	Considerações Finais .....	83
6.	Conclusões .....	84
6.1.	Contribuições .....	84
6.1.1.	Publicações já obtidas.....	85
6.1.2.	Publicações Submetidas aguardando parecer .....	85
6.2.	Trabalhos Futuros.....	86
6.3.	Conclusões Finais .....	86
7.	Referências Bibliográficas .....	88

# 1.Introdução

Evoluções tecnológicas nos sistemas microeletrônicos e na comunicação sem fio permitiram o desenvolvimento de pequenos dispositivos sensores de baixo consumo energético e relativamente baixo custo financeiro.

Esses dispositivos integram além da capacidade de sensoriamento, comunicação e processamento [EST 99] [AKY 02]. Essa nova tecnologia permite monitorar remotamente um ambiente e capturar informações cada vez mais precisas e completas do que as técnicas tradicionais com a vantagem de melhor cobertura de área a ser monitorada e muito próxima dos fenômenos a serem observados [PIN 04].

Os avanços ocorridos estimulam o desenvolvimento e uso de sensores “inteligentes” em áreas relacionadas à observação de processos físicos, químicos, biológicos, dentre outros. Os tipos de processos observados variam de térmicos, sísmicos, acústicos, magnéticos, presença de fumaça, até velocidade, dentre tantos outros. O termo “sensor inteligente” normalmente é aplicado a uma pequena plataforma contendo um ou mais tipos de sensores, processador e rádio de comunicação.

Uma classe especial de aplicações que se beneficia das Redes de Sensores Sem Fios (RSSF) são as aplicações de monitoramento de segurança crítica. Para essas aplicações é importante manter um monitoramento confiável ao ambiente físico, especialmente quando situações de emergência surgem, já que essas informações podem ser utilizadas na tomada de decisão por equipes de preparação e resposta a emergência, bem como para a prevenção de acidentes futuros. Na ocorrência de determinados eventos, é importante que as informações possam ser capturadas do ambiente físico enquanto o incidente estiver em progresso, visto que informações mais precisas podem ser usadas nas seguintes situações: prevenção de tais incidentes por parte das equipes de segurança; durante o incidente, pelas equipes de resposta a emergência; no gerenciamento de operações e no

auxílio à tomada de decisões; e, após o incidente, para avaliação de suas causas e até prevenção de novos acidentes [LOP 06].

Uma RSSF pode prover um monitoramento preciso do ambiente físico. Por exemplo, se um vazamento de gás ocorrer em uma sala repleta de botijões de gás e existir apenas um sensor nesta sala, será possível apenas dizer se há ou não vazamento. Por outro lado, se uma RSSF for utilizada, juntamente com as etiquetas RFID e leitora, com protocolos adequados, será possível não só detectar o vazamento, mas indicar onde o vazamento iniciou e como ele evoluiu. Um monitoramento desta forma pode, além de diminuir custos de seguros, salvar vidas e patrimônio além da capacidade de determinar estratégias para os eventos.

Como as RSSF apresentam diversas limitações e restrições tais como bateria, processamento e largura de banda são necessárias técnicas, dentre elas protocolos de RSSF, para minimizar os efeitos desses. Assim, como parte deste trabalho, será desenvolvido um protocolo de roteamento que otimiza recursos de uma RSSF nos processos de coleta e escoamento de dados para nós sorvedouros. Para isso, será aplicado o paradigma de Agentes Móveis à rede, que serão os responsáveis pela coleta e fusão dos dados na rede.

O Agente Móvel tem a capacidade de sofrer adaptações e adequar-se a algumas necessidades, ou seja, uma das tarefas é adaptar esses agentes para que sejam capazes de garantir as necessidades da aplicação e ainda garantir a qualidade do serviço a ser executado [KEN 98]. O agente será o responsável por visitar os nós que identificaram problemas, coletar os valores lidos anteriormente e ainda realizar a fusão dos dados dessa região, já que o conjunto de dados contém mais informações do que a análise desses separadamente e com isso suprir eventuais falhas dos sensores [AKY 02]. A novidade da solução é a flexibilidade do comportamento e estruturas dos Agentes Móveis necessária para garantirem a qualidade do serviço de dados coletados e entregues perante as condições adversas.

## 1.1.Motivação

Atualmente, os sistemas de monitoramento de ambientes físicos não oferecem sistemas com capacidade autônoma que possam modificar e adaptar suas técnicas de coleta e escoamento de dados quando ocorre uma alteração no ambiente ou na topologia de rede e até quando as aplicações alimentadas pelos dados desses sistemas passam a exigir mudanças, assim para atender a essas necessidades adotamos uma nova solução para roteamento em redes de sensores através do uso de Agentes Móveis [VIL 07].

A principal motivação para o trabalho aqui apresentado é que apesar de haver soluções propostas na literatura para protocolo de roteamento em RSSF, muitas geram muito tráfego, não garantem as necessidades das aplicações e a falta de adaptabilidade a topologia da rede. E ainda, não atendem os requisitos de aplicações de supervisão e controle de ambientes físicos sujeitos a situações de emergência.

Assim o trabalho apresenta o projeto e avaliação de um protocolo de roteamento que utiliza o paradigma de Agentes Móveis com técnicas de agregação de dados para realizar a coleta e o escoamento dos dados na rede. A técnica de agregação de dados utilizada pelos Agentes Móveis reduz a quantidade de dados trafegados pela rede, além de possibilitar um pré-processamento desses dados na rede como eliminar ruídos, eliminar dados redundantes, e até agregar mais informações sobre o incidente.

O agente atribui vantagens ao protocolo tais como a capacidade de adaptação as necessidades das aplicações, ou seja, o protocolo modifica seus comportamentos e tarefas para atender uma determinada aplicação. Os agentes se movimentam pela rede, capazes de migrar entre os nós de interesse e coletar as informações desejadas. Essa característica de mobilidade pode tornar o agente uma entidade que conhece a rede e consegue escolher por quais nós passar para realizar a coleta e assim preservar os nós da rede atendendo as necessidades da aplicação.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo desse trabalho é projetar, implementar e avaliar um protocolo de roteamento para redes de sensores utilizando o conceito de Agentes Móveis. As principais características deste protocolo incluem otimização dos recursos de rede (tais como poupar energia dos dispositivos, evitar nós com defeito, e outros) e atender a qualidade de serviço.

## **1.3. Organização do Trabalho**

A dissertação será apresentada da seguinte maneira: - o capítulo 2 descreverá Redes de Sensores Sem Fio e a integração dessas redes com atuadores e RFIDs para aplicações de monitoramento mais preciso de ambientes físicos; o capítulo 3 apresentará o conceito de redes autonômicas e como esse novo conceito poderá influenciar nos sistemas de monitoramento de ambientes através de redes sensores sem fio, além de exibir como será implantado seu uso na rede através do uso de Agentes Móveis; e capítulo 4 descreve as técnicas de agregação de dados quais os modelos existentes e quais as vantagens do uso dessas técnicas na coleta dos dados; enquanto que o capítulo 5 apresentará o projeto, implementação e avaliação de um protocolo baseado em agentes para o monitoramento de ambientes sujeitos às situações de emergências; e o capítulo 6 apresenta as conclusões sobre o trabalho, quais as contribuições obtidas e os trabalhos futuros.

## 2.Redes de Sensores Sem Fio

Uma rede de sensores sem fio (RSSFs) é composta por um grande número de pequenos nós sensores que são colocados dentro ou muito próximos do fenômeno a ser analisado [AKY 02]. Geralmente, cada nó sensor é equipado com vários tipos de sensores (e.g., temperatura, pressão, sísmico, acústico, radiação, infravermelho, além de outros).

As redes possibilitam a coleta de informações do ambiente cuja utilização de cabeamento não é viável. Esses sensores podem estar inseridos em qualquer ambiente, desde o interior de um objeto ou corpo humano até áreas de plantações, campos de batalha, etc. As áreas com potencial de utilização de RSSF incluem:

- Saúde: Controle de doenças contagiosas; interface para deficientes; monitoração de pacientes; diagnóstico de distúrbios; administração de drogas em hospitais, monitoração e localização de pacientes e médicos em hospitais [END 06] [BUL 01] [SCH 01] [WAR 01].
- Aplicações Militares: Monitoração de tropas; reconhecimento de terreno; detecção de alvos e de ataques biológicos, químicos ou nucleares [MOK 06].
- Meio-ambiente: Rastreamento do movimento de pássaros, pequenos animais; monitoração de condições ambientais que afetam colheitas e plantio (por exemplo: combate à geada, detecção de componentes químicos ou biológicos, irrigação); mapeamento da bio complexidade ambiental, estudo da poluição e muitas outras [CER 01] [AGR 00] [MAI 02] [KAH 99] [BOM 00].
- Infra-Estrutura/Equipamentos: Monitoração e identificação de falhas em estruturas (pontes, prédios, etc.); monitoração da fadiga de máquinas e equipamentos (motores, dutos de gás, etc.); diagnósticos de máquinas [KIN 02] [KIM 05].

- Aplicações Comerciais: Automação de vendas e processo industriais; manutenção de inventário, monitoração de qualidade de produtos; detecção e vigilância de veículos e estabelecimentos [AGR 00] [CHO 00] [EST 99] [WAR 01].

Como apontado por Ruiz em [RUI 04b], a tendência é que os nós sensores sejam produzidos em larga escala, barateando o seu custo, e com maior capacidade de processamento e armazenamento, além de redução do tamanho. Assim, novas aplicações poderão surgir aumentando a abrangência de uso das RSSFs.

Eles podem ser depositados no ambiente físico de maneira determinística ou não. Na determinística, os nós sensores são colocados em posições pré-definidas e a não determinística, ou aleatória, os nós sensores podem ser depositados por meio de veículos aéreos ou terrestres. A deposição aleatória possibilita a colocação de nós sensores em locais de difícil acesso, como em áreas de desastres e incêndios (Figura 2.1). Por outro lado, isto significa que os algoritmos e protocolos para redes de sensores devem possuir a característica de auto-organização dos nós. [AKY 02].

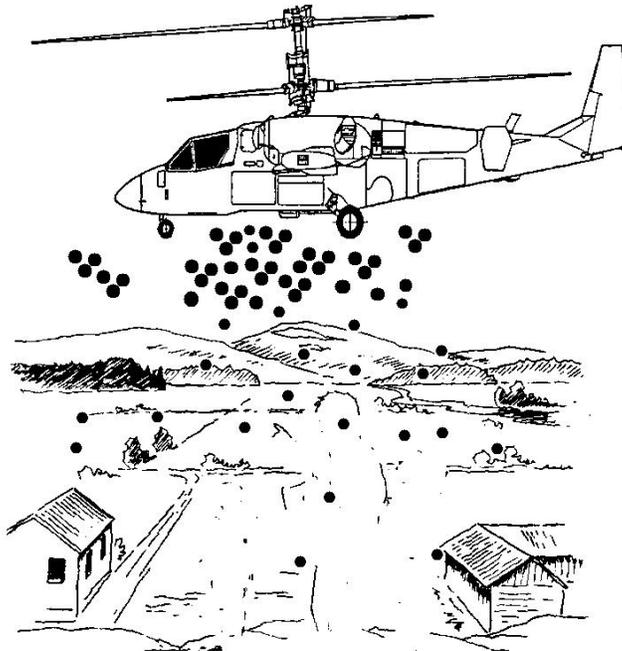


Figura 2.1. Nós sensores sendo espalhados em um campo de interesse [PIN 04].

Tipicamente uma RSSF possui nós de escoamento de dados chamados de sorvedouros (*sink*) ou estação base. É o elemento que a rede utiliza para comunicar-se com outras, um ou mais observadores [RUI 04a], ou seja, o *sink* age como a interface entre a aplicação e a rede, servindo de ponto de entrada para a submissão dos interesses da aplicação e de concentrador das informações coletadas e enviadas pelos nós sensores. Os *sinks* possuem grande poder computacional e não devem ter restrições energéticas.

## 2.1. Componentes do nó Sensor

Uma RSSF é formada por um conjunto de dispositivos compactos e autônomos, chamados nós sensores. Os principais componentes de um nó sensor são: a unidade de transmissão e recepção, unidade de energia, unidade de sensoriamento e unidade de processamento. Podendo, também, dependendo da aplicação destinada, possuir unidades adicionais tais como: unidade de localização, gerador de energia e movimentação. A figura 2.2 ilustra tais unidades presentes nos nós sensores.

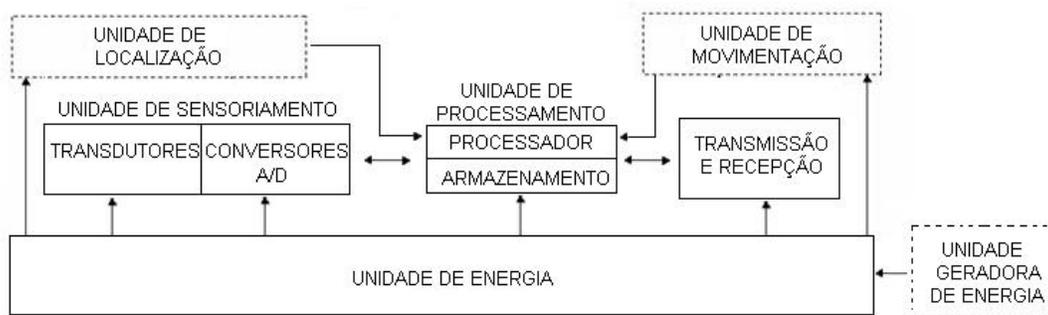


Figura 2.2. Componentes do nó sensor sem fio. Adaptado de [AKY 02].

Os transdutores e os conversores A/D são as subunidades que compõem a unidade de sensoriamento. Seus dados, então, são passados para

a unidade de processamento. Esta, por sua vez, é associada a uma pequena unidade de armazenamento de dados e pela subunidade processador responsável pelos procedimentos que fazem os sensores colaborarem entre si para realizar a tarefa de sensoriamento, enquanto que a unidade de energia é composta por células de energia e possivelmente uma unidade de geração de energia associada.

Outras subunidades podem ser incorporadas ao nó sensor dependendo da aplicação e interesse. Quanto à unidade de transmissão e recepção, estas são responsáveis pela comunicação na camada física da rede. A unidade de localização é útil ao nó, já que a maioria das técnicas de roteamento conhecidas requer o conhecimento da localização com alta precisão. Assim, é comum que um nó-sensor tenha uma unidade de localização.

Normalmente todas essas unidades devem caber em uma área do tamanho de uma caixa de fósforos, muitas vezes até em volumes menores, próximos a um centímetro cúbico. Além do tamanho há outros requisitos para os nós sensores, tais como: Consumo muito baixo de energia, baixo custo de produção, autonomia, e adaptação ao ambiente.

Algumas RSSF possuem dispositivos conhecidos como atuadores que permitem ao sistema controlar parâmetros do ambiente que está sendo monitorado.

## **2.2. Características de RSSF**

As características e requisitos derivam das limitações tecnológicas dos dispositivos e das restrições das aplicações, embora alguns destes sejam compartilhados por todas as RSSFs, independente de aplicação. A seguir serão apresentados os fatores (características e requisitos) que têm impacto direto na arquitetura e nas decisões de projeto de uma RSSF [AKY 02] [RUI 04b].

### 2.2.1. Consumo de Energia

Dentre todos os fatores relevantes às RSSFs, podemos destacar o consumo energético como um dos mais importantes fatores ligados a RSSF, visto que o nó sensor é um dispositivo microeletrônico com fonte de energia restrita. Além disso, na maioria das aplicações pode ser impossível ou inviável fazer a substituição da fonte de energia. Dessa forma, a capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação do nó sensor é limitada pela disponibilidade de energia [AKY 02].

O consumo de energia dos nós sensores ocorre de três modos [EST 02]: no sensoriamento do ambiente, processamento de dados e comunicação. O módulo de sensoriamento de um nó é a unidade responsável por detectar eventos no ambiente e convertê-los para sinais digitais. O consumo de energia de um módulo de sensoriamento varia de acordo com a natureza da aplicação. Dentre os três módulos, a comunicação dos nós sensores para transmitir as informações é o módulo mais consome energia em um nó sensor [BOU 03]. Para comunicações em pequenas distâncias a quantidade de energia que se gasta para transmissão e recepção é quase a mesma. Todos os componentes do circuito de *transceiver* consomem energia valiosa do sistema, em especial o PLL (*Phase Locked Loop*). Quando se menciona gasto médio de energia, normalmente não se leva em conta o gasto no início da transmissão em que o PLL está ativo e o consumo de energia é muito maior. Como em uma rede de sensores sem-fio o tamanho dos pacotes de dados é tipicamente pequeno, este consumo inicial passa a dominar sobre o consumo total do sistema de transmissão [EST 02] [SHO 00] [AKY 02]. Assim, esse gasto deve ser também levado em consideração, como mostrado na Figura 2.3 [BOU 03].

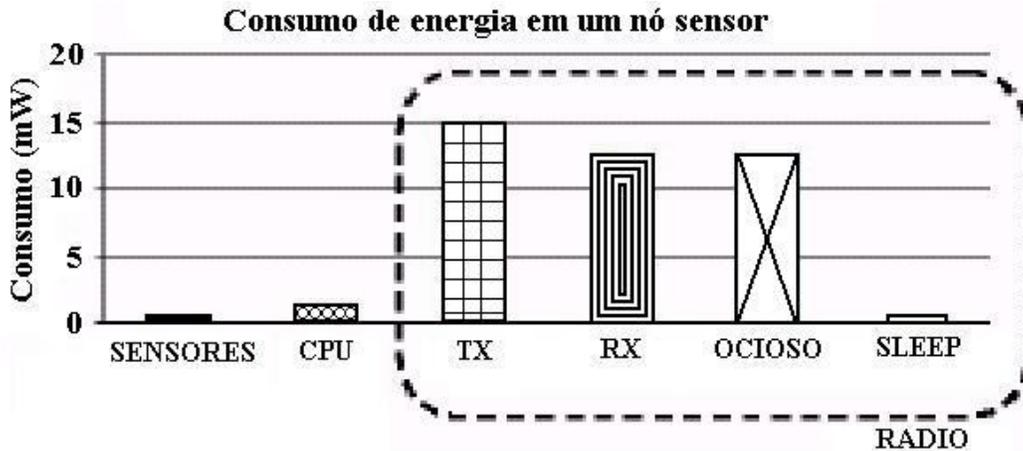


Figura 2.3. Consumo de energia dos módulos de um nó sensor. Adaptado de [BOU 03].

Já no processamento de dados, mesmo diante do contínuo surgimento de novos processadores cada vez mais poderosos, tem-se o fator consumo de energia como fundamental. Métodos de economia de energia devem ser empregados sempre que possível nos nós sensores.

A otimização do consumo de energia em RSSFs é complexa, pois não se limita a diminuir o consumo apenas de um único nó sensor e sim de toda rede e assim prolongar o tempo de vida útil da rede [QI 01]. Para atingir esse objetivo, é necessário que um controle de consumo de energia seja incorporado em todos os estágios do projeto e operação de uma RSSF. O sistema deve ainda ser capaz de fazer avaliações dinâmicas entre o consumo de energia, nível de desempenho e fidelidade operacional [RAG 02].

O consumo de energia numa rede de sensores sem-fio é o fator fundamental do projeto na maioria das vezes. Devido às fontes de energia serem escassas e muitas vezes não substituíveis. Métodos de economia de energia devem ser utilizados em todos os lugares possíveis. É justamente por isso que muitas pesquisas têm sido feitas para melhorar os algoritmos responsáveis pela transmissão e escoamento de dados na rede, além da criação de novos algoritmos de roteamento mais eficientes quanto à utilização de energia e até o desligamento dos módulos de comunicação dos nós.

### **2.2.2. Tolerância a Falhas**

Nos sistemas de monitoramento de ambientes físicos é importante a confiabilidade dos dados observados. Com o emprego de uma RSSF em ambientes potencialmente hostis, como uma aplicação crítica, elevam muito as chances de falhas em algum ponto da observação.

Em uma rede de sensores sem fio falhas são possíveis, aceitáveis e a rede deve saber lidar com elas de maneira automática e natural. Sensores podem falhar por diversos motivos como: falta de energia, tornar-se inoperante e falta de visibilidade para outro nó da rede. Dependendo da localidade um sensor não possui acesso ou, até mesmo, algum dano físico. Como as redes possuem diversos dispositivos distribuídos pelo ambiente a ser sensoriado, a falha de alguns não deve atrapalhar o funcionamento do resto da rede. Isto é o significado de tolerância à falha ou confiabilidade da rede.

Diferentes níveis de tolerância às falhas possibilitam a existência de diferentes algoritmos e protocolos de controle da rede, cada um mais adequado para uma situação [AKY 02], ou seja, se uma rede de sensores for utilizada em um ambiente no qual há pouca interferência, o protocolo pode ser um pouco mais simples, por exemplo, é claro que uma rede de sensores em um ambiente doméstico e controlado deve ter um nível de tolerância à falha muito menor do que uma rede de sensores que será utilizada dentro da entrada de um vulcão prestes a entrar em erupção.

### **2.2.3. Cobertura do Ambiente Monitorado**

A área de cobertura de uma rede sensor sem fio corresponde à região coberta pelos sensores e o cálculo está relacionado ao raio de alcance dos nós que se encontram ativos na rede, podendo ou não considerar obstáculos.

### 2.2.3.1. Posicionamento dos Nós Sensores

Segundo Nakamura em [NAK 04] a manutenção da área de cobertura está intimamente ligada à maneira como os nós sensores estão dispostos na área e deve levar em conta quando um sensor é retirado de um local ou quando um novo é adicionado a essa área. Para representar a influência da disposição dos nós na cobertura são considerados dois modelos de distribuição de nós em RSSFs, o modelo determinístico e o não-determinístico.

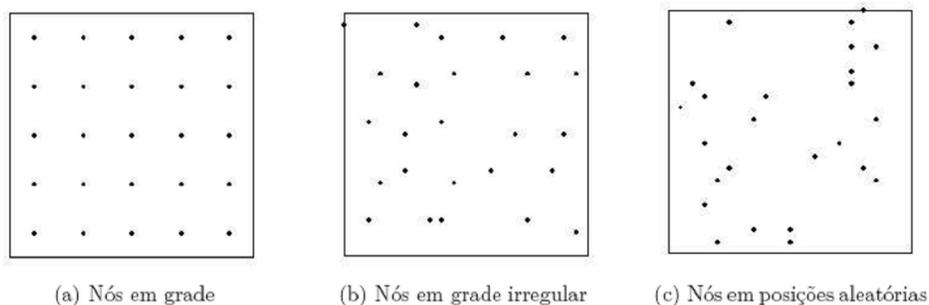


Figura 2.4. Modelos de posicionamento em RSSF. Retirado de [NAK 04].

O modelo determinístico regular considera a distribuição dos nós como regular e os posiciona em uma grade conforme ilustrado na Figura 2.4(a). O não-determinístico possui duas abordagens: na primeira o objetivo é lançar os nós visando à formação de uma grade similar ao outro modelo, porém, como no lançamento, há influência de fatores como: vento, obstáculos, velocidade do avião que o lançou, etc. A formação da grade dar-se-á de maneira irregular como ilustrado na Figura 2.4(b); a segunda abordagem do modelo não-determinístico é considerado que os nós estão distribuídos na área de maneira aleatória com distribuição uniforme como mostra a Figura 2.4(c). Nesse caso os valores das coordenadas dos nós estão limitados entre zero e à dimensão da área.

### **2.2.3.2. Área de Cobertura**

A área de cobertura de uma RSSF em um ambiente monitorado é determinada pela integração das áreas de sensoriamento de cada nó sensor, ou seja, para cada ponto do ambiente existe um nó responsável pela área e a falha na cobertura representa a porcentagem da área de monitoramento que não se encontra coberta por nenhum nó sensor.

### **2.2.4. Segurança de uma RSSF**

Segurança em RSSF é uma das características mais importantes em muitas das aplicações nas quais alguém tem a intenção de que a aplicação não funcione corretamente ou tenha acesso não autorizado às informações. Os requisitos de segurança variam de acordo com a aplicação desenvolvida, entre eles confiabilidade, pontualidade, autenticação, integridade, controle de acesso, confidencialidade e disponibilidade. As restrições computacionais presentes nas Redes de Sensores Sem Fio são grandes limitadores das soluções de segurança que podem ser executadas nesse ambiente, especialmente a distribuição de chaves.

A segurança é um fator crítico em Redes de Sensores Sem Fio. Os problemas podem estar presentes na forma de acesso, em falhas nos protocolos de comunicação, software, hardware dos dispositivos de coleta e envio de dados, ou na adulteração de nós sensores. Nas RSSF, há limitação imposta pelo tamanho minúsculo de cada dispositivo, utilização de bateria limitada, baixo custo. Ainda que um nó possa ser descartado, esses fatores limitam a utilização de protocolos e algoritmos de segurança conhecidos de modo que novas tecnologias devam ser elaboradas e avaliadas.

O uso de mecanismos de segurança visa garantir o uso da rede na forma como foi concebida, eliminando a ação do inimigo. Os principais

mecanismos de segurança são: métodos criptográficos, protocolos de gerência de chaves criptográficas, detecção de intrusão e por último, filtro de pacote e de conteúdo das mensagens.

Nas RSSF a utilização de filtros de pacotes e conteúdos das mensagens é muito limitada devido às poucas camadas implementadas no modelo de rede. Portanto a utilização desse método se restringe a somente impedir que pacotes com destino inválido trafeguem pela rede. Os outros mecanismos de segurança são aplicáveis às RSSFs, com algumas limitações de funcionalidades em comparação às redes convencionais.

Os requisitos de segurança para uma rede de sensores sem fio dependem do quão crítico é uma aplicação. Desse modo serão ou não necessários à segurança de uma RSSF:

- Confidencialidade - oculta as informações do inimigo dependendo do domínio;
- Autenticidade ponto a ponto - garante a origem das informações em comunicação;
- Autenticidade em modo de difusão - garante a origem das informações em modo de difusão;
- Integridade - garante para não ocorrer alterações à mensagem original;
- Pontualidade - possibilita o descarte de mensagens antigas repetidas que podem ser inseridas pelo invasor;
- Disponibilidade - garante que as aplicações consigam utilizar os recursos de rede.

Garantir a segurança nas RSSFs tem certas adversidades como foi explorado anteriormente, porém, acrescenta-se o fato dos sensores serem implantados em ambiente aberto e hostil, a comunicação ser sem fio, os recursos computacionais dos dispositivos serem limitados, topologia variável e a localização prévia de cada sensor são desconhecidas. Segundo [OLI 04],

todas essas limitações e adversidades devem ser consideradas durante o desenvolvimento do projeto de segurança dessa rede.

### **2.2.5. Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*)**

Qualidade de serviço (QoS) é um importante requisito da RSSF, já que a comunicação nas RSSFs apresenta diversas limitações como altas taxas de erro, poder computacional restrito, baixa largura de banda e falhas em alguns nós sensores, sendo desejável uma melhor utilização dos recursos de redes através de mecanismos que provejam QoS. Esses requisitos ainda apresentam muitos desafios a serem superados conforme [CHE 04].

Os desafios provêm das diferentes características que as RSSF apresentam se comparadas às redes convencionais, tais como: limitações dos recursos de processamento, armazenamento e comunicação, tráfego não uniforme, alta redundância de dados, rede altamente dinâmica, gasto de energia uniforme, escalabilidade, múltiplos *sinks*, múltiplos tipos de tráfego, entre outras características.

### **2.2.6. Escalabilidade**

A ordem de grandeza do número de sensores de uma RSSF pode variar de centenas para milhares. Em algumas aplicações específicas podem atingir a casa dos milhões. Os novos esquemas devem ser capazes não somente de lidar com este número de nós, mas também de utilizar todo potencial que seus dispositivos oferecem. Isso também é relacionado com a densidade com que os sensores estão espalhados na região a ser monitorada. A densidade pode variar muito e os novos esquemas de transmissão devem ser capazes de lidar com esta variação e utilizá-la a seu favor.

## 2.2.7. Classificação das RSSFs

Todos os fatores citados anteriormente são influenciados pelos requisitos da aplicação, pois uma RSSF é um tipo de sistema dependente da aplicação. Os parâmetros de configuração e manutenção variam de acordo com os objetivos da aplicação. Da mesma forma, a classificação das RSSFs também depende de seu objetivo e de sua área de aplicação [RUI 04b].

Com o intuito de apresentar de forma resumida a classificação das RSSFs quanto à configuração e ao sensoriamento descreveremos a seguir. A Tabela 2.1 foi adaptada de [RUI 04b] e mostra o modelo de classificação baseado na configuração da rede.

Tabela 2.1. Caracterização das RSSFs quanto à configuração (adaptada de [RUI 04b]).

Configuração		
Composição	Homogênea	Rede composta de nós de mesma capacidade de hardware.
	Heterogênea	Rede composta de nós com diferentes capacidades de hardware.
Organização	Hierárquica	Rede em que os nós são agrupados em grupos (clusters), onde cada grupo contém um líder ( <i>cluster-head</i> ). Em redes que possuem esta organização, os grupos formam hierarquias entre si, de forma que quando um dado necessita ser remetido à estação base, ele é remetido primeiro ao líder que irá enviar diretamente, ou através de outros líderes, à estação base. Fases de seleção dos nós líderes são necessárias. Esta organização tem primordialmente a intenção de reduzir o tráfego da rede com o objetivo de economizar energia.
	Plana	Rede em que os nós não são agrupados em grupos.
Mobilidade	Estacionária	Rede em que os nós sensores são fixos durante toda a vida da rede.

	Móvel	Rede em que os nós sensores podem ter sua posição espacial variável durante o tempo de vida de rede. Isto é, estes nós sensores podem ter a posição inicial onde foram depositados, modificada por sua capacidade de locomoção, por forças da natureza e também pela entidade na qual estão acoplados.
Densidade	Balanceada	Quando a rede apresenta uma alta concentração de nós sensores por unidade de área considerada ideal.
	Densa	Quando a rede apresenta uma alta concentração de nós sensores por unidade de área.
	Esparsa	Quando a rede apresenta uma baixa concentração de nós sensores por unidade de área.
Distribuição	Irregular	Rede que apresenta uma distribuição não uniforme na área monitorada.
	Regular	Rede que apresenta uma distribuição uniforme na área monitorada.

As RSSFs ainda são classificadas quanto ao modo de sensoriamento e coleta de dados. Quanto à coleta, os sensores podem ser classificados segundo Ruiz em [RUI 04b] como: periódica, nessa classificação os nós sensores realizam leituras no ambiente em intervalos regulares, como exemplo, verificar a presença de fumaça na área de cobertura a cada 2 minutos; a outra é conhecida como baseada em consultas, onde o nó sensor coletará dados do ambiente quando for solicitado por algum usuário, como exemplo, um supervisor da monitoração deseja saber qual a temperatura em um frigorífico no exato momento e a última classificação é conhecida como sensoriamento dirigido a evento, os nós sensores observarão o ambiente quando um evento relevante à aplicação ocorrer, como exemplo, quando a temperatura estiver acima de 40° C; a partir desse momento, o sensor relatará o evento ao supervisor. Com esses conceitos detalhamos a classificação baseada em sensoriamento.

Projetos e soluções propostas para a utilização das RSSFs devem considerar as características e limitações dos nós sensores, assim como as características do ambiente que devem ser monitorado.

### **2.3. Rede de Atuadores e Sensores sem Fio (RASSF)**

A inserção de novos dispositivos conhecidos como “atuadores” fornecem vantagens adicionais à RSSF. Essa seção apresenta as características das redes de atuadores e sensores sem fio (RASSF) que serão utilizadas no trabalho proposto. Observa-se que muitos dos conceitos das RSSF permanecem válidos para as RASSFs [AKY 04] [VIL 07].

As RASSFs possuem as mesmas características das RSSFs, adicionando a capacidade de reagir automaticamente em tempo real aos eventos capturados. A diferença entre os protocolos e algoritmos desenvolvidos para RASSF comparado aos desenvolvidos para RSSF é que esses devem considerar a heterogeneidade dos nós e os requisitos de aplicações de tempo real, segundo Akyildiz em [AKY 04], além dos requisitos já considerados pela RSSF como: baixo consumo energético, escalabilidade, segurança e outros já descritos.

Essas redes podem ser partes integrantes das mesmas áreas de atuação das RSSFs. Um exemplo em caso de incêndio, os sensores transmitem a exata origem e intensidade do fogo para os atuadores, enquanto os mesmos são os “*sprinklers*” de água que podem facilmente extinguir o fogo antes que ele se torne incontrolável. As RASSF serão objetos deste trabalho e seus componentes serão descritos a seguir.

### 2.3.1. Componentes do nó atuador

Os nós sensores e atuadores são diferentes em vários aspectos. Primeiramente, eles são destinados às atividades diferentes, nós sensores monitoram e nós atuadores atuam no ambiente. Além disso, nós sensores são de baixo custo, baixa capacidade de comunicação sem fio, computação e dispositivos de baixa energia com sensoriamento limitado. Já os atuadores possuem um custo mais elevado, melhor capacidade de comunicação sem fio, mais capacidade de processamento e uma bateria de maior duração. Além disso, a quantidade de nós sensores implantados no ambiente, geralmente, é da ordem de centenas ou milhares, no entanto, não é necessária uma grande distribuição de nós atuadores, já que a capacidade dos atuadores é melhor e podem atuar em grandes áreas [AKY 04].

Nós atuadores possuem as seguintes unidades: energia, comunicação, processamento, decisão (controlador), atuação e um conversor digital analógico (DAC), conforme ilustra a Figura 2.5. Os eventos são capturados pela unidade de comunicação, posteriormente, cada evento é analisado na unidade de decisão gerando os comandos que deverão ser executados como saída. Estes comandos são convertidos para sinais analógicos pela unidade DAC e logo são transformados em ações via unidade de atuação.

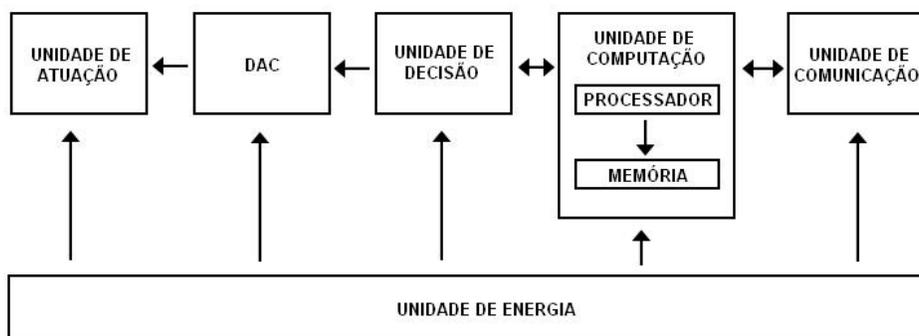


Figura 2.5. Componentes do nó atuados. Adaptado de [AKY 04].

### 2.3.2. Funcionamento Básico da RASSF

Na RASSF, os sensores capturam as informações do ambiente que está sendo monitorado, enquanto os atuadores processam as informações quando um evento é identificado pelos sensores, após o processamento algumas decisões são tomadas e as ações apropriadas a esses eventos serão executadas. Como exemplifica a Figura 2.6, os nós sensores, atuadores e *sinks* são distribuídos aleatoriamente sobre o ambiente que será monitorado, tornando-se um ambiente de sensoriamento e atuação.

O *sink* é o responsável por realizar a interface de comunicação entre a rede e a aplicação, ou seja, as informações capturadas da rede são fornecidas à aplicação, ou a outros *sinks* e redes interessadas permitindo uma monitoração remota pelo usuário.

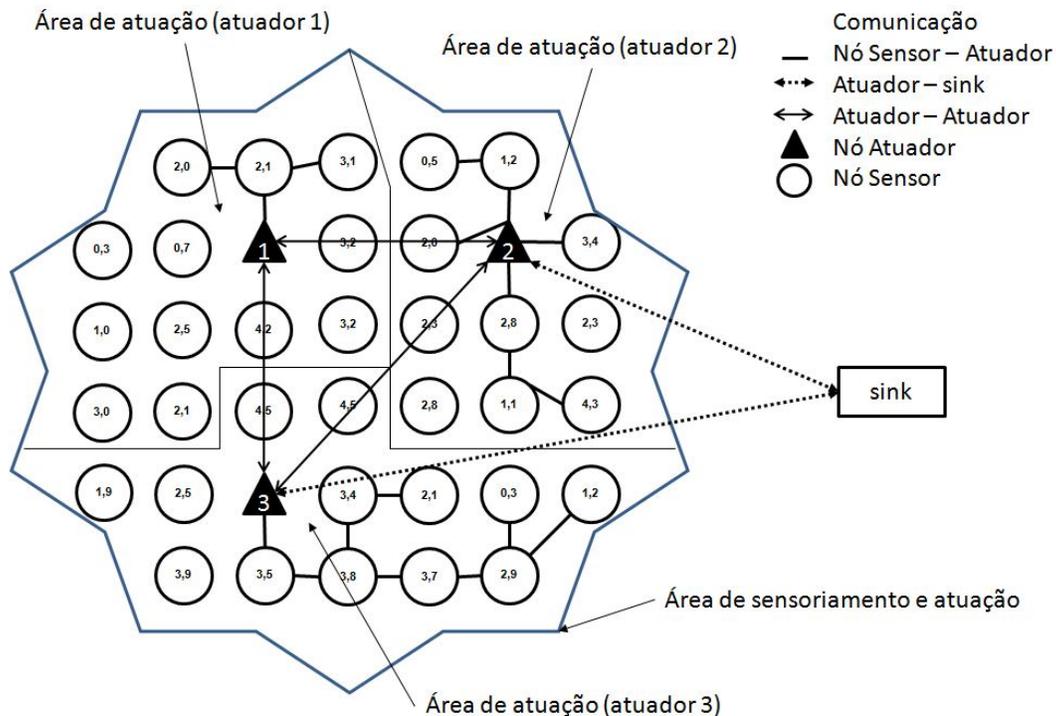


Figura 2.6. Esquema da arquitetura física das RASSFs. Retirado de [VIL 07].

Quando os sensores detectarem um fenômeno poderão operar de duas maneiras distintas: uma em que os dados são encaminhados ao *sink* e a segunda é transmitir os dados ao atuador que ao processar estes dados, inicia uma ação apropriada. De acordo com Akyildiz em [AKY 04], duas arquiteturas são definidas de RASSF para os dois modos de operação exibido anteriormente e que dependendo da aplicação uma delas se torna mais vantajosas.

A primeira arquitetura proposta por Akyildiz em [AKY 04] é conhecida como *Semi Automática* e é bastante similar à arquitetura tradicional das RSSFs, cujos nós sensores ao detectarem um evento transmitem suas leituras ao *sink*, que é responsável por interpretá-las, e caso necessário, transmitem os comandos de atuação aos atuadores, conforme ilustrado na Figura 2.7(a).

A segunda é a arquitetura *Automática*, esquematizada na Figura 2.7(b), cujos sensores transmitem as informações capturadas diretamente aos atuadores que se responsabilizam pela interpretação e atuação de acordo com a decisão tomada sobre o evento recebido. A primeira demonstra um dispositivo central responsável por coordenar todos os atuadores, enquanto a segunda demonstra uma interpretação distribuída, onde cada atuador é responsável pela interpretação dos eventos que ocorrem em sua região de atuação.

A arquitetura de modo distribuído oferece algumas vantagens à sua implementação em ambientes de segurança crítica, tais como baixa latência, pois a informação capturada é transmitida aos atuadores mais próximos ao evento do que um *sink*. Outro fator é uma maior vida útil da rede, já que os dados não são transmitidos até o *sink* evitando desgastar rapidamente os nós que estão na rota para chegar ao *sink*. Embora a agregação de dados reduza os gastos dos nós na rota entre o sensor origem e o *sink*, as falhas destes nós são maiores do que nos mais distantes.

Do mesmo modo, com a interpretação descentralizada, é possível imaginar maior gasto energético nos nós sensores próximos aos atuadores. Como a distribuição de atuadores pelo ambiente é maior do que os *sinks*, mais nós sensores estarão próximos a eles. Considerando que mais atuadores possam ser acionados para um mesmo evento isso implica num desgaste cada vez maior dos sensores [AKY 04].

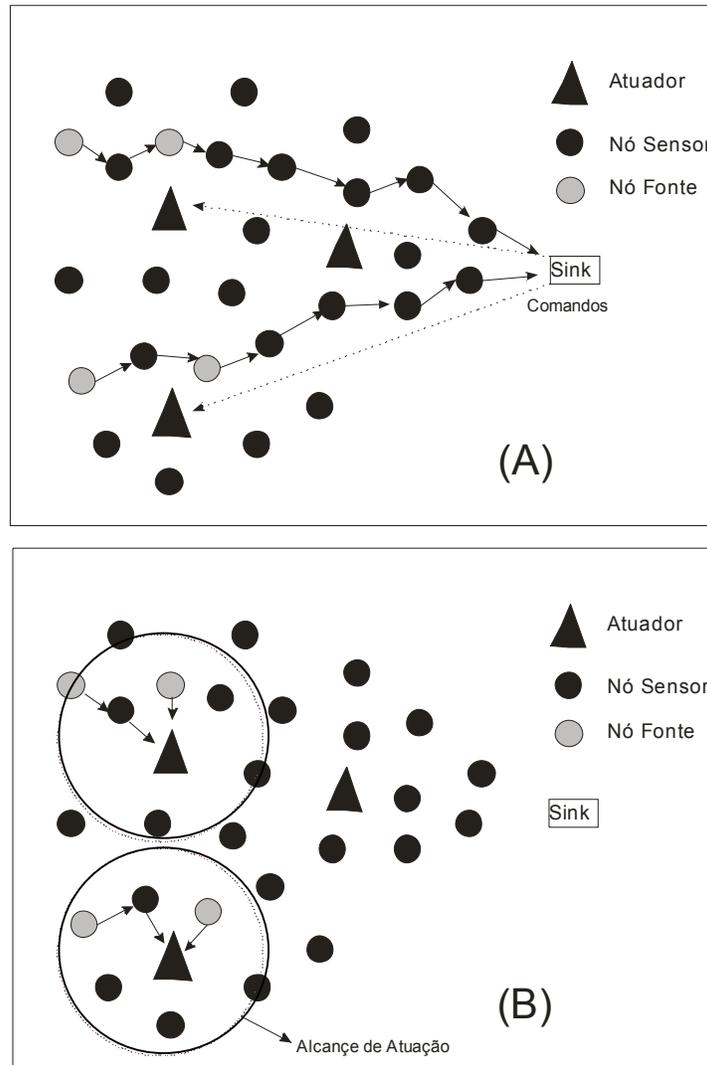


Figura 2.7.(a) Interpretação Centralizada - eventos são enviados ao *sink*; (b) Interpretação Descentralizada - eventos são enviados aos Atuadores. Retirado de [VIL 07]

## 2.4. Integração de RSSF com RFID

### 2.4.1. Sistemas RFID e suas Características

O Sistema RFID (*Radio Frequency Identification* - Identificação por rádio frequência) é composto por dois itens: a leitora de rádio frequência (chamado como interrogador ou estação-base) e a etiqueta de rádio frequência (ou *transponder*).

As etiquetas RFID permitem a identificação, localização, propriedades e outros de objetos. Quanto ao ambiente físico, basta anexarem essas etiquetas nos locais desejados e assim inserirem o conteúdo de cada etiqueta para que sejam acessados através de rádio frequência pelas leitoras RFID.

A tecnologia auxilia as empresas a tomarem decisões, gerenciar a produção, rastrear os estoques e responderem às necessidades diversificadas dos clientes. Os dados gerados pela leitora podem melhorar os pontos eficientes da cadeia de abastecimento em setores industriais como: saúde, varejo, governo, distribuição e produção. A integração robusta de soluções de RFID baseada em padrões abertos permite que as empresas aumentem a eficiência dos processos comerciais, reduzam os custos operacionais e ainda reduzam os erros humanos.

O sistema de RFID é similar aos *smart card*. Como os sistemas de *smart card*, os dados são armazenados em um dispositivo eletrônico - o *transponder*, entretanto, ao contrário do *smart card*, a fonte de energia do dispositivo de armazenamento de dados está na troca de dados entre o dispositivo e o leitor. Essa troca não ocorre através de contato, mas preferencialmente usando campos magnéticos ou eletromagnéticos. O

procedimento técnico subjacente é extraído dos campos da engenharia do rádio e do radar.

As etiquetas RFID podem ser classificadas entre *passivas*, *semi-passivas* e *ativas*. As *passivas* não possuem fonte de energia própria, portanto precisa de um campo eletromagnético gerado por uma leitora para serem ativadas e assim transmitirem seus dados. As *Semi-Passivas* possuem uma bateria anexada em seu corpo, possuindo um alcance maior que as etiquetas puramente passivas, porém tem um ciclo de vida mais curto do que as etiquetas passivas. E por fim, as *Ativas* são aquelas que possuem fonte de energia própria e isso permite que possam transmitir as informações que estão armazenadas no seu micro chip sem necessidade de entrar num campo de ativação.

As etiquetas ativas possuem algumas vantagens em relação às passivas, apesar de seu baixo custo. Elas possuem a capacidade de se comunicar com outras fazendo um papel de leitora, além de ter capacidade de comunicação com nós sensores. Desse modo podem ser utilizadas para passar informações de localização ao sensor, além de permitir à alteração de seus valores ou até mesmo agregar alguma nova informação à etiqueta, entre outras funcionalidades [BHA 06]. Porém, quanto maior a capacidade de um microprocessador de uma etiqueta maior o seu preço, ou seja, as etiquetas não devem fornecer mais recursos do que a aplicação necessita.

A capacidade de armazenar dados estáticos sobre o ambiente apresenta características que possibilitam a integração com as redes sensores sem fio, já que com a utilização dos dados estáticos à aplicação pode utilizar essas informações para complementar os dados fornecidos pelas redes sensores assim tornando a informação mais precisa.

Essa nova informação pode ser utilizada por equipes de resgate para definir as estratégias de combate ao incidente, podendo informar quando ele teve início e seus motivos, além de serem utilizadas para prevenirem outros futuros.

A próxima seção descreverá três técnicas de integração entre RFID e redes sensores.

### **2.4.2. Modelos de Integração**

Os três modelos abaixo foram propostos por Zhang em [ZHA 06]:

1. Integração de leitoras RFID e estação base - Esta arquitetura possui uma estação inteligente que recebe as informações vindas dos sensores e das etiquetas RFID posteriormente transmitindo para um host local ou para uma rede remota. Essas informações podem interagir com as estações base inteligentes, ou seja, dados da rede de sensores disparam a leitura RFID para um determinado evento incomum. Essa arquitetura apresenta um serviço centralizado, onde uma estação base é responsável pelo monitoramento do ambiente além de realizar leituras RFID somente quando um evento anômalo ao ambiente estiver ocorrendo, perdendo assim o foco das etiquetas de poder monitorar todos os objetos desse ambiente.
2. Distribuição de pequenos nós - Se algumas funções fossem retiradas de um leitor, esse seria menor, mais barato e fácil de desenvolver. Foi proposto um novo nó inteligente possuindo algumas das funcionalidades do leitor. Ele é dividido em três partes: de percepção que faz uso do tipo de sensores para detectar o ambiente físico interessado, da leitura de algumas etiquetas, compara com uma leitora RFID normal e a transmissão do rádio que transfere as informações. Os nós inteligentes lêem algumas etiquetas e podem ser desenvolvida como uma WSN auto-organizável funciona autônoma e reportam as informações ao *sink*.
3. Etiqueta sensor inteligente - Muitas etiquetas ativas e semi-ativas incorporaram sensores em seu projeto, mas não são exatamente nós de rede de sensor porque se comunicam de modo centralizado e não

coopera um com o outro. Com o emprego de micro controlador, eles decidem por si só qual e quando os dados serão recebidos. Conseqüentemente é possível substituir nós de mica por etiquetas ativas quando se tornam mais baratos. Os nós mini podem passar informações de uma à outra até que os dados alcancem o último transmissor que se comunica com um único leitor, reduzindo efetivamente o número deles e uma infra-estrutura de rede com fios.

## **2.5. Protocolos de Roteamento para RSSF**

O roteamento em RSSF é um dos desafios das RSSFs devido às diversas características que as distingue das redes sem fio *ad-hoc* [PER 00]. O primeiro item é que as soluções clássicas baseadas em IP não podem ser aplicadas nas RSSF. Segundo as aplicações, para RSSF requer o encaminhamento dos dados de múltiplas regiões para um *sink*. Em terceiro o é a redundância de dados que trafegam pela rede. E por último é a restrição de recursos dos sensores em termos de bateria, processamento, armazenamento e outros [VIL 07].

Devido a essas características únicas, vários protocolos foram desenvolvidos para tentar solucionar o problema de roteamento nas RSSF [HEI 99] [INT 00] [INT 03] [BRA 02] [SCH 01] [CHU 02] [MAN 01] [YAO 02] [SHA 02] [SAD 03]. Os protocolos aqui apresentados estão classificados em *data-centric* e hierárquico e em nenhuma dessas soluções é utilizada o conceito de Agentes Móveis e autonomia que é apresentado na solução da tese.

### **2.5.1. Protocolo baseado em *data-centric***

Com a grande quantidade de nós envolvidos não é possível permitir a associação de identificadores globais a cada um dos nós distribuídos

na rede, o que torna o acesso a um conjunto de nós específico cada vez mais complexo. Desse modo os dados de cada um são transmitidos pela rede para informar o *sink* e dele é gerado uma redundância no tráfego da rede. Porém, essa abordagem é ineficiente e tem alto gasto energético restringindo o uso nas RSSF.

No roteamento baseado em *data-centric* o *sink* é responsável por organizar as consultas por regiões. Como os dados são adquiridos através de consultas é necessário um sistema de identificação para especificar as propriedades dos dados.

O SPIN [HEI 99] foi o primeiro protocolo proposto que tem como característica a negociação de dados entre os nós para eliminar a redundância e assim sucessivamente economizar energia. O *Directed Diffusion* (DD) [INT 00] foi desenvolvido posteriormente tornando-se referência nesse tipo de protocolo baseado em *data-centric*. Alguns protocolos foram baseados em cima do DD e outros seguem os conceitos similares [BRA 02] [SCH 01].

## **2.5.2. Protocolo Hierárquico**

Sendo a escalabilidade um dos atributos importantes de um projeto para RSSF, já que indica que o número de nós das redes de sensores é variável, assim novos nós podem fazer parte da rede ou até que sejam destruídos. Desse modo as soluções devem estar aptas a atender esse atributo.

Essa abordagem prega que uma rede com apenas um nível hierárquico pode sobrecarregar o *sink*, caso ocorra um aumento de nós na rede. Essa sobrecarga pode afetar o funcionamento por completo, gerando atrasos de comunicação, rotas inadequadas para os pacotes e assim aumentar o tráfego na rede e outros. Para permitir que o sistema suporte uma carga adicional e ainda seja capaz de cobrir uma vasta área de interesse sem

comprometer a qualidade do serviço, mecanismos de *clustering* em redes têm sido introduzidos em algumas soluções para protocolo de roteamento.

Os protocolos baseados em hierarquia prezam pelo consumo homogêneo de energia entre os nós, de modo que os sensores se agrupem em clusters e troquem informações com o coordenador de seu grupo, facilitando a fusão dos dados para reduzir o número de mensagens e informações trafegadas na rede. A formação de *clusters* é tipicamente baseada na reserva de energia dos sensores e na proximidade dos mesmos com o *cluster-head* [LIC 97] [SRI 09]. O primeiro protocolo do tipo hierárquico é o LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) [HEI 00a] que prega a idéia de formar clusters baseados na força do sinal recebido e no uso de *cluster-heads* como roteadores para o *sink*. A comunicação com o *sink* é feita apenas pelos *cluster-heads*, em vez de todos os sensores economizando energia. O conceito do LEACH é inspiração para outros modelos de roteamento hierárquico [GUP 05] [LIN 02] [MAN 01] [NIN 07].

### **2.5.3. Protocolos Baseados em Agentes Móveis**

Esta seção descreve uma breve visão sobre o uso de Agentes Móveis nas soluções para protocolos de roteamento de dados. Como afirmam [QI 01] [CHE 06] que para os nós sensores é mais econômico processar um conjunto de instruções em vez de transmitir grande quantidade de dados, assim eles utilizam os Agentes Móveis para migrarem de nó em nó e realizar a coleta de dados, e não exigirem que os dados trafeguem pela rede para o *sink*.

Aproveitando as características dos Agentes Móveis que serão descritas no capítulo 3, essas soluções apresentam capacidade de adaptação à topologia da rede. Já que os Agentes Móveis podem modificar seus comportamentos para atender a novas necessidades e ainda oferecer a mesma qualidade de serviço.

Um protocolo existente é o MAWSN [CHE 06] que otimiza o Agente Móvel no *sink* inserindo no corpo do agente as regras das aplicações que necessitam do serviço e quais os nós alvos da consulta. Desse modo o Agente Móvel migra de nó em nó até atingir os objetivos definidos. Outros modelos seguem essa linha [QI 01] [FOK 05].

## **2.6. Considerações Finais**

O presente capítulo apresentou as principais características de Redes de Sensores Sem Fio, Redes de Sensores e Atuadores Sem Fio, além dos requisitos que devem ser observados para o desenvolvimento de aplicações dessas redes.

Foi mostrado que um dos fatores comuns às RSSFs e RSASFs é o consumo de energia, e que o tempo de vida da rede varia de acordo com os protocolos, algoritmos e medidas adotadas. A RSASF adiciona o potencial de poder atuar no ambiente, sendo monitorado pelos sensores. A integração de RSSFs com etiquetas e leitoras RFID aumentam ainda mais o potencial de monitoramento mais preciso do ambiente físico.

Por fim, diferentes modelos de protocolos foram descritos e comparados e os de RSSF que utilizam o paradigma de agentes (móveis e fixos), que podem trazer eficiência no roteamento para aplicações de monitoramento de ambientes sujeitos às situações de emergência, serão apresentados no próximo capítulo.

### 3. Agentes Móveis Aplicados a RSSF

A automatização e gerenciamento de recursos computacionais não é um desafio novo para a comunidade acadêmica. Os sistemas computacionais evoluíram significativamente nos últimos tempos. Esta constante evolução tem desenvolvido sistemas cada vez mais complexos, heterogêneos e até mesmo integrados ao mundo físico (como o caso do monitoramento de ambientes através do uso das RSSFs), os quais têm começado a restringir as capacidades de projeto, avaliação, integração e gerenciamento dos desenvolvedores de software e administradores de sistema [BRA 06].

Através das técnicas de automação o ideal é retirar o homem do ciclo de controle e delegar a ele apenas uma posição de supervisão sobre a capacidade dessas técnicas de automação no controle e gerenciamento dos dispositivos e aplicações [WAN 02]. Em longo prazo cientistas tentarão criar sistemas computacionais que sejam capazes de se auto-gerenciar - uma visão que é frequentemente referenciada como computação autônoma [BRA 06]. Além disso, o aprendizado das máquinas é necessário, e que evoluirá através das experiências de acordo com as necessidades do sistema [CHE 06b]. Essa característica de aprendizado é o que separa sistemas autônomos de sistemas autônomos [WAN 02].

A computação autônoma define um novo paradigma de controle e supervisão para sistemas computacionais em que estes devem ser capazes de gerenciar e auto-organizar, dependendo dos objetivos já definidos pelos administradores ou pela necessidade da aplicação em determinado momento [BRA 06].

O auto-gerenciamento é a essência da computação autônoma, que deve produzir sistemas capazes de operar com alto desempenho durante todo o período sem a intervenção humana [AGO 06].

Um paradigma de computação que pode ser utilizado para implementar as características autonômicas é através do uso de Agentes Móveis [QI 01]. Esse paradigma que será apresentado com mais detalhes nesse capítulo, apresenta diversos atributos autonômicos como a capacidade de adequar-se ao ambiente em que este deve executar suas tarefas.

Como foram apresentadas no capítulo anterior, as redes de sensores possuem varias restrições e limitações, e uma delas está ligada ao fato de possuir uma topologia altamente variável já que novos nós podem ser facilmente instalados, assim como os antigos podem sofrer desgaste energético, serem destruídos por alguma entidade do ambiente e até mesmo serem realocados em outras regiões. Desse modo é necessário utilizar uma solução que seja capaz de se adaptar a esse ambiente, e que ainda preserve a qualidade de serviço, assim, uma solução com Agentes Móveis apresenta ser viável para garantir a qualidade desejada.

Esse capítulo descreve as características autonômicas e quais são as influências delas no contexto da rede. Em seguida, são apresentadas as funcionalidades dos Agentes Móveis e alguns protocolos que utilizam de Agentes Móveis para coleta de dados em Redes de Sensores Sem Fios.

### **3.1. Computação Autonômica**

A ideia de computação autonômica veio da relação com o sistema nervoso autonômico humano que é capaz de conservar o estado do corpo sempre estável, cuidando de suas funções vitais e tornando apto para as atividades do momento. Essas tarefas ocorrem sem a necessidade de um mecanismo consciente e que estão acionadas 24 horas por dia durante os sete dias da semana, ou seja, trabalham com alto desempenho, sempre, para garantir o perfeito funcionamento do organismo [KEP 03] [AGO 06].

Na computação autonômica os sistemas possuem capacidade de auto-gerenciamento e com isso conseguem aprimorar suas operações e

estratégias melhorando o desempenho com o mínimo de intervenção humana. Do mesmo modo que o corpo gerencia as funções vitais do organismo, os sistemas computacionais autônomicos têm a capacidade de gerenciar, programar-se e ainda reparar defeitos apresentados.

A necessidade de adoção da computação autônoma cresce, já que os sistemas atuais se tornam mais complexos, críticos e de alto custo para serem gerenciados. Porém, esses sistemas devem ser capazes de se auto-conhecer [KEP 03], isto é, conhecer os dispositivos pertencentes ao seu domínio (tipo de aplicação que ele opera) o estado de execução do sistema e dos dispositivos ligados a ele, capacidade de todo o sistema, entre outros. Com essas informações o sistema tem a capacidade de aprimorar cada vez mais a execução da tarefa a ele atribuída, e até mesmo aperfeiçoar o uso de seus dispositivos e recursos, evitando influências de distúrbios externos. De tal maneira evitar que a sua funcionalidade seja influenciada por distúrbios externos.

### **3.1.1.Auto-gerenciamento em RSSFs**

As redes autônomas devem se utilizar de serviços de auto-gerenciamento, assegurando a finalização das tarefas e garantindo os objetivos da rede com qualidade de serviço [AGO 06]. O processo de aprendizado deve ser garantido para que as regras e políticas sejam aprimoradas.

Para as tarefas de auto-gerenciamento os seguintes aspectos devem ser considerados na RSSF [AGO 06] [BRA 06] [CHE 06b]:

- Auto-configuração: é o aspecto que trata dos parâmetros de configurações do sistema, ou seja, esse serviço é responsável por adaptar-se à rede dinamicamente para as mudanças que ocorrerem no ambiente. Realiza a configuração das entidades pertencentes ao sistema.

- Auto-proteção: deve ser capaz de prevenir ameaças (ataques maliciosos, internos, externos e acidentais) e até falhas que possam alterar o resultado dos dados.
- Auto-cura: deve ter a capacidade de detectar, diagnosticar e reverter os problemas encontrados. Os componentes detectam as operações impróprias e falhas e iniciam ações corretivas em suas funcionalidades para que possam suprir a falha encontrada e assim garantirem as políticas e a preservação da rede ou de um nó.
- Auto-otimização: responsável pelos parâmetros relacionados ao desempenho e qualidade de serviço (QoS). Devem ser ajustados periodicamente a fim de garantirem a execução otimizada. A auto-otimização realiza o ajuste dos componentes da rede a fim de maximizar a utilização dos recursos e assim garantir a qualidade de serviço.
- Auto-aprendizado: é o serviço relacionado às técnicas de inteligência artificial cujo sistema passa a conhecer seu ambiente e contexto de atividades através das experiências anteriores e assim gerar regras e ações para melhor interagir com todas suas entidades e até evitar problemas futuros.
- Auto-conhecimento: é o serviço que permite a rede de qualificar sua capacidade, ou seja, conhecer a si mesma. Ele permite que a rede identifique quais os dispositivos que pertencem a ela, o estado atual da rede e de seus dispositivos, em que tipo de ambiente opera, quais são os serviços fornecidos, entre outros elementos.

Nessa seção foram apresentadas as características principais que envolvem os sistemas autônomicos e como cada uma dessas características pode influenciar na rede. A próxima seção descreverá sobre políticas de gerenciamento.

### 3.1.2. Gerenciamento de Falhas

As falhas estão sempre presentes nas RSSFs e acontecem com determinada frequência [AKY 02] [ASS 07]. Pode acontecer por falta de energia, interrupção de conectividade, danos físicos, ou até mesmo variações do ambiente. As falhas fazem com que se perca a conectividade com o resto da rede, entre outros fatores limitantes. Essas redes devem ser tolerantes às falhas e assim manter seu funcionamento independente da situação dos nós na rede. O gerenciamento de falhas deverá fornecer funcionalidades como auto-cura, auto-manutenção, auto-conhecimento e outras que foram exemplificadas anteriormente.

### 3.1.3. Políticas de Gerenciamento

As políticas de gerenciamento são usadas para automatizar as tarefas de supervisão e manutenção da rede. Os objetivos dessas políticas são: orientar a execução de uma rede e controlar seus recursos para adequar-se ao ambiente de execução [BRA 06] [ASS 07].

As políticas podem ser definidas e aplicadas aos diferentes grupos de elementos da rede, tais como dispositivos, usuários, serviços, técnicas e funcionalidades. As regras podem influenciar nas diversas áreas da rede desde seu desempenho e configuração até cada dispositivo separadamente.

As políticas podem ser separadas em dois grupos distintos: uma que se refere à *autorização* (nessa abordagem as políticas tratam de quais acessos um elemento de rede possui) e outra que se refere à *obrigação* que (tipo de ação que a rede deve realizar para satisfazer a aplicação através da mudança de conduta dos elementos pertencentes à rede).

### **3.1.3.1. Arquitetura Baseada em Política de Gerenciamento para Redes**

Um exemplo de arquitetura de gerenciamento baseado em políticas é aquela desenvolvida pela *Engineering Task Force* (IETF) / *Distributed Management Task Force* (DMTF) [VER 02] [BRA 06]. A arquitetura proposta é definida por quatro elementos: *Ferramenta de Gerenciamento* (permite aos administradores dos sistemas definirem quais as regras e políticas vigentes da rede); *Repositório de Políticas* (cujas regras e políticas geradas pela Ferramenta de Gerenciamento são armazenadas); *Policy Decision Point* (que se comunica com o Repositório de Políticas, recuperando e interpretando as políticas presentes no repositório e tomando as devidas decisões baseadas nestas. Esse elemento ainda é capaz de determinar quais as políticas mais relevantes para o sistema, se existem conflitos entre as regras, além de ser o responsável por aplicá-las durante a execução e assim retornar o resultado); e *Policy Enforcement Point* (capaz de executar e aplicar várias políticas simultaneamente analisando as condições atuais da rede).

### **3.1.3.2. Middleware para Políticas de Gerenciamento para Computação Autônoma**

O trabalho desenvolvido por [AGR 05] apresenta um *middleware* de políticas para computação autônoma, definido por PMAC (*Policy Management for Autonomic Computing*) que define uma plataforma de políticas para computação autônoma. Esse *middleware* tem a capacidade de gerenciar múltiplos aspectos de sistemas distribuídos de larga escala, tais como: qualidade de serviço, configuração e auditoria.

Esse *middleware* fornece também componentes que podem ser embutidos em aplicações para reduzir o custo de desenvolvimento de

softwares capazes de obterem entradas de um sistema de gerenciamento baseado em políticas.

O modelo de informação utilizado pelo PMAC é baseado no modelo CIM (*Common Information Model*) [DMTF 99]. Cada uma das políticas definidas é uma regra com quatro componentes: *Condição, Ação, Prioridade e Papel*. Para explicar cada um deles pode-se definir que a política somente será aplicada no ambiente quando suas condições (definida pelo componente Condição) são verdadeiras, assim, um conjunto de execuções pode ser executado (elas são informadas no componente Ação). As prioridades definidas devem estabelecer uma hierarquia entre as regras, ou seja, quando existirem múltiplas políticas aplicáveis a uma ação, a prioridade é responsável por indicar a preferência na execução dessas. E o último componente define qual o contexto que uma política se aplica e são definidos no componente Papel.

As políticas e regras de gerenciamento podem estar associadas ao mesmo elemento da rede assim geram um problema de conflito entre elas que são cada vez mais freqüentes em sistemas distribuídos [BRA 06] [AGR 05]. Para evitar os conflitos é necessário que o ambiente de gerenciamento possua mecanismos capazes de detectar e evitar a ocorrência de problemas entre as políticas determinadas no sistema. No caso do PMAC, ele possui um método de ratificação de políticas baseado na verificação de domínio, conflitos e cobertura das regras. Caso um conflito seja identificado nesse método, os autores das políticas são informados do problema e que assim sejam capazes de determinarem a prioridade daquelas regras conflitantes, a fim de eliminar o problema.

### **3.2. Agentes Móveis**

Passados os anos o conceito de agentes de software tem recebido grande importância e atenção. Dependendo do ponto de vista os

termos de agentes têm sido associados com diferentes propriedades e funcionalidades. O foco do trabalho é explorar os conceitos dos Agentes Móveis e quais os benefícios ligados a esse novo conceito podem ser incorporados a solução desse projeto [BAU 98] [PHA 98] [FOK 05a] [CHE 06].

Agentes Móveis são definidos como objetos ativos que possuem senso de localização, status e comportamentos. Esses agentes são considerados autônômicos, já que uma vez criado ou invocado eles decidem autonomamente como proceder para cumprir uma determinada tarefa (desde qual rota tomar e quais nós visitar até como operar para realizar a tarefa designada) [GRA 97] [BOR 06]. Esses comportamentos estão inseridos nos códigos que os agentes carregam consigo.

Agentes são considerados móveis, desde que tenham permissão para migrar entre os dispositivos da rede e que esses forneçam um ambiente básico para executar suas tarefas. A tecnologia dos Agentes Móveis é útil no desenvolvimento de redes autônômicas. As características de agentes que serão descritas nas próximas seções, são importantes aliadas para esse novo paradigma de gerenciamento que proporciona vantagens quando comparado aos modelos tradicionais [WOO 95] [CHE 06] [QI 01].

### **3.2.1. Características dos Agentes Móveis para o uso em RSSF**

Os Agentes Móveis possuem características, que são vantajosas, para a coleta de dados em RSSF tais como [QI 01] [CHE 06] [GRA 97]: *Mobilidade* (o agente é capaz de migrar para outro dispositivo e continuar a execução de suas tarefas); *Flexibilidade* (permite ao agente escolher dinamicamente quais ações tomar, sem seguir um roteiro pré-estabelecido, o que permite que ele passe por nós que estão mais aptos a atenderem a necessidade da aplicação e até a executar tarefas diferentes nos nós); outra vantagem dos agentes é nomeada como *Orientação a objetivo* (o agente é estimulado a buscar e concluir um objetivo traçado e quando concluído, encerra suas atividades); *Adaptabilidade* (capacidade de sentir e observar as

mudanças do ambiente, adaptar-se a elas, sem esquecer a necessidade de aplicação).

Nem todas as características mencionadas acima precisam estar presentes nos Agentes Móveis podendo ser implementadas de acordo com as necessidades e tipo de aplicação [QI 01] [BOR 06].

Com as características apresentadas anteriormente mostra-se que Agentes Móveis possuem diversas vantagens que podem ser incrementadas e utilizadas nas soluções de roteamento de RSSF. Mostrando ser uma solução para adaptar-se na topologia instável das RSSF e fazer a coleta de dados de modo a preservar os dispositivos e ainda garantir a qualidade do serviço.

### **3.2.1.1. Tipos de Mobilidade de Código**

O termo de mobilidade de código pode ser definido como a capacidade dinâmica de alterar as ligações entre os fragmentos de códigos e onde esses são executados [FUG 98]. Nos últimos anos a mobilidade de código ganhou influência na abordagem para aplicações distribuídas a fim de garantir aplicações cada vez mais extensíveis e flexíveis. A ideia principal dita que um processo pode suspender sua execução corrente em um determinado local, mover-se para outro dispositivo e lá, continuar sua execução. A partir do conceito de mobilidade, novos paradigmas foram criados como *execução remota*, *código sob demanda* e *Agentes Móveis* [BAU 97].

No modelo de *Execução Remota*, uma cópia do código é transportada para o nó destino que contém os recursos e dados necessários para continuar a execução do mesmo que será transportado.

No modo de *Código sob Demanda*, o nó possui os recursos e dados para executar um serviço, porém falta o código para realizar a execução. Desse modo ele requisita o código de outro dispositivo para concluir sua tarefa.

E por último o *Agente Móvel* é o mais elevado grau de mobilidade de código, já que além da transmissão do código para outra localidade são transmitidos também os dados e estados do agente do agente. Uma vez que a transmissão esteja completa, o estado é restaurado automaticamente e o agente pode prosseguir a execução de sua tarefa do ponto em que parou no dispositivo anterior.

### **3.2.2. Tipos de Agentes**

Os Agentes Móveis podem ser classificados de acordo com alguns fatores. A seguir algumas classificações: - Podem ser quanto à mobilidade dos agentes separados entre móveis e estáticos. Os móveis possuem a característica de migrar ou clonar através de uma rede, isto é, não ficam restritos a executar em somente um dispositivo e estático é aquele que fica restrito a um dispositivo somente.

Eles também podem se classificar como deliberativos e reativos. Quando reativos esses são estimulados por mudanças no ambiente, assim, seu comportamento, funcionalidade e estado são alterados para adaptarem-se ao meio. Já para o termo deliberativo possuem um comportamento interno e podem ser necessários em umas operações, outros agentes, visando o cumprimento da tarefa.

Além das classificações listadas acima, eles podem ser classificados ainda por autonomia, cooperação e aprendizagem. A combinação dessas três características gera novos tipos de agentes.

### 3.2.3.Principais estruturas dos Agentes Móveis

Em geral, os Agentes Móveis são constituídos por quatro estruturas principais [QI 01] [CHE 06]: memória, identificação, rota e funcionalidades como pode ser exemplificado na figura 3.1.

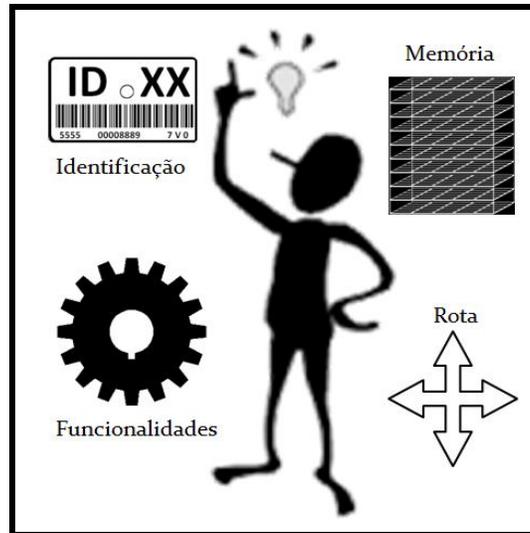


Figura 3.1. Estrutura principal do Agente Móvel.

Na Figura 3.1, ilustra as estruturas principais de um Agente Móvel como a *Memória* que é a estrutura responsável por armazenar os dados capturados na rede durante todo o processo e que depois será entregue ao *sink* ou uma unidade central. A *Identificação* é a unidade que armazena os dados que facilitam a identificação do agente pelo Serviço de Gerenciamento de Agentes, a *Rota* é outra estrutura que indica o caminho que o Agente Móvel deverá percorrer para alcançar seu objetivo. A rota que um Agente Móvel faz pode ser classificada entre estática, dinâmica e híbrida. A estática é definida no refinamento do agente e a dinâmica, a cada passo pelo Agente Móvel o qual analisa os nós vizinhos e escolhe o adequado para as regras e necessidades definidas pelas aplicações; e por último a classificação híbrida para rotas. Nesse caso o agente tem uma rota estabelecida, mas pode ser alterada no

percurso. No caso do projeto é utilizado à dinâmica. O Agente Móvel tem conhecimento somente da área em que ele deverá operar. O caminho a ser realizado é definido a cada passo sempre analisando as necessidades da aplicação. E o último componente ilustrado na figura 3.1 é a estrutura *Funcionalidades*, área responsável por definir os processos, que poderão ser executados pelos agentes em cada nó.

### **3.2.4.Comportamento dos Agentes Móveis**

Os comportamentos dos Agentes Móveis representam as tarefas e intenções que um Agente Móvel irá executar na rede. Eles, geralmente, estão interligados e podem ser executados concorrentemente [BEL 06].

Podem ser classificados como [BEL 06]: *One-Shot* cujo Agente Móvel é executado somente uma vez em busca de uma tarefa, ou seja, ele vai à rede, desempenha a tarefa designada entrega os resultados e encerra seu processo. Comportamento também pode ser do tipo *Cíclico*, indicando que o agente recebe uma missão e realiza desse modo.

O último modelo de comportamento é um *Híbrido* que define o Agente Móvel e desempenha uma tarefa até que uma entidade esteja satisfeita com o resultado obtido pelo agente, por exemplo, ele pode executar a operação de coleta de dados até que o incidente de uma área acabe, enquanto isso ele faz a coleta e retorna os dados coletados para o *sink*.

### **3.2.5.ACL – Linguagem de Comunicação entre Agentes**

Agentes, um paradigma de software, desenvolvido para enfatizar a autonomia em tempo de execução, adaptabilidade e cooperação. É uma abordagem interessante quando vemos sistemas heterogêneos e sistemas distribuídos, mas para isso é necessária uma linguagem que permita que os

sistemas e agentes possam interagir enquanto encobrem detalhes de sua execução. Para isso surgiu a ACL (*Agent Communication Languages*). A ACL prevê agente como um meio de intercâmbio de informações e conhecimentos. O que distingue o padrão ACL dos padrões de comunicação como RPC e RMI são complexidades semânticas [LAB 99] [GEN 94].

O modelo ACL é capaz de lidar com regras, propostas e ações em vez de lidar com simples objetos sem valor semântico. As mensagens ACL descrevem um estado desejado, em uma linguagem declarativa, em vez de um processo ou método [GEN 94].

Porém o padrão não determina o que deve ser trocado entre as aplicações, ela permite que o agente possa desempenhar seu papel, compartilharem planos e objetivos a fim de completar suas funções. As mensagens do padrão ACL geralmente declaram desejos, intenções, regras e modelos que os agentes devem cumprir [LAB 99].

Entre as linguagens desenvolvidas estão FIPA-ACL, KQML (Knowledge Query Manipulation Language) e FLBC (*Formal Language for Business Communication*).

O KQML é uma linguagem de comunicação orientada à mensagem e um protocolo definido para trocas de informações de alto nível independente do mecanismo de transporte e do modo que o conteúdo é representado. Um agente pode transmitir mensagens que possam ser compostas por conteúdos de qualquer linguagem [LOS 03].

A FLBC permite estrutura de mensagens mais complexas, se comparadas com outras linguagens definindo um grande número de tipos de mensagens de acordo com as intenções do autor. Essa linguagem é recursiva e permite que as mensagens possam ser embutidas em outra. Desse modo facilita a negociação entre os agentes [MOO 99].

FIPA-ACL é praticamente uma simplificação do KQML com o objetivo de realizar operações mais simples e com maior organização.

### **3.3. Protocolos baseados em Agentes Móveis para RSSF**

Os avanços tecnológicos das redes sensores proporcionam melhores equipamentos e cada vez mais baratos e menores para uso em aplicações de monitoramento militar ou civil. Um grande número de sensores é distribuído pelo ambiente para que a quantidade influencie na qualidade do monitoramento. Porém a quantidade não garante a qualidade do dado da região monitorada, já que os sensores são passíveis de problemas como danos ao dispositivo, falta de vizinhos para comunicação, áreas sem cobertura e até falta de energia, ou seja, a rede necessita que a solução consiga diminuir os efeitos desses problemas. Além da falta de cobertura, outros desafios são conhecidos como o grande volume de dados trafegando pela rede, o ambiente em que essa rede está embutida geralmente não é confiável, entre outros.

Uma das soluções encontradas para diminuir a interferência desses problemas na qualidade do monitoramento é o uso de Agentes Móveis nas RSSFs para realizar a coleta de dados tentando preservar a rede e ainda garantir uma melhor qualidade de serviço.

As seções a seguir apresentam protocolos que estão sendo utilizados, fazendo um paralelo com a solução desse trabalho.

#### **3.3.1. *Agilla***

*Agilla* é um *middleware* que visa facilitar a adaptação e comunicação dos Agentes Móveis na rede. Com isso o usuário teria a facilidade de criar e inserir seu Agente Móvel permitindo que os agentes migrem entre os nós sensores e utilizem os componentes que o *middleware* oferece para os Agentes Móveis para que executem suas tarefas [FOK 05].

Esse código móvel tem a capacidade de transformar a RSSF em uma entidade autônoma permitindo usufruir de todo seu potencial.

As aplicações baseadas no *Agilla* consistem em Agentes Móveis capazes de moverem-se e clonarem-se para realizar o objetivo incumbido a eles. O modelo *Agilla* é capaz de suportar múltiplos agentes em cada nó, tanto agentes estáticos (agentes que não têm capacidade de migração), quanto os Agentes Móveis e ainda manter e compartilhar de uma *tuple space* e da tabela de vizinhos [FOK 05a]. A *tuple space* é o local onde os agentes mantêm seus dados compartilhados com os agentes de outros nós sensores. O *Agilla* oferece instruções que permitem o acesso remoto das *tuple space*, enquanto que a tabela de vizinhos armazena os endereços dos vizinhos de um salto.

O *Agilla* permite que os Agentes Móveis carreguem seu código, estado e dados para o novo nó, mas não podem carregar a *tuple space*. A figura 3.2 exibe uma ilustração do modelo do *middleware Agilla*.

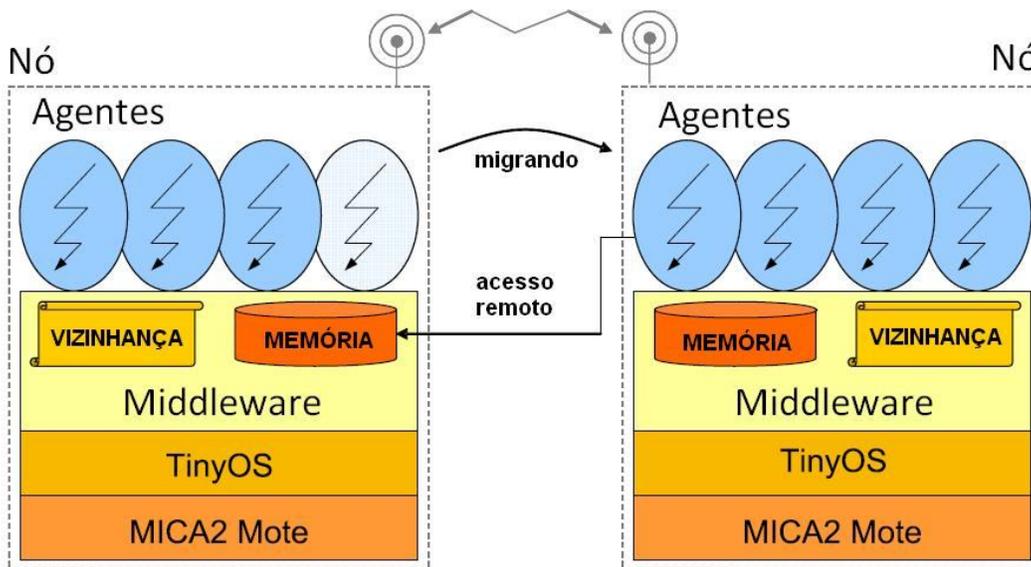


Figura 3.2. Ilustração do Modelo *Agilla* Adotado de [FOK 05a P 3]

O *middleware Agilla* oferece suporte e autonomia para inúmeros Agentes Móveis com funções e tarefas distintas em um mesmo sensor, como

ocorre no modelo utilizado para exemplificar o uso do *Agilla* em [FOK 05a] que descreve que existem três tipos de agentes, cada um com uma tarefa diferente. Um modelo de Agente Móvel é responsável pela detecção de intruso, quando algo estranho ao ambiente é detectado na rede os agentes se multiplicam e cercam esse intruso até que seja banido da rede. Outro Agente Móvel descrito por [FOK 05a] é capaz de rastrear o fogo detectado e determinar o perímetro do incidente dentro da rede e ficar monitorando em caso de expansão. E o último comportamento definido nos agentes é responsável por encaminhar um dado da rede para o *sink*, seja esse uma informação de violação do ambiente, um possível incidente ou até mesmo uma informação de etiqueta RFID.

O *Agilla* assume que cada nó conhece sua posição física, não importando como essa localização foi gerada, se é através de GPS ou por outras técnicas [FOK 05]. Além de permitir a descoberta dos vizinhos de um salto através de beacons e essa informação é armazenada na tabela de vizinhos.

A ideia inicial do *Agilla* é que a rede fosse criada sem uma aplicação pré-instalada e que os agentes pudessem ser inseridos na mesma para atender qualquer necessidade. O *Agilla* permite que os agentes migrem para outros sensores. Desse modo ele carrega todo seu código e estado para o novo sensor, chegando ao novo nó, o estado dele é restaurado e assim prosseguirá na execução. Além da migração, o *Agilla* permite que o agente seja clonado, dessa maneira um novo agente é criado e independente do agente criador ele poderá agir analisando suas necessidades em nós distintos.

### **3.3.1.1. Tuple Space**

A *tuple space* é um espaço que desempenha um papel de memória para o dispositivo que possibilita compartilhar diversos tipos de dados como inteiros, strings, localizações, endereços de sensores e até a leitura de um sensor. O acesso aos dados presentes nas *tuple space* é feito via

templates. Para extrair uma informação dele o agente deve fornecer um template que corresponde ao tipo de dado requisitado.

A *tuple space* proporciona um alto nível de dissociação que garante a cada agente permanecer de maneira autônoma e ainda fornece um modo para que ele consiga descobrir quais tipos de serviços e informações aquele nó é capaz de fornecer. Por exemplo, uma vez que cada nó pode ter diferentes sensores, o *Agilla* permite que seja indicado na *tuple* e quais os tipos de sensores estão conectados com aquele nó. Se ele possuísse um sensor de temperatura, seria armazenada na *tuple* uma posição que indicaria que ele seria fornecedor de temperatura. Desse modo facilita a descoberta de serviços por agentes em outros sensores [FOK 05] [FOK 05a].

### **3.3.2. Mobile-Agent based WSN (MAWSN)**

Outro protocolo que utiliza Agentes Móveis é o MAWSN [CHE 06] que faz uso para realizar a coleta de dados da RSSF a fim de evitar o grande número de comunicações do modelo tradicional, já que pregam que processar um conjunto de instruções é menos custoso energeticamente que transmitir uma mensagem para um vizinho [QI 01] [CHE 06].

O Agente Móvel do MAWSN é definido no *sink* e assim que é inserido na rede ele já tem conhecimento de quais os nós sensores alvos e qual a rota que deverá ser seguida para realizar a coleta dos dados, tudo é definido no *sink*. Para que isso ocorra o *sink* deve conhecer toda a rede, ou seja, o *sink* é o responsável pela identificação dos sensores e assim pelo controle dos mesmos. Quando um novo nó for adicionado na rede será necessária uma varredura e o *sink* deverá adicionar esse em sua lista de sensores.

Apesar da utilização de Agentes Móveis, a solução não permite um alto nível de autonomia a esses agentes, já que seguem a rota estipulada pelo *sink* e depois executam o que o *sink* determina.

### **3.3.3. Trajectory and Energy-Based Data Dissemination (TEDD)**

A principal ideia por trás do TEDD é que eles utilizem conceitos do *Trajectory Based Forwarding* (TBF) com as informações de um mapa de energia para determinar qual rota utilizar para transportar o dado [MAC 05].

TEDD é formado por duas partes: - A primeira delas é um algoritmo que gera as possíveis rotas visando os nós de maior potencial energético, assim escolhendo sensores que sejam mais aptos a disseminar a informação pela rede, evitando o fluxo de dados por regiões de menor energia - A segunda parte do algoritmo é que o pacote encaminhado utiliza o modo baseado no receptor. Essa característica elimina a necessidade de uma tabela de vizinhos apresentando maior confiabilidade em topologias dinâmicas.

O TEDD estende os princípios do TBF incorporando o uso do mapa de energia, operando no modo baseado no receptor para disseminar os dados, ou seja, cada nó que recebe o pacote decide se vai ou não repassá-lo para frente. A decisão para retransmitir o pacote não é baseada em localização geográfica ou nas informações do mesmo, mas sim, quando o recebe, aguarda-o um tempo, técnica conhecida como *forwarding delay*, e verifica se algum vizinho já o retransmitiu. Caso nenhum deles tenha retransmitido, ele mesmo o fará. A principal técnica desse protocolo é o intervalo de espera, que é definido pela distância entre o nó com o pacote até um ponto de referência [MAC 05].

O TEDD não utiliza Agentes Móveis para a escolha do melhor caminho a fim de preservar a rede e os sensores, esse protocolo monta um mapa de energia que identifica quais os sensores e regiões aptas para que o dado seja disseminado, sendo que a trajetória desse dado já é pré-calculada e estabelecida por uma entidade.

### 3.4. Considerações Finais

Nesse capítulo foi apresentado o conceito de redes autonômicas, suas características e vantagens.

O conceito de redes autonômicas pode suprir algumas das principais restrições relacionadas às RSSFs, como a baixa capacidade energética dos nós que com o uso de Agentes Móveis efetuam o tráfego dos dados, e assim, nós com baixo potencial energético podem ser preservados. Através do uso de Agentes Móveis nas soluções de roteamento algumas características autonômicas podem ser adicionadas a RSSF como a capacidade das necessidades da aplicação interferir no desempenho desse agente na rede através do conjunto de regras criado. Eles são capazes de adaptar-se ao meio e ainda preservar a rede através da escolha das rotas. Os Agentes Móveis podem identificar os nós com problemas e informar ao *sink* de tais defeitos.

Com o uso dos mesmos elimina-se a necessidade de todos os nós sensores serem identificados por uma unidade central, assim que todos os sensores enviarem seus dados para o *sink* através de uma rota fixa. O agente determina sua rota a cada passo, ou seja, quando migra entre os nós sensores, ele verifica qual deles está mais adequado para ser o próximo na rota.

Mediante suas características descritas nesse capítulo e mostrando ser uma alternativa para protocolos de roteamento a RSSF foi criado um novo protocolo alternativo para suprir algumas restrições da rede e assim garantir a qualidade de serviço da mesma durante toda fase de monitoramento. O projeto e avaliação desse protocolo serão apresentados no próximo capítulo 5. E a seguir serão descritos como as técnicas de fusões poderão auxiliar no desempenho dos Agentes Móveis a reduzir a quantidade de dados da rede.

## **4. Agregação de Dados em RSSF**

A ideia principal da agregação de dados é reduzir o grande volume de dados provenientes do monitoramento de um ambiente através de RSSF [HAL 01] [WU 06]. O conceito de agregação não se resume simplesmente ao fato de unir todos os dados, mas sim à capacidade de eliminar as redundâncias, filtrar os ruídos, e até realizar predições e inferências sobre o monitoramento [HAL 01] [KLE 99] [FAZ 07]. Segundo Half e Linnas [HAL 01], agregação é a combinação de dados provenientes de múltiplos sensores - as informações são relacionadas gerando uma base de dados associados com precisão aprimorada e informações mais precisas do que a informação obtida de um sensor solitário. Segundo Wald [WAL 99], na agregação, dados originados de diferentes sensores são unidos para obter uma informação qualificada, dependendo da aplicação envolvida. Informações originadas do mesmo sensor em tempos diferentes são consideradas de fontes distintas [HAL 01] [KLE 99].

### **4.1. Justificativas para agregação de dados**

Os principais motivos para se realizar a agregação de dados em RSSF incluem: unir os dados de diferentes sensores, já que podem existir sensores responsáveis pela mesma área, e os dados podem ser redundantes, ou ainda, os dados podem sofrer variações de tal forma que uma média calculada possa gerar um valor mais significativo referente à área de observação; reduzir a quantidade de dados pode evitar os dados duplicados e ruídos; a agregação também consegue reduzir a imprecisão dos dados devido às falhas existentes nas RSSFs como destruição por fogo, animais, humanos, falta de energia e outros fatores que restringem o uso de sensores como problemas temporais e espaciais. Quanto à limitação temporal pode ser citada duração da energia e intervalos de ociosidade e a espacial se restringe à área

de cobertura do sensor ou leitora RFID. Esses efeitos podem afetar a qualidade da informação, já que muitos dados podem se perder no caminho ou serem utilizados de modo inadequado.

Para superar as limitações das RSSF três tipos de agregação serão discutidos na seção 4.2.1 que são classificadas entre: agregação por *redundância*, *complemento* e *cooperação*. Esses tipos de agregação são ilustrados na Figura 4.1.

## **4.2. Classificação dos tipos de Agregação**

Nesta seção serão discutidos os diferentes tipos de agregação de dados em RSSF, a saber [HAL 01] [WAL 99] [KLE 99] [NAK 07].

### **4.2.1. Agregação Baseada na relação entre as fontes**

A agregação nessa seção é classificada de acordo com as relações existentes entre os nós, fontes de dados de cada área. Pode ser classificada em:

- Agregação por cooperação - Uma região pode ser completamente monitorada por sensores. Cada um coopera, monitorando uma parte da região – a agregação de dados de todas as partes da região fornecerá uma visão completa da mesma;
- Agregação por redundância - A região sendo monitorado por inúmeros sensores pode apresentar uma precisão mais apurada do ambiente monitorado – a agregação de dados dos sensores dessa região pode estimar corretamente o que está ocorrendo e assim, dados de sensores com defeitos e mal calibrados têm pouco efeito na visão geral;

- Agregação por complemento - Os inúmeros sensores que monitoram o ambiente podem apresentar sensores com focos diferentes de observação (sensor de temperatura, pressão, velocidade e outros), assim cada tipo de dado observado consegue retratar o que ocorre em uma região – essa agregação combina esses dados complementares gerando uma informação mais precisa sobre o incidente, algo que não é possível com somente um tipo de sensor;

A figura 4.1 ilustra os três modelos de agregação descrito nessa seção e como as fontes de dados se relacionam para gerar um novo dado.

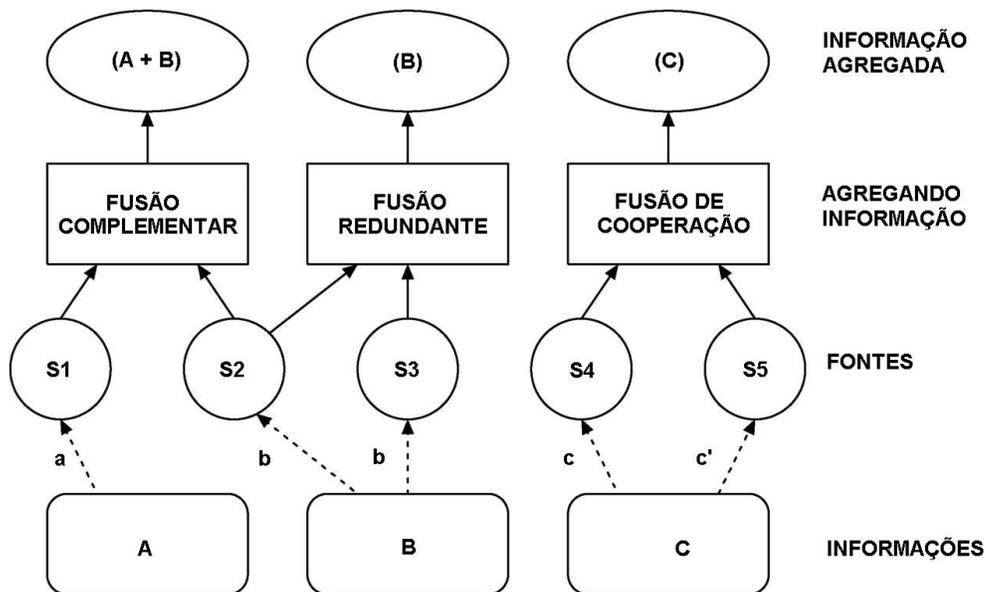


Figura 4.1. Tipos de fusões de dados corrigindo falhas. Retirado de [NAK 07].

#### 4.2.2. Agregação Baseada em nível de abstração

A agregação de dados de múltiplos sensores pode tomar níveis diferentes de representação. E Luo em [LUO 02] utiliza de quatro níveis de abstração para classificar a agregação de dados. São eles: *signal*, *pixel*, *características* e *símbolos* que serão definidos abaixo.

- Sinal - trata dos sinais simples ou multidimensionais dos sensores;
- Pixel - opera em imagens e pode ser usado para enriquecer tarefas de processamento de imagem;
- Características - trata dos atributos extraídos de sinais e imagens como forma e velocidade;
- Símbolo - representa o conjunto de informações utilizado para combater um incidente detectado, ou seja, essa representação indica quais as ações foram utilizadas para controlar o incidente.

Tipicamente a fusão de características e símbolos é utilizada em tarefas de reconhecimento de objetos. De tal modo, uma classificação apresenta algumas desvantagens e não é satisfatória para todas as aplicações. Primeiros sinais e imagens normalmente são dados brutos e provenientes dos sensores, assim eles podem ser classificados na mesma classe. Posteriormente, os dados brutos nem sempre são capturados dos sensores, mas podem ser obtidos de bases de dados ou interferência humana. E por último é sugerido que a fusão não é perfeita em todos os níveis. Sendo separada em três níveis de abstração de dados: medida, características e decisão de acordo com [DAS 97] [IYE 01] [NAK 07] [WU 06].

A fusão de informação no nível de abstração considera três níveis de dados abstratos: média, característica e decisão. De acordo com o nível de abstração, o dado fundido poderá pertencer a quatro categorias:

- Baixo Nível - refere-se aos sinais. Nesse nível a agregação ocorre entre dados brutos resultando em uma informação mais precisa sobre o evento observado;
- Nível médio - trata com os atributos e características do evento observado, os quais, quando fundidos, tornam-se possível obter um mapa de características que poderá ser utilizado em outras tarefas;
- Alto Nível - nível que agrega símbolos ou decisões. Nesse nível ocorre a agregação entre duas decisões, ou seja, através de alguma base de dados conseguem analisar duas decisões e assim unindo os

pontos positivos de cada uma gerar uma terceira mais apurada e confiável;

- Múltiplos Níveis - ocorre quando a fusão é entre níveis diferentes.

### **4.3. Modelo de agregação**

Nesta seção serão detalhados os modelos e respectivas características, utilizados para a agregação de dados em RSSF. A saber modelo baseado na informação e atividade.

#### **4.3.1. Modelo baseado na informação**

Nos últimos anos técnicas de agregação de dados que eram simples tornou-se uma área emergente de engenharia com uma terminologia padrão. Com a intenção de aprimorar as comunicações entre os cientistas militares, cientistas acadêmicos e desenvolvedores de sistema, a U.S. JDL (*Joint Director of Laboratories*) criou um grupo para elaborar uma arquitetura genérica de fusão de dados em 1972 [RAH 01].

Assim surgiu o modelo JDL, que é uma arquitetura de agregação de dados que identifica e classifica processos, funções e técnicas aplicáveis a fusão de dados. No desenvolvimento, esse modelo tem o objetivo de ser genérico o suficiente para a utilização em múltiplas áreas e aplicações [KES 92]. O modelo é composto por cinco níveis de processos de agregação e associado a uma base de dados e barramento que conecta todos os níveis de agregação. Na Figura 4.2 é ilustrado o modelo JDL, exibindo os níveis de agregação existentes em seu modelo e como eles se relacionam com outras entidades.

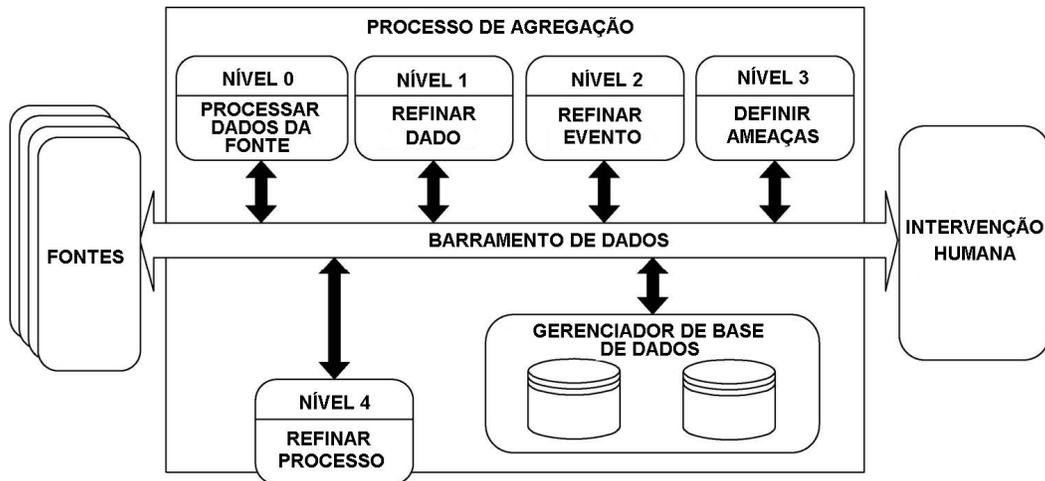


Figura 4.2. Modelo JDL exemplificando o modelo baseado em informação. Adaptado de [HAL 01].

Nesse modelo as fontes de dados fornecem os dados brutos capturados pelos sensores que irão passar pelo processo de fusão e que ainda pode sofrer interferência humana com a entrada de algum novo dado. No processo de fusão, os dados são refinados, transformando-se em um dado consistente no Nível um da Figura 4.2. Posteriormente, o dado passa pelo Nível 2 para adquirir uma relação contextual entre dado observado e a ocorrência do evento. No Nível 3, o processo de fusão será capaz de identificar um possível evento que ameace a integridade do ambiente. Nessa fase o sistema e suas aplicações são capazes de tomar algumas ações preventivas caso o evento necessite de intervenção para assegurar a preservação e manutenção do ambiente e seus objetos, tais como: combate ao incêndio através de atuadores, alerta de evacuação da área, e outros. Esta fase exige um nível computacional alto e complexo, pois permite a interpretação de possíveis ameaças. Já no Nível 4 da Figura 4.2, ocorre o monitoramento do desempenho de todo o processo de agregação, caso seja necessário requisitar novas fontes para obter mais dados sobre o evento.

### 4.3.2. Modelo Baseado na Atividade

O modelo baseado na atividade é um modelo cíclico composto por quatro fases como mostra a Figura 4.3. De acordo com [NAK 07] [HAL 01] esse modelo é baseado em mecanismo de decisão, porém é fortemente acoplado ao mecanismo de fusão de dados. Os estágios do modelo baseado em atividades são:

- Observação: fase responsável por armazenar os dados dos nós;
- Orientação: as informações capturadas são fundidas para obter uma interpretação da situação atual do ambiente;
- Decisão: especifica um plano de ação em resposta a situação;
- Ação: estágio em que o plano é executado.

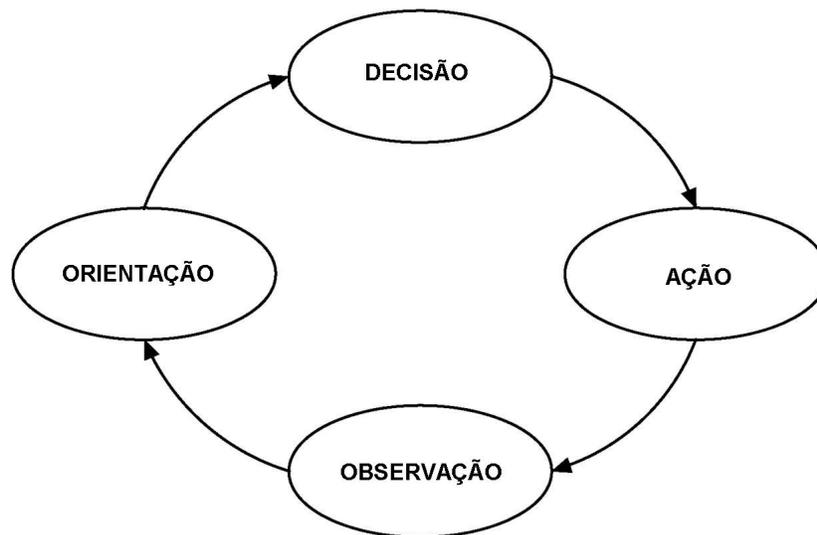


Figura 4.3. Diagramas exemplificando o modelo de atividade baseado em decisão. Adaptado de [NAK 07].

Todas as fases podem ser observadas na figura 4.3. Após a execução de um plano de ação, é repetido o processo, desde a observação, para verificar se o plano deu resultado, até a ação.

## 4.4. Agregação de Dados na Rede

A agregação de dados que ocorre na rede corresponde ao Nível 0 e 1 do modelo JDL da figura 4.2, ilustrada anteriormente. Esses níveis são responsáveis pelo processamento dos dados brutos e pela capacidade de estimação e discriminação dos mesmos dados.

A discriminação dos dados é responsável por identificar se o sensor que enviou o dado está operando corretamente, classifica qual o tipo de dado. Assim pode determinar qual abordagem utilizar para trabalhar com esse dado.

Já os níveis 2, 3 e 4 da Figura 4.2, ocorrem em dispositivos com maior potencial de processamento já que são técnicas capazes de determinar qual a situação e os riscos que determinado fenômeno causa no ambiente. Portanto o nível 0 e 1 serão utilizados no protocolo cujo Agente Móvel realiza a coleta de dados de nó em nó e assim ele realiza a fusão dos dados na rede [KLE 99].

No protocolo descrito dessa tese cada nó existe um agente estático instalado responsável por realizar um processamento nos dados coletados pelos sensores acoplados no dispositivo, ou seja, enquanto um valor anormal para aquela região não é detectado o agente estático agrega esse dado aos anteriores e não repassa essa informação para as aplicações de monitoramento, pois não significa ameaça ao ambiente. Desse modo a grande quantidade de tráfego de dados, que seria gerada pelos sensores, é eliminada já que partes dos dados são filtrados. Assim ocorre um pré-processamento onde os dados sem valor para a aplicação são eliminados.

Na rede a fusão ocorre através dos Agentes Móveis que possuem em seu código técnicas de fusão de dado. Os agentes são os responsáveis por coletar os dados dos nós de uma determinada área em que algum fenômeno está ocorrendo, desse modo, ao passar de nó em nó o agente realiza a leitura

do dado daquele sensor e através da técnica de fusão implantada em seu código o mesmo agrega os dados lidos dos nós anteriores com o dado atual, assim ele vai criando uma imagem real do fenômeno.

Já os níveis dois e três são os responsáveis por realizarem a interpretação dos dados coletados da rede pelos Agentes Móveis e assim tentarem estabelecer o contexto real do evento e quais são os possíveis riscos e ações que devem ser tomadas para prevenir danos maiores.

As próximas seções introduzirão as classificações das técnicas de fusão realizada no nível um e quais os tipos de abordagem em cada uma das classificações.

#### **4.4.1. Modelo Físico**

As técnicas classificadas como modelo físico são capazes de estimar, classificar as propriedades dos dados observados e identificar quais os objetos relacionados ao dado. Dentre os métodos temos simulação, estimação e método sintático [KLE 99] [NAK 07].

#### **4.4.2. Técnicas de Inferência Baseada em Características**

As técnicas de inferência baseada nas características efetuam a classificação e identificação através de um mapa de dados, como um conhecimento estatístico sobre o dado observado. Dentre as técnicas presentes nesse modelo apresentam-se Inferência Bayesiana, Dempster-Shafer, Mecanismo de votação, Algoritmos de clusters, Redes neurais e outras [KLE 99] [NAK 07].

## **4.5. Considerações Finais**

Nesse capítulo foram apresentados conceitos sobre agregação de dados. Exibiram-se quais as principais características que justificam seu uso no projeto dessa tese apresentando técnicas capazes de incrementar a precisão das informações sobre um determinado evento monitorado.

Esse capítulo descreve o último conceito que será aplicado no projeto da tese, fechando assim as bases teóricas para o desenvolvimento do protocolo. A agregação apresenta características úteis ao protocolo tanto para diminuir a quantidade de dados coletados na rede reduzindo assim o consumo de energia e aumentando a longevidade da rede.

## **5. Projeto de Protocolo para Roteamento de Dados em RSSF utilizando Agentes Móveis**

Com os atuais desenvolvimentos nas áreas de comunicação sem fio e sensores multifuncionais com capacidade de comunicação e processamento, as Redes de Sensores Sem Fio têm sido utilizadas de forma crescente em inúmeras aplicações [PIN 04] [AKY 02]. Uma área de aplicação em potencial das RSSF é a de monitoramento de ambientes físicos sujeitos às situações de emergência, tais como plantas industriais, aeroportos, plataformas petrolíferas, usinas nucleares etc. Tipicamente, os sistemas atuais de monitoramento de segurança que utilizam RSSFs não apresentam a precisão necessária para a observação de eventos de emergência. Assim, não há como saber exatamente onde, como e por que algumas situações de emergência ocorreram.

Nesses sistemas, o nível de confiabilidade dos dados é de extrema importância, principalmente quando ocorrem situações de emergência que podem envolver risco à vida e ao patrimônio. Por conseguinte, é importante que incidentes possam ser monitorados de maneira precisa durante todo um evento. Claramente, o fluxo de informações dos sensores, nesses ambientes, deve alimentar um sistema de monitoramento contínuo durante a ocorrência de um evento. Além disso, os dados coletados do monitoramento da duração total do incidente podem ser utilizados para investigação futura e prevenção ao revelar a fonte do problema. Pode também ajudar a equipe de salvamento no âmbito da ação de gestão e na tomada de decisão. Porém as RSSF apresentam limitações de recursos, tais como: comunicação, processamento, energia e memória limitadas, que geram grandes desafios para os projetistas de soluções para essas redes e protocolos de roteamento e aplicações.

Devido à importância da informação para essas aplicações é necessário soluções para evitar que as limitações das redes de sensores (tais como falta de energia nos sensores, grande quantidade de tráfego na rede

ocasionando perda de pacotes, sensores destruídos, áreas sem cobertura, imprecisão na calibração dos sensores, entre outros) impactem no monitoramento do evento observado. Assim sendo, são necessárias soluções que minimizem os efeitos dessas limitações e possam garantir a qualidade do serviço. Algumas soluções tentam minimizar a quantidade de dados que trafega pela rede e por conseqüência amenizar o consumo de energia dos dispositivos, outras soluções pregam a necessidade de rotas confiáveis que possam garantir a entrega da informação, entre outras soluções.

Neste capítulo é descrito um protocolo que utiliza o paradigma de Agentes Móveis para realizar a coleta, agregação e escoamento dos dados e ainda conferir características autonômicas as RSSF. Esses agentes têm como princípio a adaptação de suas estruturas e comportamentos para garantir a qualidade de serviço que atende as necessidades da aplicação. Técnicas de computação autonômica foram avaliadas que garantem um nível de autonomia à rede que passa a atuar sem a interferência humana. Agentes Móveis são utilizados para garantir QoS por meio de configurações de seus comportamentos que podem variar de diferentes técnicas de agregação de dados até técnicas de seleção de rotas, que melhor atendam as necessidades da aplicação.

Este projeto é parte de projeto maior, sendo desenvolvido no Laboratório de Realidade Virtual em Rede (LRVNet) e financiado pela FAPESP/CNPq (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Sistemas Embarcados Críticos – INCT-SEC) que integra veículos não tripulados terrestres e aéreos para o monitoramento de infra estruturas críticas.

Este capítulo apresenta uma breve descrição do projeto do LRVNet, seguido da introdução do protocolo de roteamento desenvolvido, suas principais fases, tipos de mensagens criadas, cenário de simulação, e resultados obtidos.

## 5.1. Visão Geral do Projeto do LRVNet

O objetivo deste projeto é desenvolver soluções integradas que superam as limitações de sistemas de monitoramento existentes, utilizando Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) integrados a Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e Identificação por Rádio Freqüência (RFIDs), que são implantadas em ambientes físicos a serem monitorados. Os ambientes virtuais colaborativos gerados são utilizados também para simulações de treinamento de especialistas na área de segurança [ARA 08].

A integração dessas tecnologias promove uma interface natural que facilita a compreensão mais imediata e precisa do que está ocorrendo no mundo real. Nas soluções sendo desenvolvidas, informações são obtidas do mundo real, interpretadas, armazenadas e visualizadas, em tempo-real e a posteriori (sistema de gravação/reprodução), através de um ambiente de visualização que integra interfaces 3D (modelo em 3D do ambiente físico), 2D, gráficos, vídeos, imagens, texto etc.

O protocolo de roteamento descrito nesta dissertação é parte deste projeto maior do LRVNet. O protocolo em questão é responsável por coletar, agregar e escoar os dados dos nós sensores, através do uso de Agentes Móveis, até um nó sorvedouro (*sink*) onde é executado um *middleware* (MidSensorNet [ARA 08]) em que um dos serviços é o de Gerenciador de Agentes. As principais tarefas do Gerenciador de Agentes incluem: coordenar e gerenciar o ciclo de vida dos agentes, criar e destruir Agentes Móveis, serviço de autenticação de agentes, manterem as guias de endereços e a manutenção do diretório de agentes atualizadas. A figura 5.1 ilustra a arquitetura geral do MidSensorNet.

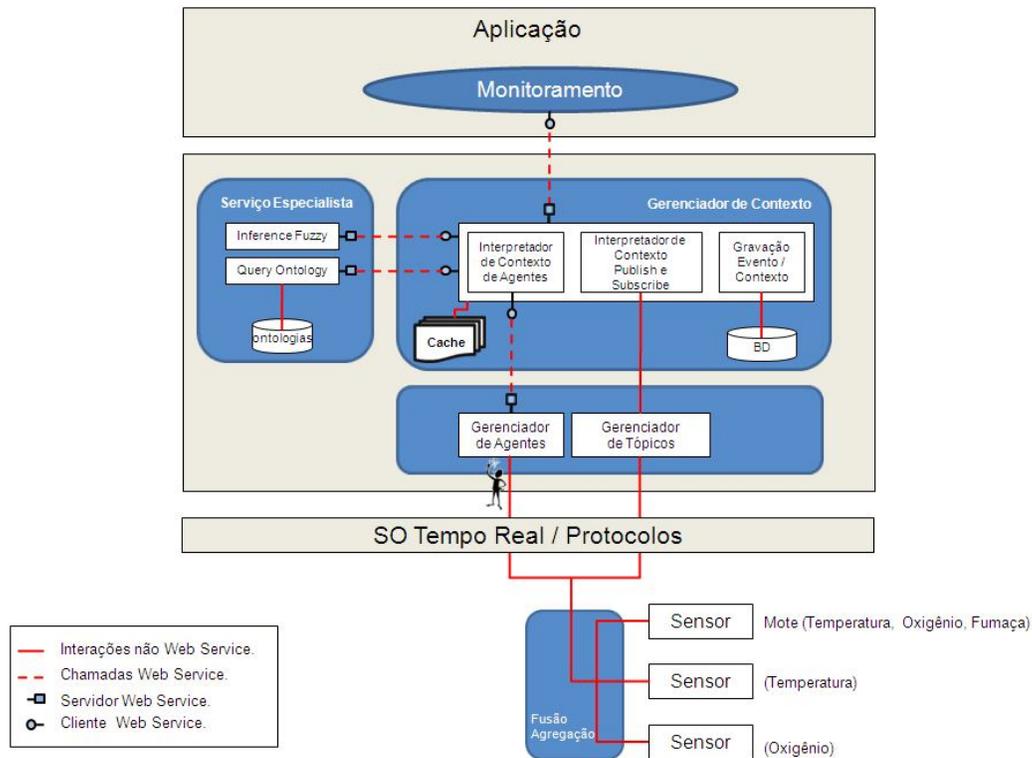


Figura 5.1. Arquitetura geral do MidSensorNet, com evidência os Agentes Móveis.

Uma vez “moldado” pelo serviço de gerenciador de agentes o agente, de acordo com as necessidades da aplicação, é lançado na RSSF para a coleta, agregação e escoamento dos dados. As seções a seguir descrevem as etapas de funcionamento do protocolo.

## 5.2. Descrição do Protocolo QoS-MA (*Quality of Service - Mobile Agent*)

O QoS-MA é um protocolo para Redes de Sensores Sem Fio que visa coletar, agregar e escoar dados de uma RSSF que alimentam um sistema de monitoramento de segurança crítica. O protocolo QoS-MA utiliza do conceito de Agentes Móveis que são programados para operar em áreas onde pode estar ocorrendo algum incidente. Todo ambiente é monitorado pelos nós

sensores e o conjunto de dados desses sensores retrata o que ocorre no ambiente físico.

Em cada nó sensor é instalado um Agente Estático, cujo conceito é o mesmo do Agente Móvel, porém sem a habilidade de migrar entre os nós. O agente estático em um nó é responsável por tomar os dados que os sensores daquele nó capturaram do ambiente e verificar se os dados estão dentro dos padrões considerados de normalidade (por exemplo, temperatura é menor que 25 graus, não há presença de fumaça, etc). Se os dados são considerados normais, uma primeira fase de fusão é executada para cada tipo de valor de sensor. Caso os valores estejam fora do padrão de normalidade para a região onde estão os sensores, o agente fixo prepara e envia uma mensagem de notificação para os nós vizinhos que indica que aquele nó está com problema e que o *sink* deve ser avisado, isto é, a mensagem de notificação deve ser encaminhada para o *sink*. O *sink*, ao receber essas mensagens, define um Agente Móvel no Serviço Gerenciador de Agentes esse agente definido deverá atuar na região informada pelas mensagens de notificação.

O protocolo é dividido em cinco fases, a seguir é dada uma breve descrição sobre cada uma delas:

- Fase 1: determinação de localização de cada sensor embarcado na rede;
- Fase 2: verificação de incidente e notificação. O agente fixo em cada nó toma os valores lidos por sensores do nó e verifica se valores estão dentro de padrão de normalidade. Se sim, valores de mesmo tipo são fundidos. Caso os valores estejam fora do padrão de normalidade, o agente fixo inicia a fase 3 que notifica o *sink* sobre o problema;
- Fase 3: notificação do *sink* sobre anormalidade detectada em nó (identificação dos sensores que detectaram o evento, notificação do *sink* e identificação de área a ser monitorada);

- Fase 4: determinação de identificação dos nós por meio de endereçamento dinâmico (o conceito de *Endereço Dinâmico* é descrito no item 5.2.2);
- Fase 5: execução do Agente Móvel na rede (conjunto de tarefas executadas nos nós sensores).

As próximas seções apresentam com detalhes as estruturas das mensagens trocadas na rede e as fases do protocolo QoS-MA.

### 5.2.1. Estrutura das Mensagens Utilizadas

A estrutura que gera o conjunto de mensagens utilizadas como parte do protocolo desenvolvido é mostrada na Figura 5.2.

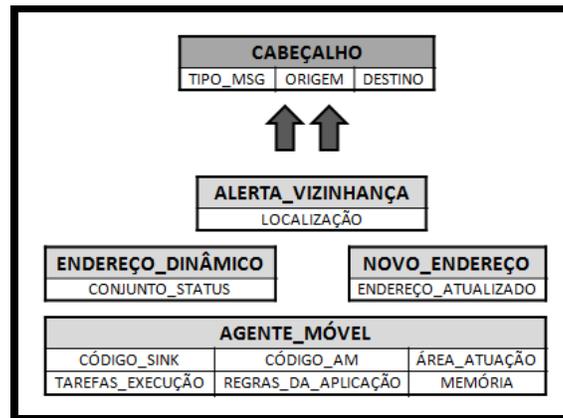


Figura 5.2. Estruturas de mensagens utilizadas pelo protocolo QoS-MA.

As estruturas que compõem as mensagens do protocolo QoS-MA são descritas a seguir:

- **CABEÇALHO:** é a estrutura principal e deve estar presente em todas as mensagens trocadas na rede. O atributo TIPO\_MSG é responsável por identificar qual o tipo de informação contida no corpo da mensagem. O

campo DESTINO informa qual nó sensor deve processar a mensagem e por último o campo ORIGEM indica qual emitiu a mensagem na rede;

- ALERTA\_VIZINHANÇA: quando unida com a estrutura CABEÇALHO criam as mensagens ALERTA\_VIZINHANÇA e ALERTA\_SINK. Para diferenciar essas duas mensagens o campo TIPO\_MSG sinaliza qual é o tipo de conteúdo da mensagem. Essa estrutura possui o campo LOCALIZAÇÃO que é preenchido pela localização do nó que enviou a mensagem. A mensagem ALERTA\_VIZINHANÇA é responsável por informar os nós vizinhos que algum nó identificou um incidente. Já a mensagem ALERTA\_SINK é utilizada quando um nó recebe a mensagem ALERTA\_VIZINHANÇA de um vizinho, porém o nó que acaba de receber a mensagem não detectando nenhuma anormalidade em suas últimas leituras, desse modo ele transfere a mensagem diretamente para o *sink* e o tipo ALERTA\_SINK faz com que essa mensagem não seja alterada;
- ENDEREÇO\_DINÂMICO: essa mais a inclusão da estrutura CABEÇALHO na mensagem geram a mensagem ENDEREÇO\_DINÂMICO. Essa estrutura apresenta o atributo CONJUNTO\_STATUS que é formado por uma string indicando quais os atributos e características do nó devem formar a identificação dinâmica de cada um dos nós. A mensagem ENDEREÇO\_DINÂMICO é utilizada na construção das tabelas de vizinhos dos nós da rede. Quando um recebe a mensagem ENDEREÇO\_DINÂMICO ele armazena na tabela de vizinhança o endereço contido no campo ORIGEM da estrutura CABEÇALHO, calcula o seu *Endereço Dinâmico* a partir do conjunto de atributos passado pelo campo CONJUNTO\_STATUS e envia uma nova mensagem de ENDEREÇO\_DINÂMICO indicando o seu endereço calculado no campo ORIGEM da estrutura CABEÇALHO, assim seus vizinhos podem identificá-lo e ainda prosseguirem com a identificação de toda a rede;
- NOVO\_ENDEREÇO: a mensagem NOVO\_ENDEREÇO é formada pelas estruturas CABEÇALHO e NOVO\_ENDEREÇO. Ela carrega em seu

corpo o campo ENDEREÇO\_ATUALIZADO e o atual endereço do nó que enviou a mensagem na rede. Essa mensagem é utilizada depois de receber um Agente Móvel e o nó sensor identifica que o endereço utilizado para o agente migrar não representa mais as condições atuais desse nó, ou seja, o endereço que representa esse nó nas tabelas de seus vizinhos está defasado e deve ser atualizado para que não prejudique no desempenho do Agente Móvel. Assim o novo endereço é calculado e inserido no campo ENDEREÇO\_ATUALIZADO, enquanto que o campo ORIGEM do CABEÇALHO indica qual o nó da tabela de vizinhos que deverá ter o endereço atualizado assim a mensagem é propagada para os vizinhos;

- AGENTE\_MÓVEL: é uma representação do Agente Móvel que migra pelos nós coletando e agregando os dados dos nós sensores. Ela é formada pelos campos: CÓDIGO\_AM que é utilizado para identificar o Agente Móvel no Gerenciador de Agente; o campo CÓDIGO\_SINK indica qual *sink* enviou esse agente na rede e para quem ele deverá entregar os resultados da coleta; o campo ÁREA\_ATUAÇÃO indica qual região do ambiente deverá ser monitorada; MEMÓRIA é utilizada para armazenar os dados que a Agente Móvel coleta e agrega durante o percurso; REGRAS\_DA\_APLICAÇÃO influenciam na escolha do próximo nó da rota e por último, TAREFAS\_EXECUÇÃO representam as tarefas que o Agente Móvel deve executar durante sua passagem na rede.

As próximas seções descrevem as fases de execução do protocolo.

### **5.2.2. Definição de *Endereço Dinâmico***

O conceito de *Endereço Dinâmico* é importante em nossa solução, pois elimina a necessidade de uma entidade central (*sink*) controlando

todos os nós da RSSF, o que facilita a inserção de novos nós sensores na rede sem que se afete o desempenho do protocolo.

O *Endereço Dinâmico* consiste na identificação do nó utilizando um conjunto de atributos, status e características do nó sensor [INT 03]. O *Endereço Dinâmico* de um nó, gerado pelo conjunto de seus atributos, é armazenado nas tabelas de seus nós vizinhos mais próximos o que facilita a identificação e análise dos vizinhos pelos Agentes Móveis. O procedimento de identificação dos nós através do *Endereço Dinâmico* é descrito na seção 5.2.6. Como esse processo não necessita que uma entidade central que coordene as identificações dos nós, a remoção de um deles da rede não geraria problemas, já que somente seus vizinhos sabem de sua existência e bastaria uma falha na comunicação entre eles para que a remoção de um nó seja percebida. Da mesma forma, quando da inserção de novos nós na rede, estes enviam uma mensagem aos nós vizinhos com intenção de conhecê-los, seguida de seu *Endereço Dinâmico*.

Além das vantagens mencionadas acima, o *Endereço Dinâmico* do nó pode facilitar na escolha do Agente Móvel para o próximo da rota, já que o endereço pode ser formado pelos atributos, características e status de cada nó sensor (dentro as quais podem ser níveis de energia, confiabilidade do sensor, taxa de entrega de pacotes, tipos dos sensores acoplados (temperatura, pressão, velocidade e outros), tempo de vida, localização, e outros atributos). Esse conjunto de dados influencia na decisão do Agente Móvel entre os vizinhos daquele nó para prosseguir na execução da tarefa.

### **5.2.3.Fase 1: Localização Geográfica dos Sensores**

A fase de localização é importante para o protocolo desenvolvido neste trabalho, para que cada nó conheça sua posição aproximada no ambiente. Essa posição não será utilizada para identificá-lo na rede, mas sim para que o Agente Móvel possa se movimentar durante o seu processo de deslocamento na rede.

A localização de cada nó é enviada na mensagem de notificação de incidente (descrita na seção 5.2.1). Com o conjunto dessas informações, o *sink* é capaz de calcular a possível área onde o incidente se desenvolve e assim enviar um agente para operar nessa região. O Agente Móvel recebe a informação da localização da área em que deverá atuar e com isso ele pode direcionar-se para essa região atendendo ainda as necessidades da aplicação.

#### **5.2.4.Fase 2: Monitoramento do Ambiente**

Os nós sensores distribuídos por todo o ambiente monitoram o ambiente e essa informação é importante para determinar o que está ocorrendo no mesmo. Agentes estáticos são instalados nos nós sensores, que são responsáveis por capturar o dado lido do sensor, comparar com o nível de normalidade para aquela área do ambiente e determinar se o *sink* deve ser notificado ou não.

O nível de normalidade é calibrado de acordo com a área em que o sensor se encontra, já que cada área pode possuir um valor crítico diferente. Durante essa fase de monitoramento o agente estático é responsável por fundir as leituras já realizadas por aquele sensor, como exemplo a temperatura será levada ao *sink* somente em caso de problema e através do Agente Móvel. O algoritmo da figura 5.3 exhibe quais ações são executadas e a ordem dessa execução.

---

**ALGORITMO: FASE DE MONITORAMENTO**

---

1. **INICIO MONITORAMENTO**
  2. **LEITURA\_ATUAL** recebe Leitura do ambiente
  3. **SE** (**LEITURA\_ATUAL** >>> **LEITURA\_ANTERIOR**) **OU** (**LEITURA\_ATUAL** > **NIVEL\_ACEITAÇÃO**)
  4. Criar Mensagem **ALERTA\_VIZINHANÇA**
  5. **CABEÇALHO.ORIGEM** recebe **NÓ.ENDEREÇO\_DINAMICO**
  6. **CABEÇALHO.DESTINO** recebe **TODOS\_VIZINHOS**
  7. **CABEÇALHO.TIPO\_MSG** recebe **ALERTA\_VIZINHANÇA**
  8. **ALERTA\_VIZINHANÇA.LOCALIZAÇÃO** recebe **NÓ.LOCALIZAÇÃO**
  9. Manda **ALERTA\_VIZINHANÇA** broadcast
  10. (Fase de notificação)
  11. FUSÃO DOS DADOS
  12. **SENÃO**
  13. FUSÃO DOS DADOS
  14. MONITORAMENTO
  15. **FIM\_SE**
  16. **FIM MONITORAMENTO**
- 

Figura 5.3. Algoritmo da fase de monitoramento.

### 5.2.5.Fase 3: Notificação de Ocorrência de Incidente

A partir do momento em que o agente estático detectou que o último dado lido pelo sensor pode indicar o início de um incidente, o agente estático deve gerar uma mensagem para alertar o *sink* que um problema foi detectado. A mensagem criada recebe a identificação de **ALERTA\_VIZINHANÇA** e nessa mensagem ele envia a localização desse nó na área, que vai ser utilizado pelo *sink* para calcular a área de evento e assim orientar o Agente Móvel para realizar a coleta dos dados.

O objetivo da mensagem de **ALERTA\_VIZINHANÇA** é avisar o *sink* que um problema foi detectado e o mais importante é que ao passar pelos vizinhos a mensagem pode assinalar em sua tabela de vizinhos, quem detectou problema. E, além disso, estimular os nós vizinhos a detectarem o problema. Em caso afirmativo, o agente estático verifica se ele já enviou uma mensagem de alerta; se sim, ele descarta essa mensagem e ao contrário, cria uma mensagem com a localização dele. Desse modo a área de incidente vai ganhando forma já que os nós mais extremos terão sua localização entregue, e assim a área pode ser determinada com maior precisão.

Se o nó que recebeu a mensagem ALERTA\_VIZINHANÇA não tenha detectado anormalidade na leitura dos dados, o agente estático do nó muda o tipo da mensagem para ALERTA\_SINK (que é uma mensagem que deve ser entregue ao *sink* e não precisa ter nenhum processamento nela) e desse modo o *sink* consegue determinar que a localização contida naquela mensagem pertença a um nó da extremidade da área de evento. O algoritmo da figura 5.4 mostra como ocorre o processo de notificação descrito nessa seção.

---

**ALGORITMO: NOTIFICAÇÃO DE INCIDENTE NA VIZINHANÇA**

---

```

1. RECEBE MENSAGEM
2. SE CABEÇALHO.TIPO_MSG == ALERTA_VIZINHO
3.   SE (LEITURA_ATUAL >>> LEITURA_ANTERIOR) OU (LEITURA_ATUAL > NIVEL_ACEITAÇÃO)
4.     SE NÓ enviou MENSAGEM.TIPO_MSG = ALERTA_VIZINHANÇA
5.       IGNORAR MENSAGEM RECEBIDA
6.     SENÃO
7.       CABEÇALHO.ORIGEM recebe NÓ.ENDEREÇO_DINAMICO
8.       ALERTA_VIZINHANÇA.LOCALIZAÇÃO recebe NÓ.LOCALIZAÇÃO
9.       Manda MENSAGEM ALERTA_VIZINHANÇA broadcast
10.    FIM_SE
11.  SENÃO //se entrar nessa condição é um nó de borda
12.    CABEÇALHO.TIPO_MSG recebe ALERTA_SINK
13.    Manda MENSAGEM ALERTA_SINK broadcast
14.    //quando estiver com TIPO_MSG ALERTA_SINK a mensagem não sofre mais alterações
15.    //é direcionada diretamente para o sink
16.  FIM_SE
17. FIM_SE

```

---

Figura 5.4. Algoritmo de notificação de incidente.

Desse modo o *sink* recebe os dados das localizações e assim consegue identificar qual a área do incidente, já que ele não tem a identificação de nenhum nó presente na rede. E assim, inserir a área aproximada no Agente Móvel para que esse saiba quando executar suas tarefas e se direcionar na rede.

#### **5.2.6.Fase 4: Identificando os Nós e Gerando Tabela de Vizinhança**

Essa fase é importante para o funcionamento do algoritmo, já que o *Endereço Dinâmico* tem grande importância para o funcionamento do protocolo. O *Endereço Dinâmico* será utilizado pelos Agentes Móveis para que esses escolham qual o nó mais adequado para prosseguir na execução da tarefa determinada no *sink*. Este será formado pelo status do nó (confiabilidade, energia, tempo de vida, taxa de entrega, tipo de sensor, entre outras) - o conjunto desses dados facilita a escolha de qual nó é mais apto para o Agente Móvel prosseguir em sua tarefa.

Essa fase tem início quando o primeiro incidente é detectado e precisa ser monitorado para diminuir possíveis danos e assim ser controlado. Como os sensores não possuem nenhuma identificação que auxilia na escolha do mais adequado, o *sink* libera uma mensagem de interesse (ENDEREÇO\_DINÂMICO) na rede que indica quais os campos e status do sensor formarão o conjunto de dados que indicará a identificação de um sensor para os seus vizinhos.

Esse conjunto de status representará o endereço de cada nó sensor da rede e assim cada nó deverá armazenar os endereços dos nós mais próximos em sua Tabela de Vizinhos. Esses endereços armazenados serão utilizados pelos Agentes Móveis para a escolha do nó vizinho mais apto para prosseguir na execução da tarefa.

O primeiro nó que receber a mensagem de interesse (ENDEREÇO\_DINÂMICO) do *sink* calculará e montará sua identificação, enviará uma mensagem para todos os vizinhos com sua identificação e identificará qual o conjunto de status que formarão a identificação dos nós.

Desse modo, os vizinhos desse sensor armazenam o endereço recebido na tabela de vizinhos. Os status são calculados e assim a identificação é gerada e enviada para todos os vizinhos. O processo ocorre até

que todos os sensores da rede estejam identificados. Este processo é mostrado no algoritmo da figura 5.5.

---

**ALGORITMO: ENDEAÇAMENTO DINAMICO DE TODA A REDE**

---

1. RECEBE MENSAGEM
  2. SE CABEÇALHO.TIPO\_MSG == ENDEAÇO\_DINAMICO
  3. SE Ñ (CABEÇALHO.ORIGEM pertence NÓ.TABELA\_VIZINHANÇA)
  4. NÓ.TABELA\_VIZINHANÇA recebe CABEÇALHO.ORIGEM
  5. FIM\_SE
  6. SE NÓ.ENDEAÇO\_DINAMICO é NULO
  7. Calcula NÓ.ENDEAÇO\_DINAMICO com ENDEAÇO\_DINAMICO.CONJUNTO\_STATUS
  8. CABEÇALHO.ORIGEM recebe NÓ.ENDEAÇO\_DINAMICO
  9. CABEÇALHO.TIPO\_MSG recebe ENDEAÇO\_DINAMICO
  10. CABEÇALHO.DESTINO recebe TODOS\_VIZINHOS
  11. ENDEAÇO\_DINAMICO.CONJUNTO\_STATUS recebe CONJUNTO\_STATUS //anterior
  12. Manda MENSAGEM ENDEAÇO\_DINAMICO broadcast
  13. FIM\_SE
  14. FIM\_SE
- 

Figura 5.5. Tratamento do recebimento de *Endereço Dinâmico* do vizinho.

A principal funcionalidade do *Endereço Dinâmico* para o projeto é que através dele o agente pode escolher uma rota capaz de atender as necessidades da aplicação (como criar a rota mais confiável, a rota mais curta, de maior taxa de entrega etc.). Desse modo o agente pode verificar o status do nó sem ter que perguntar para todos os vizinhos a cada necessidade de salto, ou precisar migrar para um nó e descobrir que está com problemas ou sem energia.

A tabela de vizinhos não será alterada a todo instante para evitar um gasto desnecessário com as trocas de mensagens para essa atualização. Desse modo uma próxima consulta à tabela de vizinhos irá exigir que um agente estático faça uma estimativa de como os nós sensores poderão estar naquele instante. Porém, quando o nó receber o Agente Móvel e verificar que existe grande diferença entre sua condição atual com o status utilizado pelos vizinhos para identificar o nó, o mesmo mandará substituir seu endereço anterior por um mais recente que informe seu status com precisão. A figura 5.7 ilustra a seqüência de passos que serão executados quando um Agente Móvel

chega ao sensor até migrar para outro - um desses passos é verificar se o endereço utilizado pelo vizinho está defasado.

### **5.2.7.Fase 5: Atuação do Agente Móvel na Rede**

A última fase é a de atuação do Agente Móvel atua na rede desempenhando suas funções e principalmente coletando os dados de interesse para informar ao *sink* qual a situação do ambiente.

Após receber todas as mensagens de notificação e ter todos os nós devidamente endereçados e as tabelas de vizinhos nos nós montadas, o *sink* libera o Agente Móvel na rede para que esse execute suas tarefas. Após ser liberado na rede o Agente Móvel deve migrar até a área destinada e como o Agente Móvel só conhece a área de atuação ele determina dinamicamente a rota que o levará até essa área, ou seja, o Agente Móvel define a cada passo qual o próximo sensor adequado para as regras da aplicação e aquele que leva em direção a área do incidente. Esse processo é mostrado na Figura 5.7.

Ao chegar ao primeiro nó da área que detectou o incidente (o Agente Móvel carrega em seu corpo a área (campo *ÁREA\_ATUAÇÃO* figura 5.2) que deverá executar as tarefas de coleta e agregação e identifica o primeiro nó a partir do momento em que um nó pertence à área de incidente e esse apresenta a identificação do problema) ele analisa a tabela de vizinhos do mesmo e através das regras embutidas em seu corpo (campo *REGRAS\_APLICAÇÃO* figura 5.2), verifica qual o nó mais adequado para receber o Agente Móvel e se aproximar da área do evento. Até chegar à área do incidente, o Agente Móvel realiza o mesmo processo, analisa os nós vizinhos do sensor e migra para o mais apto. A Figura 5.6 ilustra a passagem do Agente Móvel pelos nós com a consulta da tabela de vizinhos para escolher o próximo nó.

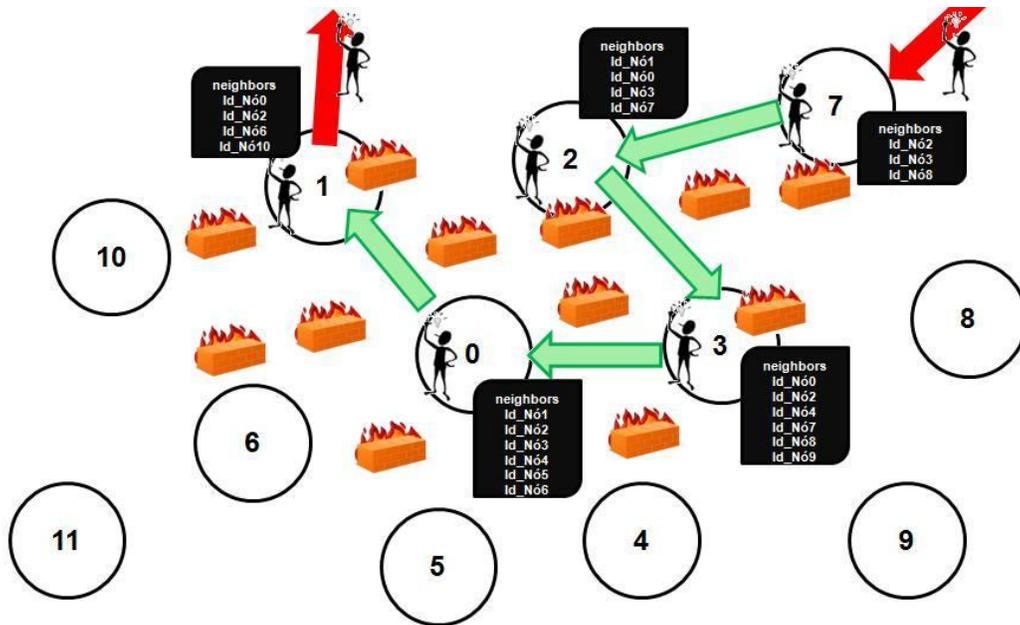


Figura 5.6. Agentes Móveis analisando tabela de vizinhos de cada nó para migrar.

Quando o Agente Móvel percebe que está na área, ele começa a executar as tarefas designadas como coletar os valores e agregar os dados que serão armazenados na tabela de dados do Agente Móvel. Após executar as tarefas ele analisa a tabela de vizinhos e migra para um próximo nó com problema e realizará a agregação dos dados desse novo sensor com os valores já coletados anteriormente. A figura 5.7 mostra quais são as operações do Agente Móvel de maneira resumida e como é feito o deslocamento do Agente Móvel de um nó para outro.

---

**ALGORITMO: AGENTE MÓVEL PERCORRENDO SENSORES PARA MONITORAR INCIDENTE**

---

1. Recebe MENSAGEM
2. SE MENSAGEM é AGENTE\_MÓVEL
3. Calcula ENDEREÇO\_DINAMICO\_NOVO com CONJUNTO\_STATUS
4. SE ENDEREÇO\_DINAMICO\_NOVO >>>> NÓ. ENDERECO\_DINAMICO
5. NÓ. ENDERECO\_DINAMICO recebe ENDEREÇO\_DINAMICO\_NOVO
6. CABEÇALHO. ORIGEM recebe NÓ. ENDEREÇO\_DINAMICO
7. CABEÇALHO. TIPO\_MSG recebe NOVO\_ENDEREÇO
8. CABEÇALHO. DESTINO recebe TODOS\_VIZINHOS
9. NOVO\_ENDEREÇO. ENDEREÇO\_ATUALIZADO recebe ENDEREÇO\_DINAMICO\_NOVO
10. Manda MENSAGEM NOVO\_ENDEREÇO broadcast
11. FIM\_SE
12. SE NÓ. SENTIU\_INCIDENTE é VERDADEIRO
13. AGENTE\_MÓVEL ler NÓ. LEITURA\_ATUAL
14. Realizar FUSÃO\_DADOS (NÓ. LEITURA\_ATUAL com AGENTE\_MÓVEL.DADOS\_AGREGADOS)
15. SE AGENTE\_MÓVEL. QTDE\_NÓS for 0
16. AGENTE\_MÓVEL. OPERAÇÃO recebe VOLTA\_SINK
17. SENÃO
18. AGENTE\_MÓVEL. QTDE\_NÓS –
19. AGENTE\_MÓVEL. OPERAÇÃO recebe CAPTURA\_DADOS\_INCIDENTE
20. FIM\_SE
21. FIM\_SE
22. *//aqui é definido qual o próximo nó que irá receber o agente móvel*
23. *//a escolha vai depender da prioridade da aplicação inserida no corpo do agente*
24. *//e os nós devem atender se é para continuar capturando dado ou voltar para o sink*
25. AGENTE\_MÓVEL analisa (NÓ. TABELA\_VIZINHANÇA, AGENTE\_MÓVEL.PRIORIDADES, AGENTE\_MÓVEL.OPERAÇÃO)
26. CABEÇALHO. ORIGEM recebe NÓ. ENDEREÇO\_DINAMICO
27. CABEÇALHO. DESTINO recebe NÓ. TABELA\_VIZINHANÇA. ENDEREÇO\_DINAMICO
28. CABEÇALHO. TIPO\_MSG recebe AGENTE\_MÓVEL
29. MIGRA AGENTE\_MÓVEL para NÓ. TABELA\_VIZINHANÇA. ENDEREÇO\_DINAMICO
30. FIM\_SE

---

Figura 5.7. Ações do Agente Móvel quando está em um nó.

A tabela de vizinhos dos nós terá um campo que indica quais nós o Agente Móvel já coletou dados. A idéia desse campo é evitar que os Agentes Móveis peguem informações de um nó que já teve seu dado coletado. Na solução, quando um Agente Móvel migra de um nó para o outro, os vizinhos do nó de origem percebem a comunicação e marcam em sua tabela de vizinhos que o nó origem já teve sua informação coletada por um Agente Móvel. Assim, quando o Agente Móvel for analisar a tabela de vizinhos de um nó ele poderá identificar quais os nós em que já atuou.

O mesmo processo de escolha de rota é utilizado para retornar ao *sink*. O Agente Móvel analisa a tabela de vizinhos e salta para aquele nó mais

adequado que o leve para o *sink*, a Figura 5.8 mostra dois tipos de escolhas sendo feitas por dois Agentes Móveis diferentes: seleção da rota mais rápida e seleção da rota com nós mais confiáveis. A escolha para volta ao *sink* também é baseada nas necessidades determinadas pela aplicação.

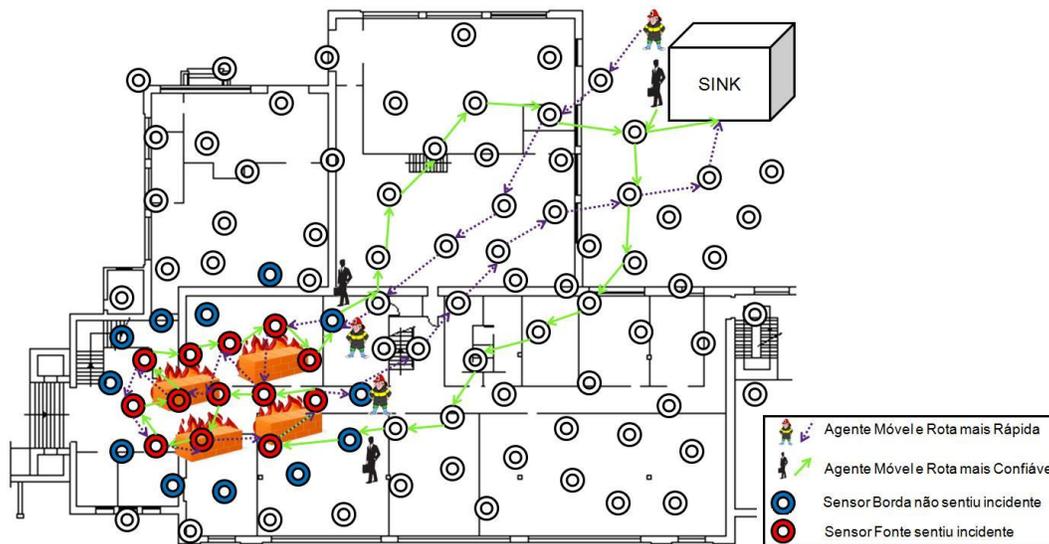


Figura 5.8. Rotas dos Agentes Móveis na rede. Opções de caminho mais curto e de caminho mais confiável.

### 5.3. Avaliação de Desempenho

A solução proposta neste trabalho é comparada ao modelo de entrega onde todos os nós sensores que detectaram anomalia na sua área enviem o dado ao *sink* (modelo N-S [CHE 06] [PRA 91]). O objetivo principal dessa comparação é avaliar o desempenho de nossa solução (denominada QoS-MA) em relação ao N-S usando as seguintes métricas: taxa de entrega de pacotes, atraso fim-a-fim dos pacotes enviados, eficiência (pacotes por dados processados), e comparação entre o desempenho de um Agente Móvel modelado para seguir a rota mais rápida contra um Agente Móvel que segue a rota mais confiável.

As seguintes métricas foram utilizadas para a avaliação dos algoritmos:

- Taxa de entrega de Pacotes: É definido pela razão entre o número de pacotes gerados pelos nós sensores com os recebidos pelo *sink*;
- Atraso Fim-a-Fim: é definido como o tempo em que o pacote ficou na rede, desde o momento em que foi gerado até o momento entregue ao *sink*;
- Eficiência: é definido pela razão de bytes e pacotes gerados pelos nós que detectaram o incidente com a razão dos bytes recebidos sobre os recebidos pelo *sink*.

### 5.3.1. Cenário da Simulação

A simulação realizada neste trabalho avalia a escalabilidade do nosso protocolo em termos de número de nós ( $n \in \{100, 200, 300, 600, 1600\}$ ), raio de comunicação 100 metros, número de nós fontes ( $N_f \in \{10, 20, 30, 40, 50\}$ ), tamanho do Agente Móvel ( $T_{ma} \in \{0,5; 1; 1,5; 2\}$  Kbytes). O cenário padrão usado nas simulações é apresentado na tabela 5.1. Para algumas simulações, algum parâmetro apresentado na tabela 5.1 será variado e isso é descrito no cenário avaliado.

O simulador usado para a simulação foi o QualNet versão 4.5.1 [QUA 09]. Para cada simulação em que foi variado o número de nós, a dimensão do campo monitorado ( $\text{Área} \in \{1000 \times 1000, 2000 \times 2000, 3000 \times 3000, 4000 \times 4000\}$ ).

Tabela 5.1. Especificações do cenário da simulação.

<b>ESPECIFICAÇÕES DA SIMULAÇÃO</b>	
<b>SIMULADOR</b>	
Simulador	QualNet
Versão	4.5.1
<b>TOPOLOGIA DA REDE E CONFIGURAÇÕES</b>	
Tamanho da Rede	4000 x 4000 metros
Plano	Cartesiano
Número de Sensores	(100, 200, 300, 600, 1600)
Raio de Comunicação	100 metros
Número de Nós Alvos	(10, 20, 30, 40, 50)
Topologia	Aleatória
Mobilidade dos Sensores	Sem Mobilidade
Duração do Evento	15 M
Hardware	Mica Mote 2
<b>ESPECIFICAÇÕES DO AGENTE MÓVEL</b>	
Tamanho do Código	0.5 Kbytes
Tempo de Processamento no Nó	50ms

## 5.3.2. Resultados da Simulação

### 5.3.2.1. Alterando o número de nós na rede

Para essa avaliação variamos o número de nós sensores depositados na rede para avaliar o desempenho dos algoritmos para 100, 200, 300, 600 e 1600 nós sensores e 20 nós fontes em todos os testes. A figura 5.9 reflete a taxa de pacotes entregues ao *sink*. Sendo a razão entre todos os pacotes recebidos e liberados pelo *sink* na rede e pelos nós sensores que detectaram alguma alteração no ambiente. O gráfico da figura 5.9 mostra que o QoS-MA leva desvantagem em relação ao N-S quando têm poucos nós na rede, porém com o aumento de nós sensores o QoS-MA mantém mais estável, já que ele exige menos comunicações do que o N-S que acabam inundando a rede com pacotes para poder relatar o *sink* do incidente.

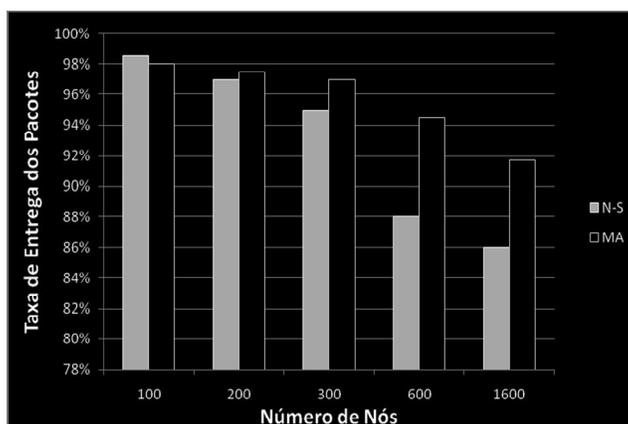


Figura 5.9. Taxa de Entrega dos pacotes.

Enquanto que na figura 5.10, exibe o atraso da entrega de um pacote. Esta métrica reflete o tempo que a RSSF necessita para informar o observador da ocorrência de um determinado fenômeno. Como mostra a Figura 5.10, o QoS-MA demonstra ter um melhor desempenho na entrega de mensagens em termos de latência comparado com o modo N-S, já que o QoS-MA necessita de menos comunicação entre os nós sensores e assim a rota do Agente Móvel leva menos tempo para ser formada, enquanto que o excesso de comunicação no N-S pode gerar um atraso na entrega de pacotes significantes para rede.

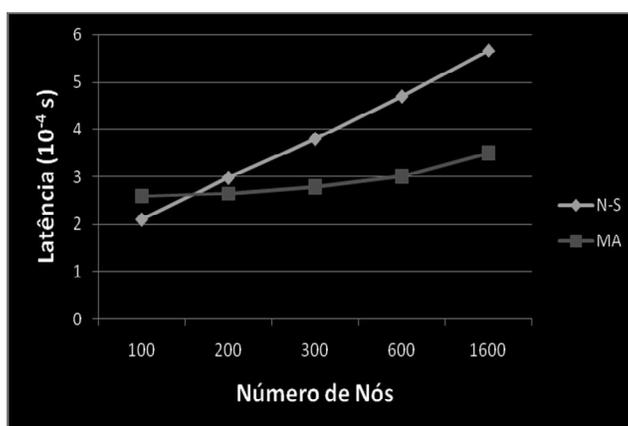


Figura 5.10. Atraso da entrega dos dados da área de evento para o sink.

A próxima figura 5.11 compara a eficiência dos dois modelos. É a relação do total de pacotes transmitidos e a quantidade de pacotes de dados recebidos pelo *sink*. A figura 5.11 mostra a vantagem que o modelo QoS-MA leva sobre o N-S, já que o protocolo QoS-MA tem um menor conjunto de pacotes gerados, porém com mais informações anexas. A garantia de entrega desses pacotes é alta devido a baixa quantidade de mensagens liberadas na rede pelo protocolo QoS-MA.

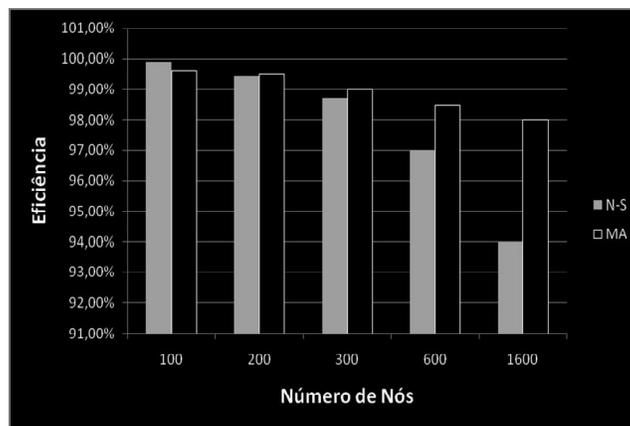


Figura 5.11. Eficiência da entrega dos pacotes alterando o número de nós na rede.

### 5.3.2.2. Alterando o número de nós fontes

Nesse cenário variamos o parâmetro de nós fontes da tabela para avaliar o comportamento dos algoritmos para redes com 10, 20, 30, 40 e 50 nós geradores de dados. Os resultados estão apresentados nas figuras 5.12 e 5.13. Para esses testes o número de nós na rede é de 300 e o tamanho do Agente Móvel é fixo em 0,5 kbytes. A figura 5.12 apresenta certa vantagem do uso do modelo QoS-MA, já que a necessidade de comunicação entre sensores é menor e a taxa de pacotes entregue com sucesso é maior. Na figura 5.13 compara a eficiência entre os dois protocolos.

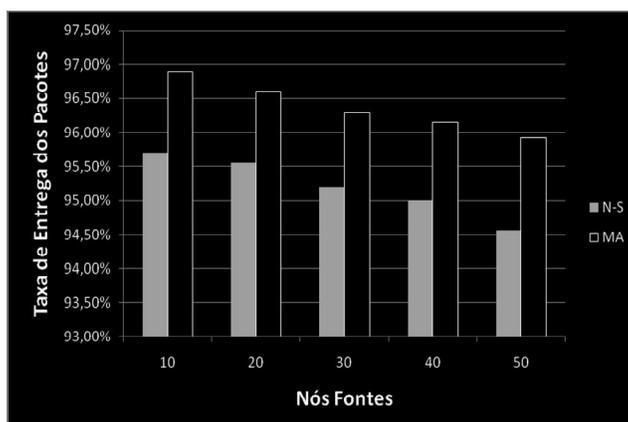


Figura 5.12. Taxa de entrega dos pacotes variando o número de nós fontes.

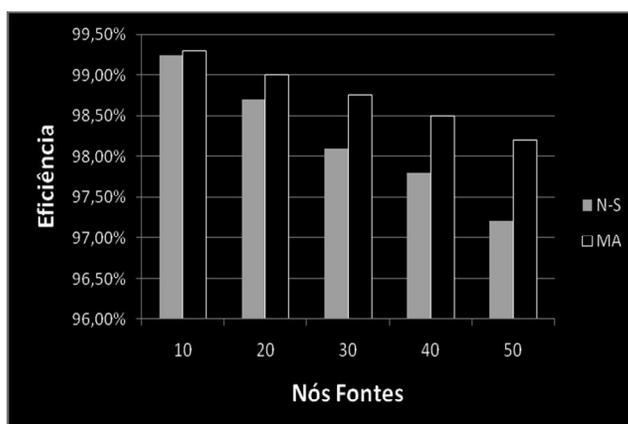


Figura 5.13. A eficiência dos dois protocolos alterando o número de nós fontes.

### 5.3.2.3. Alterando o tamanho do Agente Móvel

Nesse cenário variamos o tamanho do Agente Móvel, para avaliar o comportamento dos algoritmos para redes com 0,5; 1; 1,2; 1,5 e 2 kbytes de código. Os resultados estão apresentados na figura 5.14. Para esses testes o número de nós na rede é de 300, o número de nós fontes é 20. A figura 5.14 mostra que para a comparação o valor de atraso de N-S é constante já que a alteração do código do Agente Móvel não influencia no desempenho desse

modelo. A partir de aproximadamente 1.2 kbytes o modelo QoS-MA apresenta um atraso significativo comparado com o modelo N-S e apresenta um aumento linear após esse valor. O ideal para o projeto é manter o tamanho do agente entre 0,5 e 1 kbyte.

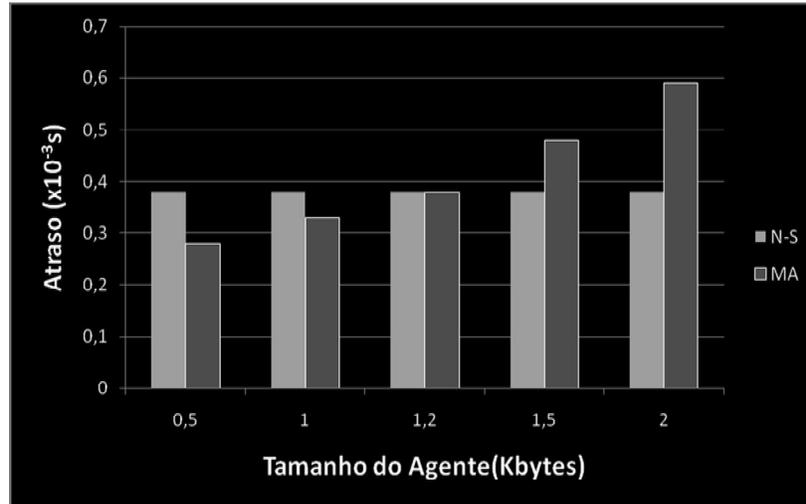


Figura 5.14. Gráfico exibe o atraso do agente alterando o tamanho da carga transportada.

#### 5.3.2.4. Simulando diferentes requisitos da aplicação

Nesse cenário de simulação a comparação realizada é entre duas das prioridades da aplicação, uma delas é quando a aplicação necessita obter a resposta com mais velocidade e que a rota mais curta seja traçada. Já a segunda necessidade é quando a aplicação necessita de confiabilidade do dado assim o Agente Móvel vai traçar uma rota passando por aqueles nós com maior confiabilidade e maior potencial energético. Desse modo comparamos a atuação de cada agente, na figura 5.15, guiado por uma das prioridades definidas. A comparação realizada é comparando o número de nós visitados durante o trajeto *sink* até a área de evento e a seguir a volta com o dado para o *sink*.

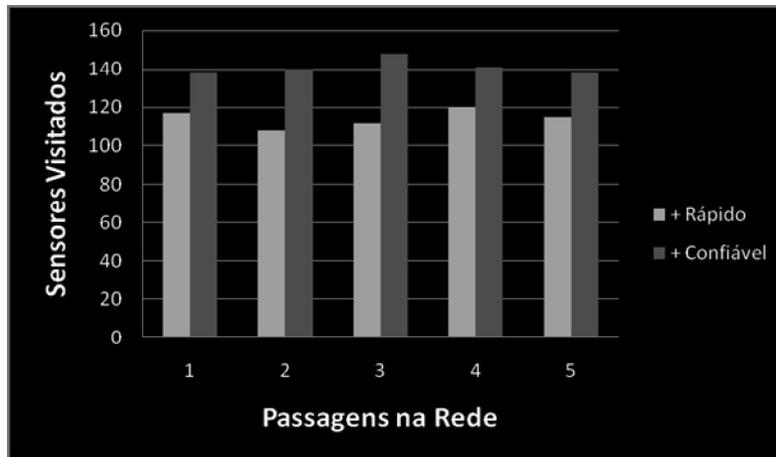


Figura 5.15. Número de saltos por regras da aplicação.

O cenário em que o teste ocorreu teve uma rede com 300 nós sensores distribuídos e com 50 nós fontes em cada área. O teste é executado para o Agente Móvel operar cinco vezes na rede, ou seja, por quantos nós o Agente Móvel passa em cada operação.

## 5.4. Considerações Finais

Esse capítulo descreve um protocolo de roteamento baseado em Agentes Móveis para realizar a coleta e o escoamento de informações de uma rede de sensores sem fio e que objetiva garantir as necessidades da aplicação.

São descritas a idéia geral do protocolo, as fases para operação do algoritmo, e o que ocorre em cada fase. São mostrados também os resultados obtidos da simulação realizada. Os gráficos gerados comparam o desempenho do protocolo QoS-MA com o protocolo N-S (que é um modelo tradicional em que todos os nós sensores enviam os dados para uma unidade central (*sink*)). O protocolo QoS-MA leva vantagem em todos os testes realizados já que o número de comunicações necessário para realizar a coleta na rede é menor do que quando todos os sensores enviam seus dados.

## **6. Conclusões**

Neste trabalho foi projetado e avaliado o uso de Agentes Móveis como uma alternativa para os protocolos de roteamento para RSSF. As redes de sensores apresentam diversas limitações e são passíveis de falhas, o que obriga o desenvolvimento de soluções capazes de minimizar o efeito desses problemas no desempenho da rede e assim garantir a qualidade do serviço.

A solução apresentada é capaz de fornecer características autonômicas à rede de sensores através do uso de Agentes Móveis no processo de coleta e agregação dos dados da rede. O Agente Móvel apresenta a capacidade de adaptar-se ao meio e as modificações que ocorrerem na rede durante sua atuação. Além da característica de adaptação ao ambiente o Agente Móvel pode definir sua execução de acordo com a necessidade da aplicação e assim alterar seu comportamento garantindo a qualidade do serviço.

O uso do Agente Móvel com técnicas de agregação de dados apresenta um novo paradigma para protocolos de roteamento em redes de sensores, pois possibilita a capacidade de autonomia a rede.

Esse capítulo apresenta as contribuições geradas, trabalhos futuros e considerações finais.

### **6.1. Contribuições**

A especificação e implementação de um protocolo de difusão de dados para RSSF baseado em Agentes Móveis para coleta e agregação dos dados das redes de sensores geraram contribuições relevantes para a continuidade dos trabalhos do laboratório LRVNet (Laboratório de Realidade Virtual de Rede), na medida em que a solução alimenta os sistemas de monitoramento de ambientes críticos sendo desenvolvidos pelo grupo.

O roteamento dos dados feito pelos Agentes Móveis ocorre de maneira a atender as necessidades das aplicações e assim tentar preservar os nós da rede, por exemplo, em termos de gasto de energia. Essa capacidade de adaptação ao ambiente que os Agentes Móveis possuem confere capacidade autônoma às redes de sensores, o que a torna mais independente de intervenções humanas.

A solução apresenta uma maior economia de energia dos nós da rede já que a coleta dos dados é realizada no nó (em vez dos nós todos enviarem seus dados para o *sink*).

### **6.1.1.Publicações já obtidas**

SPADONI, I. M. B.; ARAUJO, R. B. “Uso de Agentes Móveis para captura de dados em redes autônomas de sensores sem fio”, I2TS'2008 - 7th International Information and Telecommunication Technologies Symposium. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, Dezembro 03-05, 2008.

SPADONI, I. M. B.; ARAUJO, R. B.; MARCONDES, C. “Improving QoS in Wireless Sensor Networks through Adaptable Mobile Agents”, Students Workshop IEEE INFOCOM 2009, 28th Conference on Computer Communications. Rio de Janeiro, Brasil, Abril, 2009.

### **6.1.2.Publicações Submetidas aguardando parecer**

SPADONI, I. M. B.; ARAUJO, R. B.; MARCONDES, C. “Autonomic WSN Monitoring System for Critical Safe-Proof Environments”, 7th ACM (pending) International Symposium on Mobility Management and Wireless Access, MOBIWAC 09, Tenerife, Canary Islands. Outubro, 2009.

SPADONI, I. M. B.; ARAUJO, R. B.; MARCONDES, C. “RSSF Autônomicas para Monitoramento de Ambientes de Segurança Crítica”,

## **6.2. Trabalhos Futuros**

A solução desenvolvida apresenta o uso de Agentes Móveis e agregação de dados dos nós sensores para alimentar os serviços de monitoramento de ambientes. Porém o trabalho abre caminhos para inclusão de novas tecnologias capazes de aprimorar ainda mais a precisão da informação e até facilitar o processo de roteamento. Os trabalhos a serem desenvolvidos são:

- Integração do protocolo baseado em agentes com a tecnologia RFID. As informações estáticas contidas nas etiquetas RFID do ambiente juntamente com as informações capturadas dos sensores podem enriquecer a interpretação de contextos, indicando com maior precisão o que está ocorrendo no ambiente monitorado, em uma situação de emergência;
- Inclusão de dispositivos móveis nas redes de sensores para monitoramento de eventos e até transporte de informações, a fim de descobrir qual o impacto dessa inclusão nos sistemas de monitoramento;
- Implementação de um Agente Móvel capaz de encontrar nós sensores com problema na rede e relatar as informações a uma unidade responsável.

## **6.3. Conclusões Finais**

Tipicamente, os sistemas atuais de monitoramento de ambientes físicos sujeitos às situações de emergência, não possuem a precisão

necessária para a observação de eventos de emergência devido à falta de informação e/ou precisão sobre o que está ocorrendo no ambiente físico durante o evento. Muitos desses problemas que envolvem a precisão da informação ocorrem devido às limitações presentes nas RSSF.

Para atender as necessidades de sistemas de monitoramento de ambientes críticos, um protocolo foi desenvolvido capaz de realizar a coleta e agregação dos dados utilizando Agentes Móveis. E ainda adicionar características autonômicas à rede. Essas características permitem que o Agente Móvel adapte seu comportamento a fim de preservar os nós da rede e ainda identificar os nós que atendam as necessidades das aplicações.

Por meio de simulação foi possível observar que solução apresentou vantagens e características importantes para a melhora da qualidade da informação e um desempenho superior a um protocolo tradicional.

As comparações entre os dois protocolos utilizam cenários que alteram o número de nós sensores da rede e variando o número de nós fontes de um incidente nos dois cenários o protocolo QoS-MA tem vantagem no desempenho comparado com o protocolo N-S para e a vantagem aumenta cada vez que a rede ou o número de nós fontes aumentam. Já que o protocolo QoS-MA possui um número menor de comunicações para o escoamento dos dados devido a agregação de dados que reduz a quantidade de dados e do comportamento dos Agentes Móveis de migrar através dos nós coletando esses dados ao invés de inundar a rede com os todos os dados sobre o evento como ocorre no protocolo N-S.

## 7. Referências Bibliográficas

- [AHM 05] AHMED, M.; POTTIE, G. "Fusion in the context of information theory. In Distributed Sensor Networks", **S. S. Iyengar and R. R. Brooks**, Eds. CRC Press, Boca Raton, Chapter 22, 419–436. 2005.
- [AGO 06] AGOULMINE, N.; BALASUBRAMANIAM, S.; BOTVITCH, D.; STRASSNER, J.; LEHTIHET, E.; DONNELLY, W. "Challenges for Autonomic Network Management". **1st IEEE International Workshop on Modelling Autonomic Communications Environments (MACE)**. 2006.
- [AGR 05] AGRAWAL, D.; LEE, K.; LOBO, J.. "Policy-based management of networked computing systems". **IEEE Communications Magazine**, 43(10). P 69 - 75. 2005.
- [AKY 02] AKYILDIZ, I.F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y. "A Survey on Sensor Networks". *IEEE Communications Magazine*, p. 102-114, Agosto 2002.
- [AKY 04] AKYILDIZ, I.F.; KASIMOGLU, I.H. "Wireless sensor and actor networks: research challenges". **Ad Hoc Networks**, Elsevier, Volume 2, Issue 4, p. 351-367. Outubro de 2004.
- [ARA 08] ARAÚJO, R.B.; VILLAS, L. A.; RIBEIRO, J. E. "MidSensorNet: A Service *Middleware* to Emergency Management". Relatório Técnico Interno. Fevereiro, 2008.
- [ASS 07] ASSUNÇÃO, H. P. "Gerenciamento de Serviços em Redes de Sensores Sem Fio Autonomicas", Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belo Horizonte, 2007.
- [BAR 89] BARAN, R. H. "A collective computation approach to automatic target recognition". **In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks**. Vol. I. IEEE, Washington, D.C., 39–44. 1989.
- [BAR 06] BARROS, J.; SERVETTO, S. D. "Network information flow with correlated sources." **IEEE Trans. Inf., Theory** 52, 1, P 155–170. Janeiro 2006.

- [BAR 07] BARONTI P.; et al. "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards". **Computer Communications**, Volume 30 Issue 7. P 1655 – 1695. Maio 2007.
- [BAU 98] BAUMANN, J.; et al. "MOLE - Concepts of a mobile agent system". **World Wide Web**, Volume 1 Number 3. P 123-137. Setembro 1998.
- [BEL 06] BELLIFEMINE, F.; CAIRE, G.; TRUCCO, T. "JADE Programmer's Guide". Versão 2.1. Agosto 2006.
- [BHA 01] BHATNAGAR, S.; DEB, B.; NATH, B., "Service Differentiation in Sensor Networks", **In Proceedings of Fourth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications**, Setembro 2001.
- [BHA 06] BHATT, H.; GLOVER, B. "RFID Essentials". 1ª ed. **Sebastopol, CA: O'Reilly**, Janeiro 2006.
- [BIS 05] BISWAS, R.; CHOWDHURY, K.; AGRAWAL, D. P. "Accessing and storing data: Attribute allocation in large scale sensor networks". **Proceedings of the 2nd international workshop on Data management for sensor networks DMSN '05**. P 27 – 33. Agosto 2005.
- [BOR 06] BORDINI, R. H.; BRAUBACH, L.; DASTANI, M.; SEGHROUCHNI, A. E. F.; GOMEZ-SANZ, J. J.; LEITE, J.; O'HARE, G.; POKAHR, A.; RICCI, A. "A Survey of Programming Languages and Platforms for Multi-Agent Systems". **The Slovene Society Informatika**. Volume 30, Nº 1, P 33-44. 2006.
- [BOU 03] BOUKERCHE, A.; CHENG, X.; LINUS, J., "Energy-Aware Data-Centric Routing in Microsensor Networks". In **MSWiM'03**, Setembro 19, 2003, San Diego, California, USA.
- [BRA 02] BRAGINSKY, D.; ESTRIN, D.. "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," in the **Proceedings of the First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA)**, Atlanta, GA. Outubro 2002.
- [BRA 06] BRAGA, T. R. M. "Um Elemento Autônomo para Redes e Sensores sem Fio", Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2006.
- [BUC 98] BUCZAK, A.; JAMALABAD, V., "**Self-organization of a Heterogeneous Sensor Network by Genetic Algorithms**", *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural*

*Networks*, C.H. Dagli, et. (eds.), Vol. 8, P 259-264, ASME Press, New York, 1998.

- [CAR 07] CARON, F., et al. "Locating sensor nodes on construction projects". **Autonomous Robots**, Volume 22 Issue 3. Abril 2007.
- [CHE 06] CHEN, M; KWON, T.; YUAN, Y. and LEUNG, V. C. M. "Mobile Agent Based Wireless Sensor Networks". **Journal of Computers**, Volume 1, N° 1, P 14-2. Abril 2006.
- [CHE 06a] CHENG, H.; LIU, Q.; JIA, X. "Heuristic algorithms for real-time data aggregation in wireless sensor networks." in ACM IWCCC 2006, Vancouver, British Columbia, Canada, JULHO 2006.
- [CHE 06b] CHEN, J-L.; LU, H.F.; LEE, C.A. "Autonomic self-organization architecture for wireless sensor communications". **INTERNATIONAL JOURNAL OF NETWORK MANAGEMENT**. Volume 17, P 197–208. JUNHO 2006.
- [CHI 01] SHEN, C.C.; SRISATHAPORNPHAT, C.; JAIKAE0. C. "**Sensor Information Networking Architecture and Applications**", IEEE Personal Communications", pag 52-59. Agosto de 2001.
- [CHO 07] CHO, J.; et al. "SARIF: A novel framework for integrating wireless sensor and rfid network". **IEEE Wireless Communications**. p 50 - 56. Dezembro 2007.
- [DAS 97] DASARATHY, B. V. "Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications". **Proc. IEEE 85**, p 24–38. 01 Janeiro 1997.
- [DMTF 99] DMTF. Common information model (cim) specification. Disponível em: <http://www.dmtf.org/standards/cim/>. [Consulta Janeiro de 2009].
- [EST 99] ESTRIN, D.; GOVINDAN, R.; HEIDEMANN J.; Kumar, S. "**Next Century challenges: Scalable Coordination in Sensor Network**". Proceeding of ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99), 263-270, Washington, 1999.
- [EST 02] ESTRIN, D., et. al., <http://nesl.ee.ucla.edu/tutorials/mobicom02> [Consulta Fevereiro 2008].
- [FAS 07] FASOLO, E.; ROSSI, M.; WIDMER, J.; ZORZI, M.. "In-network Aggregation Techniques for Wireless Sensor Networks: A

Survey". *Wireless Communications*, IEEE, Volume 14, P 70 - 87. ABRIL 2007.

- [FIG 07] FIGUEIREDO, C. M. S. "Auto-Organização em Redes de Sensores Sem Fios", Dissertação de Doutorado da Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Belo Horizonte, 2007.
- [FIN 03] FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**, 2 ed. Munich/FRG: John Wiley & Sons, Ltd.
- [FOK 05] FOK, C. L.; ROMAN, G. C.; LU, C. "Mobile Agent *Middleware* for Sensor Network: An Application Case Study", **Information Processing In Sensor Networks**, Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks, 2005.
- [FOK 05a] FOK, C.L.; ROMAN, G. C.; LU, C.. "Rapid development and flexible deployment of adaptive wireless sensor network applications," . **Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'05)**, 2005.
- [FRE 07] FREDDY, A.; VIER, G. "Tecnologia de Identificação por Radio Freqüência: fundamentos e aplicações em automação de bibliotecas", **Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf.**, Florianópolis, n. 24, p. 182-202, 2º sem.2007.
- [FUG 98] FUGGETTA, A.; PICCO, G. P.; VIGNA, G.. "Understanding Code Mobility". **IEEE Transactions on Software Engineering**, 24(5). P 342—361. 1998.
- [GEN 94] GENESERETH, M.R.; KATCHPEL, S.P. "Software Agents," **Comm. ACM**, Volume 37, Número 7, P 48–53, 147. 1994.
- [GRA 97] GRAY, R. S. "AgentTCL: A Flexible and Secure Mobile-Agent System". *Dr Dobbs Journal* 22, 3, P 18 - 27. 1997.
- [GUP 05] GUPTA, I.; RIORDAN, D.; SAMPALLI, S. "Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks". **Communication Networks and Services Research Conference**, Proceedings of the 3rd Annual, P 255 - 260. 16-18 MAIO 2005.
- [HAL 01] HALL, D. L.; LINNAS, J. **Handbook of Multisensor Data Fusion**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2001.
- [HEI 99] HEINZELMAN, W.; KULIK, J.; BALAKRISHNAN, H. "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor

networks," **5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)**, Seattle, WA. Agosto 1999.

- [HEI 00] HEINZELMAN, W.; CHANDRAKASAN, A.; BALAKRISHNAN, H. "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks," in the Proceeding of the **Hawaii International Conference System Sciences**, Hawaii. Janeiro 2000.
- [HO 05] HO, L. "A prototype on RFID and sensor networks for elder healthcare progress report" **SIGCOMM'05 Workshops**, Philadelphia, PA, USA. P 70 – 75. Agosto 22–26, 2005
- [ING 05] INGELREST, F., SIMPLOT-RYL, D.; STOJMENOVÍČ, I. "Routing and Broadcasting in Hybrid Ad Hoc and Sensor Networks". **Handbook on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor**. P 415 - 426. 2005.
- [INT 00] INTANAGONWIWAT C.; GOVINDAN, R.; ESTRIN, D., "**Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks**", in the *Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)*, Boston, MA, Agosto 2000.
- [INT 03] INTANAGONWIWAT, C.; GOVINDAN, R.; ESTRIN, D.; HEIDEMANN, J.; SILVA, F.. "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking". **IEEE Trans. on Networking**. Fevereiro 2003.
- [IYE 01] IYENGAR, S. S.; CHAKRABARTY, K.; QI, H. Introduction to special issue on "distributed sensor networks for real-time systems with adaptive configuration." *J. Franklin Inst.* 338, 651– 653. 6 Setembro 2001.
- [KEN 98] KENDALL, E. A.; KRISHNA, P. V. M.; PATHAK, C. V.; SURESH, C. B. "Patterns of Intelligent and Mobile Agents". In Proc. of the second international conference on Autonomous agents. 1998.
- [KEP 03] KEPHART, J. O.; CHESS, D. M. "The vision of autonomic computing". **IEEE Computer**, Volume 36 N° 1, P 41-50. JANEIRO 2003.
- [KES 92] KESSLER; ET AL. Functional description of the data fusion process. **Tech. rep., Naval Air Development Center, Warminster**, PA, USA. Report prepared for the Office of Naval Technology. Janeiro 1992.

- [KLE 99] KLEIN, L. A. "**Sensor and Data Fusion Concepts and Applications**". Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Bellingham, WA, USA. 2ª Edição. 1999.
- [KYN 06] KYNG, M.; NIELSEN, E. T.; KRISTENSEN, M. "In public: Challenges in designing interactive systems for emergency response" **Proceedings of the 6th ACM conference on Designing Interactive systems DIS '06**. P 301 – 310. Junho 2006.
- [LAB 99] LABROU, Y.; FININ, T.; PENG, Y. "Agent Communication Languages: The Current Landscape". **Intelligent Systems and their Applications, IEEE**. Volume 14. P 45-52. Abril 1999.
- [LI 03] LI, X.; et al "**Storage: Multi-dimensional range queries in sensor networks**", **Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems SenSys '03**. P 63 – 75. Novembro 2003.
- [LIC 97] LIN, C.R. ; GERLA, M. "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks," **IEEE Journal on Selected areas in Communications**, Vol. 15, No. 7. Setembro 1997.
- [LIN 01] LINDSEY, S.; RAGHAVENDRA, C. S.; SIVALINGAM, K. "Data Gathering in Sensor Networks using the Energy\*Delay Metric". **IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing**, San Francisco, CA. Abril 2001.
- [LOP 06] LOPES, A. R., "**Projeto de um ambiente 3d de Visualização e Reprodução de Eventos Capturados e Interpretados a Partir de Ambientes Físicos Cientes de Contexto para Aplicações de Preparação para Emergência**", Dissertação de Mestrado da UFSCar, Departamento de Computação.
- [LOS 03] LOSS, L.; RABELO, R. J. "Uso do XML Empacotando Mensagens KQML na Comunicação entre sistemas Multiagente". Relatório Técnico GSIGMA 001/2003. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Automação e Sistemas, Florianópolis, Brasil. Setembro 2003.
- [LOU 03] LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; DE FREITAS MINI, R. A.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. (2003). "**Redes de Sensores Sem Fio**". In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 179 . 226. Março de 2003.
- [LUO 02] LUO, R. C.; YIH, C.-C.;SU, K. L. "Multisensor fusion and integration: Approaches, applications, and future research directions". **IEEE Sensors J. 2**, p. 107–119. Abril 2002.

- [MAC 05] MACHADO, M. V.; GOUSSEVSKAIA, O. Mini, R. A. F.; REZENDE, C. G.; LOUREIRO, A. A. F.; MATEUS, G. R.; NOGUEIRA, J. M. S.. "Data Disseminations in Autonomic Wireless Sensor Networks". **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, VOL. 23, NO. 12, P 2305 - 2319. Dezembro 2005.
- [MAM 07] MAMEI, M.; ZAMBONELLI, F. "Pervasive pheromone-based interaction with RFID tags" **ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)**, Volume 2 Issue 2. P 1 – 28. Junho 2007.
- [MAN 01] MANJESHWAR, A.; AGRAWAL, D. P. "TEEN : A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," **1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing**, San Francisco, CA. Abril 2001.
- [MCK 05] MCKELVIN, M. L. JR.; WILLIAMS, M. T.; BERRY, N. M. "Systems Integrated radio frequency identification and wireless sensor network architecture for automated inventory management and tracking applications" **TAPIA'05**, Albuquerque, New Mexico, USA, p 44 - 47. Outubro 19-22, 2005.
- [MOO 99] MOORE, S.A. "Contrasting Agent Communication Languages". 32 **Hawaii International Conference on System Sciences**. 1999.
- [NAK 04] NAKAMURA, F. G.; QUINTAO, F. P.; MENEZES, G.; MATEUS, G. R. "**Planejamento Dinâmico para Controle de Cobertura e Conectividade em Redes de Sensores Sem Fio**", Anais do VI Workshop de Comunicação sem Fio e Computação Móvel, 2004, Fortaleza, Brasil, v. 1. p. 182-191.
- [NAK 07] NAKAMURA, E. F.; LOUREIRO, A. A. F.; FRERY, A. C. "Information Fusion for Wireless Sensor Networks: Methods, Models, and Classifications". **ACM Computing Surveys**, Vol. 39, No. 3, Article 9, Agosto 2007.
- [NIC 03] NICULESCU, D.; NATH, B.. "Trajectory-based forwarding and its applications". **MobiCom**, p 260–272. 2003.
- [NIN 07] NING, X.; CASSANDRAS, C. G. "Optimal cluster-head deployment in wireless sensor networks with redundant link requirements". **Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools**. Volume 321, N° 24. Nantes, França. 2007.

- [OLI 04] OLEIRO, S.; NOUGUEIRA, J. M. S.; WONG H. C., “**Segurança em Redes de Sensores Sem Fio**”, Trabalho disponível em <http://www.gta.ufrj.br/~rezende/redes/rssf2/files/SegRSSF.pdf>, [Consulta Novembro de 2007].
- [PHA 98] PHAM, V. A.; KARMOUCH, A. "Mobile software agents: an overview". Communications Magazine, IEEE. Volume 36, Nº 7, P 26-37. Julho 1998.
- [PIN 04] PINTO, A. J. G. “**Mecanismo de Agregação de Dados Empregando Técnicas Paramétricas em Redes de Sensores**”. Tese de Mestrado da UFRJ. Junho de 2004.
- [PRA 91] PRASAD, L.; IYENGAR, S. S.; KASHYAP, R. L.; MADAN, R.N. "Functional characterization of fault tolerant integration indistributed sensor networks". **Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on**. Setembro 1991.
- [QI 01] QI, H.; WANG, X.; IYENGAR, S. S.; CHAKRABARTY, K. “**Multisensor data fusion in distributed sensor network using mobile agents**”, In Proceedings of 5th International Conference on Information Fusion, 2001.
- [QUA 09] QualNet. In <http://www.scalable-networks.com/products/developer.php>. Acessado em Janeiro, 2009.
- [RAG 02] RAGHUNATHAN, V.; SCHURGERS, C.; PARK, S.; SRIVASTAVA, M. “**Energy Aware Wireless Microsensor Networks**”. IEEE Signal Processing Magazine 19, p. 40-50. Março de 2002.
- [RAH01] RAHMAN; J.R., "Data Fusion for Improved TOA/TDOA Position Determination in Wireless System". Tese de estrado, Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, USA. Março 2001.
- [RUI 03] RUIZ, L. B., “**MANNA: Uma Arquitetura para Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio**”. Tese de Doutorado do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais.
- [RUI 04a] RUIZ, L. B.; NOUGUEIRA, J. M. S.; LOUREIRO, A. A. (2004). “**Handbook of Sensor Network: Compact Wireless and Wired Sensing Systems**”, volume 1, capítulo III: Sensor Network Management. CRCPress.

- [RUI 04b] RUIZ, L. B.; et al. “**Arquitetura para Rede de Sensores Sem Fio**”. Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores. Gramado, Rio Grande do Sul. Maio de 2004.
- [SAD 03] SADAGOPAN, N.; et al., “**The ACQUIRE mechanism for efficient querying in sensor networks**” in the *Proceedings of the First International Workshop on Sensor Network Protocol and Applications, Anchorage, Alaska, May 2003*.
- [SAN 03] dos Santos, K. T.; Rocha, L. G. Jr. **Identificação por Radio Frequência**, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2003. 81 p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- [SCH 01] SCHURGERS, C.; SRIVASTAVA, M. B. “**Energy efficient routing in wireless sensor networks**” in the *MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, McLean, VA, 2001.
- [SCH 04] SCHINDLER - The buzz in the background (zigbee). **The Buzz**, P 25 - 29. Setembro 2004.
- [SRI 09] SRIKANTH, V.; BABU, I. R. "Cluster Head Selection for Wireless Sensor Networks: A Survey". **The Icfai University Journal of Information Technology**, Volume 5, Nº 1, P 44-53. Março 2009.
- [THR 06] THORNTON, F.; ET AL. **RFID Security**, 1 ed., Canada: Syngress Publishing, Inc., 2006.
- [VER 02] VERMA, D. C. "Simplifying network administration using policy-based management". In: *Network*, IEEE. Volume 16, Nº 2, P 20-26. Março Abril 2002.
- [VIL 07] VILLAS, L. A. **Protocolos de Roteamento Cientes de QoS para Redes de Sensores e Atuadores Sem Fio**. 2007. 105f. Tese (Mestrado em Computação) - Departamento de Computação. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- [WAL 99] WALD, L. Some terms of reference in data fusion. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 13, 1190–1193. 03 Maio 1999.
- [WAN 02] WANT, R., PERING, T., TENNENHOUSE, D. “Comparing autonomic & proactive computing”. *IBM Systems Journal*, 2002.
- [WAN 05] WANG, F.; LIU, P. “Industrial session new data types and algorithms Temporal management of RFID data” **Proceedings of the 31st VLDB Conference**, Trondheim, Norway. p 1128 - 1139. 2005.

- [WAR 06] WARD, M.; KRANENBURG, R. V. “**RFID: Frequency, standards, adoption and innovation**”. JISC Technology and Standards Watch: Maio 2006.
- [WOO 95] WOOLDRIDGE, M. and JENNINGS, N. R.. “Intelligent agents: Theory and practice”. **Knowledge Engineering Review**, 1995.
- [WRI 04] WRIGHT, S.; STEVENTON, A., “Intelligent Spaces — The Vision, the Opportunities and the Barriers” **BT Technology Journal**, Volume 22 Issue 3. Julho 2004.
- [WU 06] WU, X.; TRIAN, Z. “Optimized Data Fusion in Bandwidth and Energy Constrained Sensor Networks.” in IEEE ICASSP 2006, Toulouse, France, MAIO 2006.
- [ZHA 06] Zhang, L.; WHANG, Z. “Integration of RFID into Wireless Sensor Networks: Architectures, Opportunities and Challenging Problems”. **Proceedings of the Fifth International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops (GCCW'06)**. 2006.