

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**Núcleo de Computação Eletrônica**

**Luiz Fernando Teixeira de Farias**

**TECNOLOGIA DE REDES SENSORES:**

**Características e Estudo de Caso**

**Rio de Janeiro**

**2010**

**Luiz Fernando Teixeira de Farias**

**TECNOLOGIA DE REDES SENSORES:**

**Características e Estudo de Caso**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

2010

**Luiz Fernando Teixeira de Farias**

**TECNOLOGIA DE REDES SENSORES:**

**Características e Estudo de Caso**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em maio de 2010.



---

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Por toda paciência e motivação que recebi,  
dedico este trabalho ao professor Moacyr Azevedo,  
a minha mãe e ao meu filho Tales.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer aos professores Etienne Cesar Ribeiro de Oliveira e Rodrigo Saldanha, pela inspiração para terminar este projeto, que havia há muito adormecido.

## RESUMO

FARIAS, Luiz Fernando Teixeira de. **TECNOLOGIA DE REDES SENSORES: Características e Estudo de Caso**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

Este projeto tem como objetivo estudar a tecnologia de Rede de Sensores, o que são sensores, suas características, funcionamento e requisitos de segurança. Logo após serão descritas as áreas de aplicação onde são. Dentro destas áreas, foram escolhidos “pontos de ação” do projeto, para elucidar pontos fortes da rede de sensores.

Principais evoluções, tecnologia, redução de custos e comodidade são algumas das características da rede de sensores que será relatado neste projeto.

## ABSTRACT

FARIAS, Luiz Fernando Teixeira de. **TECNOLOGIA DE REDES SENSORES: Características e Estudo de Caso**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

This project study the technology of sensor networks, so that the sensors, their characteristics, operation and safety requirements. After that, a description about the areas of applications where used the network of sensors. Within these areas were chosen "points to" the project, to elucidate the strengths of the sensor network.

Evolutions, technology, reduced cost and convenience are some of the features of the sensor network reported that this project

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Arquitetura funcional de um nó sensor sem fio	15
Figura 2 - Disposição dos nós de forma arbitrária	16
Figura 3 - Dispositivos usados como sensores	17
Figura 4 - Rede Sensor <i>ad hoc</i>	19
Figura 5 - Utilização na agricultura	33
Figura 6 - Monitoramento Cardíaco	34
Figura 7 - Monitoramento em Campo de Batalha	35
Figura 8 - Sensor utilizado na fuselagem de aviões	38
Figura 9 - Monitor Fetal	40
Figura 10 - Sensor para monitorar pressão arterial ocular	42



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologia Sem Fio e características associadas

Página  
13

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MEMS	Micro Eletro Mecânicos
SPINS	Security Protocols for Sensor Networks
WSN	Wireless Sensor Network
WLAN	Wireless Local Access Network
LAN	Local Access Network
PAD	Portable Access Dispositivo
GPS	Global Position System
PC	Personal Computer
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
RAM	Random Access Memory
RSSF	Redes Sensores Sem Fio
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
SDMA	Space Division Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DoS	Denial of Service
SNEP	Secure Network Encryption Protocol
mTESLA	Micro Timed, Efficient, Streaming, Loss tolerant Authentication Protocol
WINS	Wireless Integrated Network Sensors
μAMPS	MicroAmps

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	12
1.1 MOTIVAÇÃO	12
1.1 OBJETIVO	12
<b>2 REDES DE SENSORES</b>	13
2.1 REDES MÓVEIS SEM FIO	13
2.2 SENSORES	14
2.3 COMO FUNCIONAM A REDE DE SENSORES SEM FIO?	16
2.4 CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE SENSORES	18
2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS REDES DE SENSORES SEM FIO	20
<b>2.5.1 Caracterização do Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo a Configuração</b>	20
2.5.1.1 Composição	20
2.5.1.2 Organização	20
2.5.1.3 Mobilidade	20
2.5.1.4 Densidade	21
2.5.1.5 Distribuição	21
<b>2.5.2 Caracterização do Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo o Sensoriamento</b>	21
2.5.2.1 Coleta	21
<b>2.5.3 Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo a Comunicação</b>	22
2.5.3.1 Disseminação	22
2.5.3.2 Tipo de Conexão	22
2.5.3.3 Transmissão	22
2.5.3.4 Alocação de Canal	23
2.5.3.5 Fluxo de Informação	23
<b>2.5.4 Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo o Processamento</b>	24
2.5.4.1 Cooperação	24
2.6 REQUISITOS DE SEGURANÇA DA REDE DE SENSORES	24
2.7 PROTOCOLOS UTILIZADOS EM UMA REDE DE SENSORES	26
2.8 MODELOS DE UMA REDE DE SENSORES	27
2.9 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROJETO DE UMA REDE DE SENSORES	28
<b>3 ÁREAS DE APLICAÇÃO DA REDE DE SENSORES</b>	32
3.1 EXEMPLOS DE SETORES DE APLICAÇÃO DE UMA REDE DE SENSORES	35
3.2 TAREFAS DE UMA REDE DE SENSORES	36
<b>4 ESTUDOS DE CASOS</b>	37
4.1 MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE AVIÕES	37
4.2 REDE DE SENSORES EMPREGADA NO PAN 2007	38
4.3 PRÉ-NATAL EM CASA ATRAVÉS DA REDE DE SENSORES	39
4.4 SENSOR PARA MONITORAR A PRESSÃO ARTERIAL	41
4.5 PANORAMA DO USO DAS REDES DE SENSORES PARA A ECONOMIA BRASILEIRA	42
<b>5 CONCLUSÃO</b>	44
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	45

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 MOTIVAÇÃO**

Informações que antes eram repassadas por uma ou mais pessoas, até mesmo feitas à mão, agora são informadas por sensores com curto espaço de tempo. Esses sensores apresentam características particulares de acordo com a área de aplicação.

Com o avanço tecnológico e a necessidade de informações, a rede de sensores é um tema que, através da informática, se expandiu e auxilia profissionais de diversas áreas. Devido à capacidade de centralizar dados em pequenos dispositivos sem fios, a rede pode ser utilizada desde áreas florestais, para controle e condições ambientais, até a medicina visando o monitoramento de órgãos.

### **1.1 OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo dos aspectos ligados a rede de sensores. No decorrer de todo o trabalho serão apresentadas as vantagens, benefícios e a capacidade que a rede de sensores tem de adquirir dados, já que é uma rede centrada e pode atuar em diversas áreas de aplicações.

Apresentadas todas as informações, serão apresentados alguns estudos de casos, já com pesquisas comprovadas, que envolvem a rede de sensores.

## 2 REDES DE SENSORES

### 2.1 REDES MÓVEIS SEM FIO

A diversidade da utilização das redes sem fio pode ser observada nas mais diferentes áreas, e a grande vantagem é que o usuário tem acesso contínuo às informações, sem a necessidade de uma estrutura cabeada previamente implementada.

Este tipo de rede é apropriado para situações críticas, onde o acesso à informação deve ser imediato.

A tabela 1 apresenta características de tecnologias sem fio e suas aplicações.

**Tabela 1 – Tecnologia Sem Fio e características associadas**

<b>Tecnologia</b>	<b>Serviços / Características</b>	<b>Área de Cobertura</b>	<b>Limitações</b>	<b>Exemplos de Sistemas</b>
<b>Celular</b>	Voz e dados através de telefones portáteis	Contínua	Largura de banda muito baixa	Telefones celulares, PAD's e Palm Pilots
<b>WLAN</b>	LAN tradicional com interface sem fio	Somente em ambiente locais	Alcance limitado	NCR's, Wave LAN e ALTAIR
<b>GPS</b>	Determina posição tridimensional e velocidade	Qualquer lugar do mundo	Custo elevado	GNSS, NAVSTAR e GLONASS
<b>PCS por satélites</b>	Principalmente para mensagens	Quase todo o mundo	Custo elevado	Iridium e Teledesic
<b>Redes <i>ad hoc</i></b>	Grupo de pessoas que compartilham dados	Similar à LAN	Alcance limitado	Bluetooth
<b>Redes de Sensores</b>	Sensores pequenos sem fio	Pequena	Alcance limitado	Aplicações de defesa civil e militar

Fonte: Pereira e Amorim [1]

Áreas das aplicações potenciais para diferentes serviços de redes sem fio:

- CELULAR: Serviços no campo, segurança pública, controle de estoque, transportadoras e atividade de linhas aéreas;
- WLAN: Lojas varejistas, serviços de saúde, estudantes, restaurantes, escritórios, indústrias manufatureiras e estoque;
- GPS: Pesquisas, agência de aluguel de carros e esportes;
- PCS: GPS, multimídia e telemetria;
- REDES *AD HOC* e de SENSORES: Sensores de ambiente, máquinas de prognóstico, detecção de pontes quebradas, condições das estradas e sensores biológicos.

## 2.2 SENSORES

Sensores são pequenos dispositivos que surgiram com o avanço tecnológico de sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS), comunicações móveis e técnicas da eletrônica digital. Uma combinação entre energia computacional (capacidade de computação sem fio) e sensores especializados faz com que haja a troca de informações entre sensores.

Tudo começou com K. Pister [11] que, através do financiamento do departamento de defesa americano DARPA, desenvolveu sensores do tamanho de uma cabeça de fósforo, que foi chamada de pó inteligente, com capacidade de comunicação sem fio e com a constituição de redes, além é claro, de uma fonte própria de energia. A finalidade principal é a obtenção de informações do campo de batalha, em tempo real, monitorando campos de batalhas em busca de ameaças, detecção de radioatividade ou movimentação inimiga.

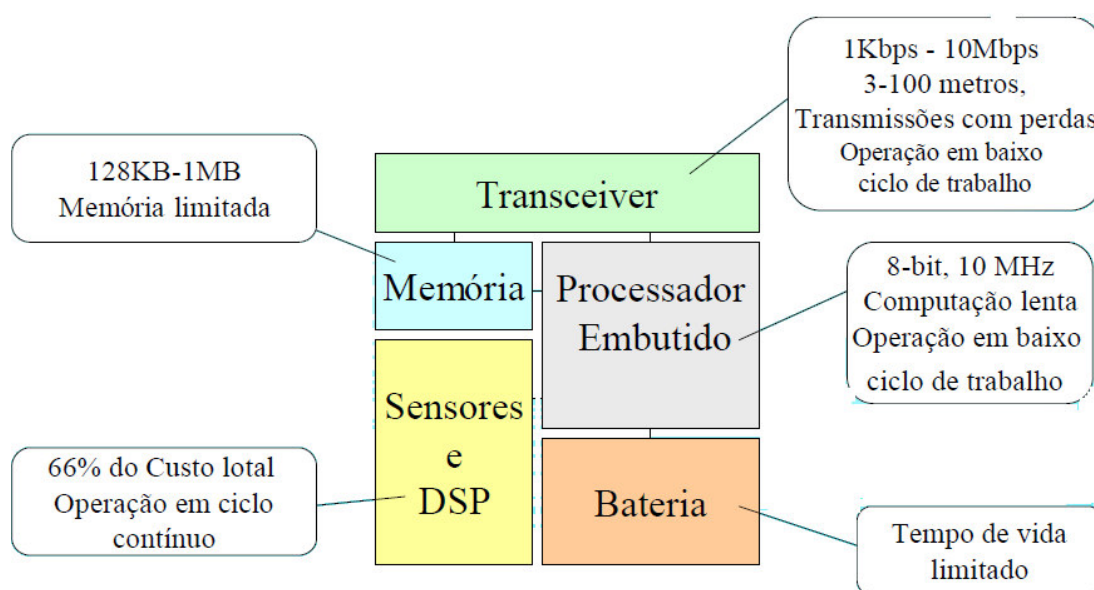
Como resultados destes estudos, surgiram inúmeras aplicações civis com o objetivo de monitorar ambientes de difícil acesso ou perigosos, tais como fundo de

oceanos, atividades vulcânicas, campos de atividade nuclear entre outros. Sensores também são utilizados para tarefas interativas, como detonar minas e buscar sobreviventes de desastres.

A área de segurança se faz fundamental dentro das aplicações desenvolvidas na rede de sensores. Informações sigilosas, controle de pessoas em acessos restritos são exemplos onde a aplicação de segurança se torna indispensável.

Sensores possuem grandes restrições ao nível de energia e de capacidade de processamento. Seu hardware é bastante restrito e suas barreiras limitadas. Problemas que impõe barreira para a aplicação no mecanismo de segurança.

A figura 1 representa a arquitetura funcional de um nó sensor sem fio. Observar a limitação de recursos computacionais, tais como pouca memória RAM, que implica em algoritmos que necessitem de pouco espaço de memória, e o tempo de vida limitado da bateria, que tem como consequência uma estratégia de funcionamento intermitente, ou seja, o nó fica ligado (energizado) durante pouco tempo, voltando a “dormir” em seguida para poder economizar energia.



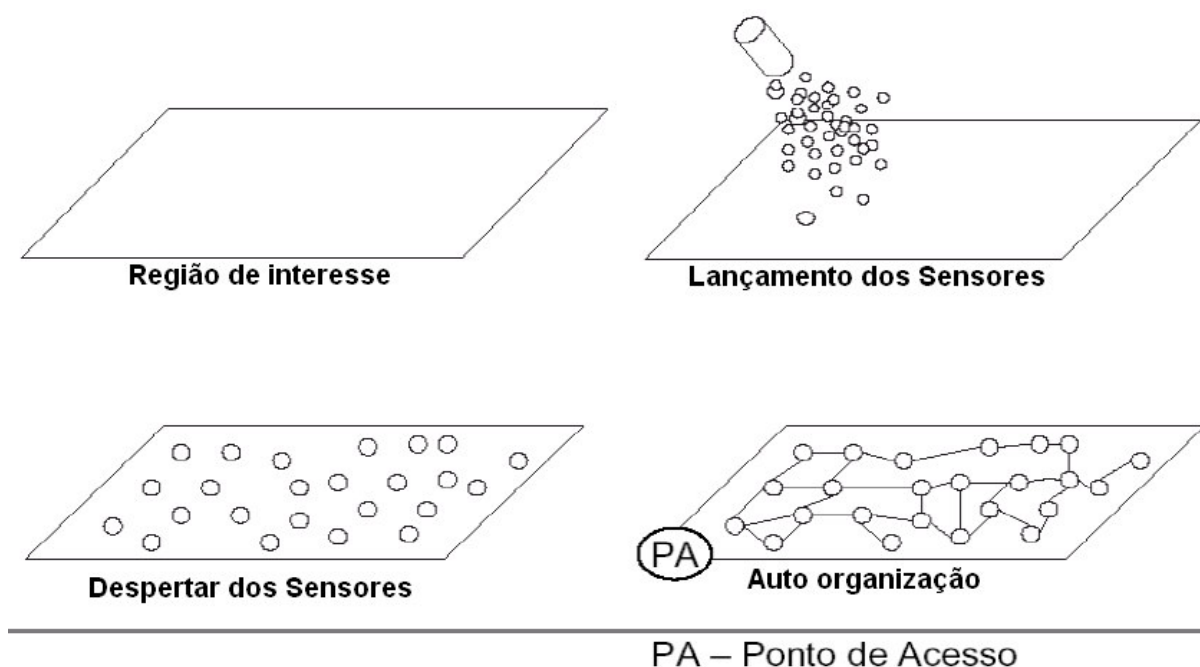
**Figura 1 - Arquitetura funcional de um nó sensor sem fio**

Fonte: Cugnasca [3]

### 2.3 COMO FUNCIONAM A REDE DE SENSORES SEM FIO?

A rede de sensores sem fio (RSSF), ou Wireless Sensor Network (WSN), consiste em um grande número de dispositivos sem fios, que são denominados nós sensores, em geral densamente distribuídos para monitorar algum fenômeno em uma região de interesse.

Redes de sensores são compostas por nós sensores que são capazes de se comunicar e trocar informações. Um nó de uma rede de sensores pode conter mais de um sensor. Estes nós que compõem a rede são responsáveis pelo sensoriamento e pelo envio das informações coletadas a um nó que agrega informações. Esse nó pode ser outro nó comum da rede ou um nó de maior capacidade, em todo o caso a informação tende sempre a fluir na direção de um ponto centralizador, que pode ser um computador de maior parte.



**Figura 2 - Disposição dos nós de forma arbitrária**

Fonte: Loureiro, A.A.F. [4]

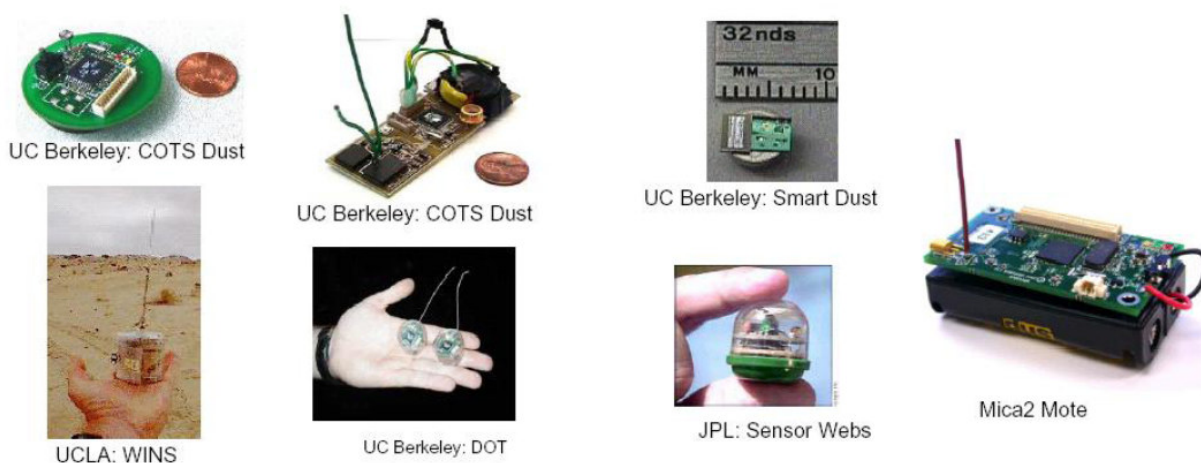


Este computador será então responsável por conectar a rede de sensores à rede externa, para que o tráfego de dados atinja o usuário da rede que a está monitorando remotamente. O Ponto centralizador é importante para a segurança da rede e a maioria das propostas parte do princípio que este ponto é seguro e confiável, assim como a rede externa que conecta o usuário remoto à rede de sensores.

Uma rede de sensores pode ser definida como uma classe particular de sistemas distribuídos, onde as comunicações de baixo nível não dependem da localização topológica da rede.

Algumas características dificultam a reutilização de algoritmos desenvolvidos para outros tipos de sistemas distribuídos: recursos restritos de energia, topologia de rede dinâmica e grande quantidade de nós.

Redes de Sensores são formadas por elementos computacionais de pequenas dimensões, como podem ser vistas na figura 3.



**Figura 3 - Dispositivos usados como sensores**

Fonte: Cugnasca [3]

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE SENSORES

Segundo a taxonomia de Tilak et al [1], as redes de sensores possuem como características principais: o sensor, o observador e o fenômeno, que estão definidos a seguir:

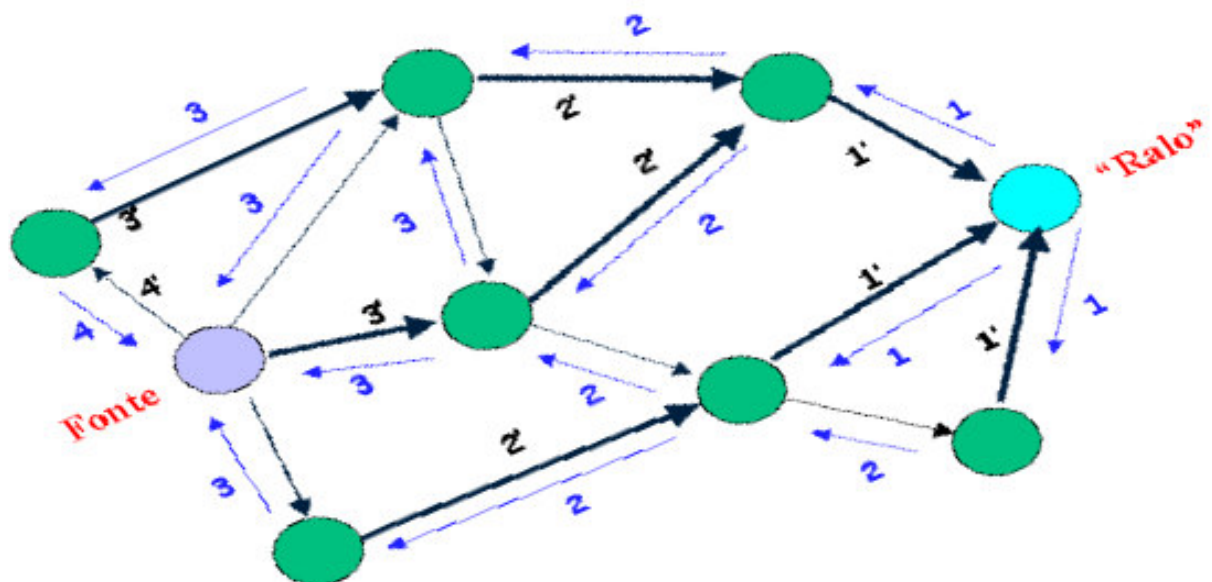
- Sensor – dispositivo que implementa o monitoramento físico de um fenômeno ambiental e gera relatórios. Um sensor produz respostas, determinando medidas de mudanças. Capaz de mensurar, por exemplo, temperatura, luz e campo magnético. Alguns aspectos como as características físicas dos dispositivos podem interferir no tempo ao coletar dados de acordo com a necessidade da aplicação.
- Observador – usuário final a fim de obter informações oriundas da rede de sensores em relação ao fenômeno. Numa rede de sensores podem existir milhares de observadores.
- Fenômeno – entidade de interesse do observador, monitorado pelo mesmo, cujas informações serão analisadas pela rede de sensores. Em uma rede de sensores normalmente são apresentadas informações que necessitam ser precisas. Isso faz com que o observador monitore o comportamento do fenômeno sob algum requisito de desempenho (precisão ou retardo). As medidas realizadas pelos sensores são amostras discretas do fenômeno físico, sujeito à medidas do sensor individual.

As redes de sensores são comparadas e consideradas um tipo de rede *ad hoc*. Essa associação é devido às suas características de auto-configuração, resistência a falhas, dinamicidade, capacidade de comunicação direta entre dois nós

sem a necessidade de presença de um ponto de acesso, e não necessidade de infra-estrutura pré-estabelecida. Desta forma, uma rede de computadores *ad hoc* é aquela na qual todos os terminais funcionam como roteadores, encaminhando de forma comunitária as comunicações advindas de seus terminais vizinhos.

Existem muitas diferenças entre a rede de sensores e a rede *ad hoc*, dentre elas estão:

- Aplicação do tipo específico
- Encaminhamento de pacotes
- Limitação de energia
- Número de nós
- Facilidade a falhas
- Mobilidade
- Tipo de comunicação



**Figura 4 - Rede Sensor *ad hoc***

Fonte: Cugnasca [3]

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

Dependendo do objeto e da área de aplicação, a rede RSSF é classificada, ou seja, a aplicação influenciará diretamente nas funções exercidas.

As redes de sensores sem fio podem ser classificadas segundo a configuração, o tipo de sensoriamento e o tipo de comunicação. Uma RSSF também pode ser diferente segundo o tipo de processamento que executa.

### **2.5.1 Caracterização do Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo a Configuração**

#### 2.5.1.1 Composição

- Homogênea: Rede composta de nós que apresentam a mesma capacidade de hardware. Eventualmente os nós podem executar software diferente.
- Heterogênea: Rede composta por nós com diferentes capacidades de hardware.

#### 2.5.1.2 Organização

- Hierárquica: RSSF em que os nós estão organizados em grupos (clusters). Cada grupo terá um líder que poderá ser eleito pelos nós comuns. Os grupos podem organizar hierarquias entre si.
- Plana: Rede em que os nós não estão organizados em grupos.

#### 2.5.1.3 Mobilidade

- Estacionária: Todos os nós sensores permanecem no local onde foram depositados durante todo o tempo de vida da rede.

- Móvel: Rede em que os nós sensores podem ser deslocados do local onde inicialmente foram depositados.

#### 2.5.1.4 Densidade

- Balanceada: Rede que apresenta uma concentração e distribuição de nós por unidade de área considerada ideal segundo a função objetivo da rede.
- Densa: Rede que apresenta uma alta concentração de nós por unidade de área.
- Esparsa: Rede que apresenta uma baixa concentração de nós por unidade de área.

#### 2.5.1.5 Distribuição

- Irregular: Rede que apresenta uma distribuição não uniforme dos nós na área monitorada.
- Regular: Rede que apresenta uma distribuição uniforme de nós sobre a área monitorada.

### **2.5.2 Caracterização do Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo o Sensoriamento**

#### 2.5.2.1 Coleta

- Periódica: Os nós sensores coletam dados sobre o(s) fenômeno(s) em intervalos regulares.
- Contínua: Os nós sensores coletam os dados continuamente.
- Reativa: Os nós sensores coletam dados quando ocorrem eventos de interesse ou quando solicitado pelo observador.

- Tempo Real: Os nós sensores coletam a maior quantidade de dados possível no menor intervalo de tempo.

### **2.5.3 Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo a Comunicação**

#### 2.5.3.1 Disseminação

- Programada: Os nós disseminam em intervalos regulares.
- Contínua: Os nós disseminam os dados continuamente.
- Sob Demanda: Os nós disseminam os dados em resposta à consulta do observador e à ocorrência de eventos.

#### 2.5.3.2 Tipo de Conexão

- Simétrica: Todas as conexões existentes entre os nós sensores com exceção do nó sorvedouro têm o mesmo alcance.
- Assimétrica: As conexões entre os nós comuns têm alcance diferente.

#### 2.5.3.3 Transmissão

- Simplex: Os nós sensores possuem transceptor que permite apenas transmissão da informação.
- Half-duplex: Os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber em um determinado instante.
- Full-duplex: Os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber dados ao mesmo tempo.

#### 2.5.3.4 Alocação de Canal

- Estática: Neste tipo de rede se existir “n” nós, a largura de banda é dividida em “n” partes iguais na frequência (FDMA), no tempo (TDMA), no código (CDMA), no espaço (SDMA) ou ortogonais (OFDM). A cada nó é atribuída uma parte privada da comunicação, minimizando interferência.
- Dinâmica: Neste tipo de rede não existe atribuição fixa de largura de banda. Os nós disputam o canal para comunicação dos dados.

#### 2.5.3.5 Fluxo de Informação

- Flooding: Neste tipo de rede os nós sensores fazem *broadcast* de suas informações para seus vizinhos que fazem *broadcast* desses dados para outros até alcançar o ponto de acesso. Esta abordagem promove um alto *overhead*, mas está imune às mudanças dinâmicas de topologia e a alguns ataques de impedimento de serviço (DoS – Denial of Service).
- Multicast: Neste tipo de rede os nós formam grupos e usam o multicast para comunicação entre os membros do grupo.
- Unicast: Neste tipo de rede os nós sensores podem se comunicar diretamente com o ponto de acesso usando protocolos de roteamento multi-saltos.
- Gossiping: Neste tipo de rede os nós sensores selecionam os nós para os quais enviam os dados.
- Bargaining: Neste tipo de rede os nós enviam os dados somente se o nó destino manifestar interesse, isto é, existe um processo de negociação.

## 2.5.4 Tipo de Redes de Sensores Sem Fio Segundo o Processamento

### 2.5.4.1 Cooperação

- Infra-estrutura: Os nós sensores executam procedimentos relacionados à infra-estrutura da rede como, por exemplo, algoritmos de controle de acesso ao meio, roteamento, eleição de líderes, descoberta de localização e criptografia.
- Localizada: Os nós sensores executam, além dos procedimentos de infra-estrutura, algum tipo de processamento local básico como, por exemplo, tradução dos dados coletado pelos sensores baseado na calibração.
- Correlação: Os nós estão envolvidos em procedimentos de correlação de dados como fusão, supressão seletiva, contagem, compressão, multi-resolução e agregação.

## 2.6 REQUISITOS DE SEGURANÇA DA REDE DE SENSORES

Toda rede, para ser considerada de segurança, deve seguir alguns requisitos. A rede deve estar disponível para usuários autorizados, tendo cuidado com serviços que consomem muita energia para que a rede não tenha um tempo curto de vida. Confiabilidade dos dados é um dos requisitos mais importantes, é necessário que haja criptografia de dados onde as chaves ficam em poder dos nós, impedindo que outros tenham o poder das informações.

Abaixo estão relacionados detalhadamente estes requisitos:

- Confidencialidade dos dados – as informações de uma rede de sensores jamais devem ser passadas para redes vizinhas. Na criptografia somente o receptor deve possuir a chave secreta usada na criptografia.



- Autenticação de dados – importante nas funções administrativas. O receptor deve estar seguro de que os dados originam-se da fonte correta. Entre o emissor e o receptor a autenticação dos dados é feita de forma simétrica, os dois compartilham uma chave secreta para computar o código de autenticação da mensagem.
- Integridade dos dados – assegura ao receptor que não houve alteração durante o envio dos dados.

Alguns protocolos asseguram às redes de sensores confidencialidade, autenticação e dados atuais, além dos requisitos citados.

As Redes de Sensores podem estar, muitas vezes, em situação onde um intruso pode ser motivado a alterar a função da rede. Um intruso pode ser capaz de posicionar diversos nós dentro da rede e usá-los para transmitir falsas mensagens, ou até mesmo comprometer o funcionamento de um nó da rede e conseguir acesso às suas principais informações.

Como exemplo há o SPINS (Security Protocols for Sensor Networks) que é um conjunto de protocolos de segurança para redes sensores, conforme descrito por Pereira et al. [1], que são constituídos por dois blocos:

- SNEP (Secure Network Encryption Protocol): Que provê confidencialidade dos dados e autenticação.
- mTESLA (Micro Timed, Efficient, Streaming, Loss tolerant Authentication Protocol): Que é um novo tipo de protocolo que provê broadcast autenticado para diversos ambientes de recursos restritos, como no caso de redes com hardware mínimo.

Considerando a limitação do hardware, a agregação de mensagem pode reduzir o overhead de comunicação, no entanto, dificulta a segurança. Cada nó intermediário pode modificar, ou seja, forjar ou descartar mensagens, ou até mesmo transmitir valores de agregação falsos. Dessa forma, comprometendo significativamente o resultado final transmitido pela Rede de Sensores.

Não é possível criptografar mensagens com uma única chave compartilhada entre cada nó, por isso foi desenvolvido um protocolo com mecanismo para detectar nós com comportamento errado. Com este mecanismo, uma estação base é capaz de garantir que os dados transmitidos sejam corretos, mesmo com nós falsos introduzidos.

## 2.7 PROTOCOLOS UTILIZADOS EM UMA REDE DE SENSORES

Muitos pesquisadores afirmam que protocolos de roteamento *ad hoc* podem ser usados como protocolos para a rede de sensores. Mas ao se observar as características destes protocolos, concluí-se de que os mesmos não são bons candidatos para a RSSF pelos seguintes fatores: o sensor tem baixa carga elétrica e baixa disponibilidade de memória. Estes protocolos não suportam fusões ou agregações de dados, logo não terão um bom desempenho.

Os protocolos mais adequados às redes de sensores são aqueles usados no roteamento hierárquico, onde são estabelecidas classes distintas de nós. Os nós fontes coletam e enviam os dados para outros nós, denominados nós líderes, que têm a função de realizar a fusão de todos os dados antes de enviá-los para o ponto de acesso. Desta forma, o nó realiza um trabalho específico.

Segundo Pereira et al. [1] os protocolos reativos parecem ser mais portáteis para disseminação de informação orientada a evento ou baseada em consulta. Os

protocolos que mais se encaixam nestes, ou seja, a disseminação de informação com baixo consumo de energia, seriam protocolos como *LEACH*, *DD (Direct Diffusion)* e *Publish / Subscribe*.

- *LEACH* – eficiente em economia de energia para a rede de sensores. Este protocolo usa uma arquitetura onde os nós membros enviam seus dados para um *cluster-head* local. Este procedimento é chamado de *clustering*.
- *DD (Direct Diffusion)* – neste protocolo os nós não são endereçados pelos endereços da rede e sim pelos dados que monitoram. Logo que o nó sensor obtém a consulta, ele transmite os dados para o nó sumidouro usando interações locais. A ausência de noção de um identificador torna a difusão orientada eficiente para redes com mobilidade. As interações localizadas permitem ao protocolo ser escalável para redes grandes. O protocolo DD faz o escalonamento como uma função do número de interesses ativos presentes na rede.
- *Publish/Subscribe* – Neste modelo a comunicação não é fim a fim, mas anônima com formação de grupo multicast específico da aplicação. Em relação à implementação, a comunicação assíncrona ajuda a preservar energia e aumentar a vida útil da rede.

## 2.8 MODELOS DE UMA REDE DE SENSORES

Uma rede de sensores forma um caminho entre o fenômeno e o observador. O objetivo deste protocolo na rede de sensores é manter este caminho, além de encontrar problemas que devem ser evitados em uma rede. Protocolos mais sofisticados podem apresentar melhores vantagens na presença de múltiplos observadores para que a comunicação seja otimizada.

As estratégias que diferem para que seja mantido um caminho entre o fenômeno e o observador são os modelos da rede, que podem ser: **redes de sensores estáticas** ou **redes de sensores dinâmicas**.

- Rede de sensores estáticas – não há movimentação de sensores, ou seja, não há comunicação entre o observador e o fenômeno. Grupos de sensores costumam servir de exemplo. Sensores nos algoritmos locais se comunicam com nós de sua localidade e um nó responsável transmite as informações para o observador. Estes algoritmos estendem a vida de uma rede de sensores porque apresentam compromisso para a computação local. É necessário que haja configuração inicial no caminho entre o observador, o fenômeno e os sensores com o restante do tráfego.
- Rede de sensores dinâmicas – não há necessidade de uma configuração inicial, os sensores, o observador e o fenômeno são móveis. Nas ocorrências de falhas no caminho entre o observador e o fenômeno o sensor deve iniciar a construção de um novo caminho. Na configuração inicial o observador pode construir inúmeros caminhos e o fenômeno colocá-los em cache. Havendo falhas, estes caminhos que estão em cache poderão ser utilizados. A estratégia do observador é recuperar caminhos.

## 2.9 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROJETO DE UMA REDE DE SENSORES

Ao se projetar uma rede de sensores vários fatores devem ser levados em consideração, haja vista, as características específicas de hardware, a comunicação que existe entre os nós, entre outros que estão listados abaixo:

- Tolerância a Falhas

É a habilidade de manter as funcionalidades da rede sem qualquer interrupção havendo falha em alguns dos sensores. Podem ocorrer falhas por danos físicos, falta de energia, interferência do ambiente e outros.

A confiabilidade é modelada usando uma distribuição de Poisson para capturar a probabilidade de não ter uma falha dentro de um intervalo.

- Escalabilidade

Dezenas, centenas ou até milhares de sensores podem ser empregados simultaneamente numa rede, cooperando para o estudo de um determinado fenômeno. A escalabilidade da densidade de uma rede de sensores em uma determinada área é dada pela fórmula:

$$\mu(R) = \frac{N \cdot \pi \cdot R^2}{A}$$

Onde N é o número de sensores espalhados na região A, e R é o alcance de transmissão do rádio.

- Custo de Fabricação

O custo dos sensores influencia diretamente o custo total da rede, por isso considera-se que um sensor deve ter custo menor do que US\$ 1 (1 dólar) para se ter uma rede de sensores praticável.

- Topologia da Rede

A topologia da rede numa rede de sensores está relacionada com a manutenção dos sensores e com a mudança da topologia. Isto ocorre em 3 fases:

1ª) Fase de pré-posicionamento e fase de posicionamento

2ª) Fase de pós-posicionamento

3ª) Fase do reposicionamento de sensores adicionais

- Limitações de Hardware

Os sensores, por seu diminuto tamanho, possuem fonte de energia de baixa amperagem, quantidade de memória limitada, além de utilizar processadores com baixa frequência de trabalho.

- Ambiente de Operação

A rede de sensores é idealizada para ser empregada em ambientes hostis, tais como: interior de máquinas, fundo do mar, campo contaminado com material radioativo ou biológico, campo de batalha, dentro de um vulcão, entre outros.

- Meios de Transmissão

Normalmente a rede de sensores estabelece a comunicação usando o meio não guiado da rádio frequência. No entanto há a possibilidade de se usar os outros métodos tradicionais das redes sem fio, ou seja, através do infravermelho ou laser.

Como por exemplo, no uso de RF, há o sensor *MICROAMPS*, desenvolvido pelos pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) que opera na faixa de 2.4 GHz, compatível com o Bluetooth. No caso da arquitetura *WINS*, desenvolvida pelo Centro de Ciência Rockwell em colaboração com pesquisadores da Universidade da Califórnia, implementa uma comunicação RF *spread spectrum* a uma frequência de 900 MHz.

- Consumo de Energia

A fonte de energia é limitada entre 0,5 Volts e 1,2 Volts, sendo que deve-se levar em consideração que poderá não haver a possibilidade de renovação da energia, ou seja, quando a fonte se esgotar o sensor irá parar.

O tempo de vida do sensor está diretamente ligada ao tempo de vida da bateria, por isso se mantém o sensor ativado em três situações:

1º) Ação de sentir o fenômeno

2º) Na comunicação ou roteamento dos dados

3º) No processamento dos dados

### 3 ÁREAS DE APLICAÇÃO DA REDE DE SENSORES

Diversas aplicações têm sido desenvolvidas utilizando um ou mais tipos de nós sensores.

As redes de sensores podem ser homogêneas ou heterogêneas em relação aos tipos, dimensões e funcionalidades dos nós sensores.

Por exemplo, as aplicações de monitoração de segurança podem utilizar sensores de imagem e acústicos, embutidos no mesmo nó sensor ou em nós diferentes. Neste caso, os tipos de dados coletados pela rede de sensores são imagens, vídeos e sinais de áudio. Outra característica dessa aplicação é o grande volume de dados e a frequência de coleta. Se os nós sensores forem responsáveis pelo processamento das imagens coletadas, pode-se considerar que estes nós terão dimensões superiores aos dos nós micro-sensores. Em decorrência do esforço exigido pelas operações envolvidas com o processamento de imagens, os nós sensores deverão apresentar maior poder de processamento, maiores quantidades de memória e conseqüentemente maior consumo de energia. As dimensões físicas dos sensores são dependentes do tipo de aplicação, em função da atual tecnologia de fabricação de seus componentes.

Existem aplicações em que todos os nós são homogêneos em suas dimensões, possuindo as mesmas características físicas. Durante o tempo de vida da rede esses nós podem alterar suas funcionalidades e estados, porém suas características de fabricação permanecem. Na maioria das vezes, existirá entre os nós uma relação de igualdade de capacidades e habilidades.

Redes de sensores têm o potencial de serem empregadas em outras áreas como descrito a seguir.



- Controle. Para prover algum mecanismo de controle, seja em um ambiente industrial ou não.

Por exemplo, sensores sem fio podem ser embutidos em “peças” numa linha de montagem para fazer testes no processo de manufatura.

- Ambiente. Para monitorar variáveis ambientais em locais internos como prédios e residências, e locais externos como florestas, desertos, oceanos, vulcões, etc.
- Tráfego. Para monitorar tráfego de veículos em rodovias, malhas viárias urbanas, etc.
- Segurança. Para prover segurança em residências, centros comerciais, estacionamentos, etc.
- Linha especial para agricultura (*crossbow*): Manejo da irrigação, detecção e avisos de geadas, aplicação de agrotóxicos, cronograma de colheita e aplicação em vinhedos.



**Figura 5 - Utilização na agricultura**

Fonte: Cugnasca [3]

- Medicina/Biologia. Para monitorar o funcionamento de órgãos como o coração, detectar a presença de substâncias que indicam a presença ou surgimento de um problema biológico seja no corpo humano ou animal.

### UM CORAÇÃO CONECTADO NA REDE

#### CardioNet



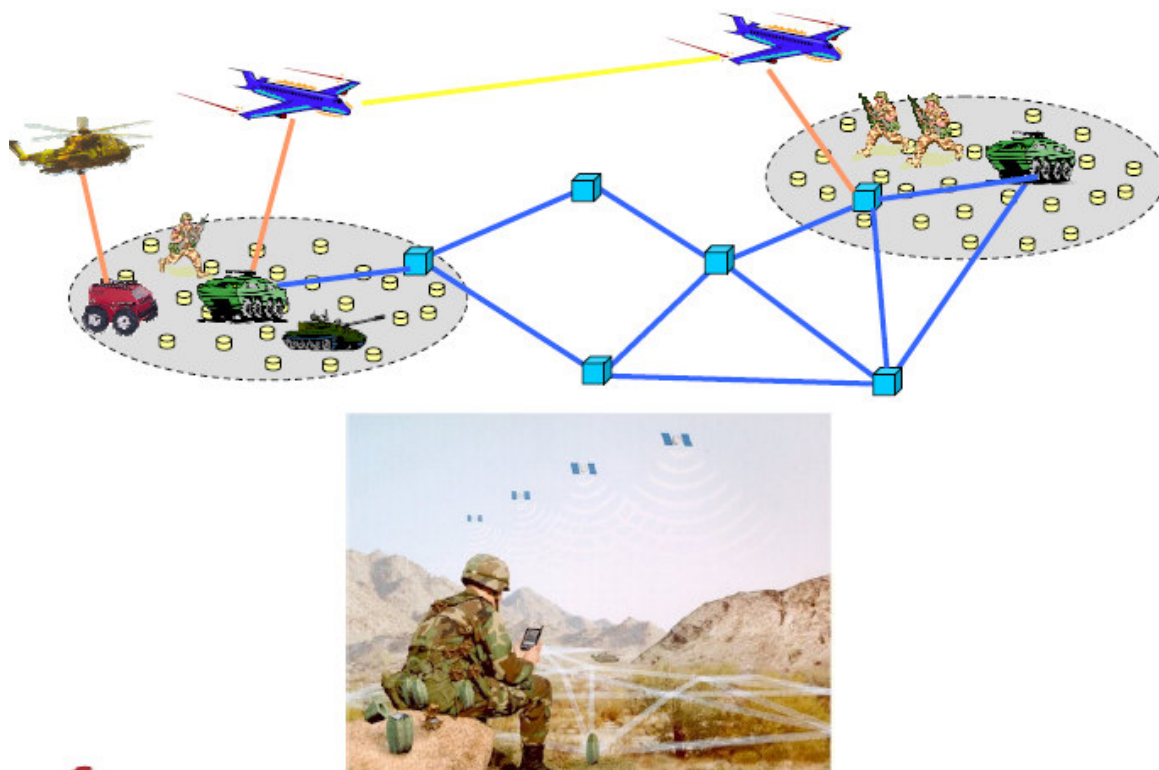
**Figura 6 - Monitoramento Cardíaco**

Fonte: Cugnasca [3]

- Militar. Para detectar movimentos inimigos, explosões, presença de material perigoso como gás venenoso ou radiação, etc.

Neste tipo de aplicação, os requisitos de segurança são fundamentais. O alcance das transmissões dos sensores é geralmente reduzido para evitar escutas clandestinas. Os dados são criptografados e submetidos a processos de assinatura digital. As dimensões são extremamente reduzidas e podem utilizar nós sensores moveis como os transportados por robôs.

De forma genérica, RSSFs podem ser usadas em segurança e monitoramento, controle, atuação e manutenção de sistemas complexos, e monitoramento de ambientes internos e externos.



**Figura 7 - Monitoramento em Campo de Batalha**

Fonte: Cugnasca [3]

### 3.1 EXEMPLOS DE SETORES DE APLICAÇÃO DE UMA REDE DE SENSORES

A seguir, são relacionados alguns setores onde há exemplos práticos de aplicações de RSSFs:

- Áreas industriais - Monitoramento de dados em áreas de difícil acesso ou perigosas.
- Produção industrial - Monitoramento em indústrias petroquímicas, fábricas refinarias e siderúrgicas em parâmetros como: fluxo, pressão, temperatura e nível, identificando problemas como vazamento e aquecimento.

- Distribuição de energia, gás e água - Monitoramento de linhas de distribuição de energia e sistemas de distribuição de gás e água, de parâmetros como fluxo, pressão, temperatura e nível.
- Extração de petróleo e gás - Na indústria de petróleo e gás, principalmente em plataformas em alto mar, no monitoramento da extração de petróleo e gás.
- Indústria de aviação - Na indústria de aviação, cada vez mais transdutores (sensores e atuadores) são largamente utilizados. O problema é a quantidade de cabos necessários a essa interconexão. Nesse caso, sensores sem fio estão começando a serem usados.

### 3.2 TAREFAS DE UMA REDE DE SENSORES

Como foi mencionado acima, rede de sensores tendem a executar tarefas colaborativas. Geralmente os objetivos de uma rede dependem da aplicação, mas as seguintes atividades são comumente encontradas nesse tipo de rede:

- Determinar o valor de algum parâmetro num dado local - Por exemplo, numa aplicação ambiental pode-se desejar saber qual é o valor da temperatura, pressão atmosférica, quantidade de luz e umidade relativa em diferentes locais.
- Detectar a ocorrência de eventos de interesse e estimar valores de parâmetros em função do evento detectado - Por exemplo, numa aplicação de tráfego pode-se desejar saber se há algum veículo trafegando num cruzamento e estimar a sua velocidade e direção.
- Classificar um objeto detectado - Por exemplo, ainda na aplicação de tráfego, pode-se saber se o veículo é uma moto, um carro, um ônibus ou uma carreta.
- Rastrear um objeto - Por exemplo, numa aplicação biológica pode-se querer determinar a rota de migração de baleias.

## 4 ESTUDOS DE CASOS

Neste capítulo abordam-se alguns estudos de casos que se destacaram em determinadas áreas de aplicação da rede de sensores, como: segurança estrutural, segurança local e medicina.

### 4.1 MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE AVIÕES [7]

Pesquisadores do Laboratório Sandia, Estados Unidos, desenvolveram uma nova rede de sensores que irá monitorar a integridade estrutural de aviões, antes que pequenas falhas de possam colocar em risco a aeronave e seus passageiros. O sistema já foi aceito e passará a ser utilizado em alguns aviões.

Segundo estes pesquisadores, a revisão contínua nas aeronaves com estes sensores diminui o esforço humano podendo até reduzir os custos de manutenção.

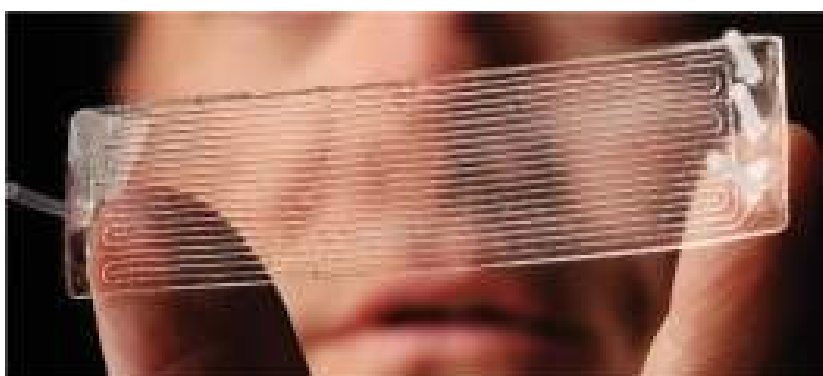
Outro benefício dos sensores integrados à estrutura de aviões é a possibilidade do registro detalhado de falhas inevitáveis, como acontece durante os acidentes. Se essas redes de sensores já fossem utilizadas, por exemplo, no acidente com o avião da Gol que chocou-se com um jatinho executivo, seria possível descrever com detalhes toda a sequência de danos estruturais sofridos pelo avião. Esse tipo de informação é essencial para o desenvolvimento de novos itens de segurança.

A rede de sensores que deverá monitorar os aviões será constituída por sensores individuais capazes de se comunicar entre si e com uma central de controle.

Esses sensores são instalados nos pontos de contato entre diferentes partes do avião, sobre camadas de solda e em qualquer outro ponto passível de falha

estrutural. Qualquer alteração mecânica sofrida pelo sensor transforma-se em uma corrente elétrica, que é lida pela central de controle.

O servidor central da rede de sensores tanto pode emitir sinais de alerta em tempo real, no caso de falhas graves, quanto armazenar informações sobre pequenas alterações. Durante as manutenções, os computadores dos técnicos são conectados à rede e podem verificar graficamente todas as anomalias.



**Figura 8 - Sensor utilizado na fuselagem de aviões**

Fonte: Cugnasca [3]

#### 4.2 REDE DE SENSORES EMPREGADA NO PAN 2007 [15]

Em 24 de julho de 2007 o mundo voltou sua atenção para nosso país e a tecnologia de ponta foi destaque. O esquema de segurança montado garantiu tranquilidade nos XV Jogos Pan-americanos (Rio 2007). Um arsenal tecnológico foi capaz de monitorar vias, aeroportos, todos os locais de jogos e outros pontos importantes. Houve precisão e a comunicação foi viabilizada entre todo o efetivo que fez a segurança das competições. Contou-se com um sofisticado sistema de proteção radiológica (nuclear) de segurança, com sensores altamente capazes de detectar qualquer indício ou presença de radioatividade.

O fluxo de informações captadas era unidirecional, ou seja, os dados são disseminados dos nós sensores em direção ao ponto de acesso, utilizando nós intermediários como roteadores. Elas então utilizaram rádio frequência e transmitiram com mais precisão. Apenas o consumo de energia foi alto devido à transmissão de dados. A energia consumida com a transmissão via rádio varia com o quadrado do alcance de transmissão.

A topologia utilizada foi à dinâmica, típica das Redes de Sensores, onde mesmo que os nós não sejam móveis, há comunicação podendo ocasionar alterações na topologia quando saem de serviço por problemas tais como quebras e defeitos resultantes da deposição, falta de energia, ameaças e ataques à segurança, problemas de calibração dos dispositivos sensores, falhas nos componentes e falhas de comunicação. Houve um treinamento em massa feito na Polícia Federal para que os equipamentos fossem manipulados corretamente.

Optou-se por redes de sensores pois algumas áreas inóspitas e remotas operariam sem a necessidade de homem algum, ou seja, são autônomas e requerem um grau elevado de cooperação entre seus elementos para executar um objetivo comum.

#### 4.3 PRÉ-NATAL EM CASA ATRAVÉS DA REDE DE SENSORES [9]

Neste estudo de caso apresenta-se um aparelho, desenvolvido por cientistas da Universidade de Nottingham, na Inglaterra, que monitora a saúde de um bebê ainda no útero materno, sem a necessidade que a mãe se submeta a exames em equipamentos especializados.

O equipamento tem o tamanho aproximado de um celular, com a função de captar o batimento cardíaco da criança separadamente da mãe.

O monitor fetal torna-se um equipamento confortável e permite que a mãe acompanhe a vida do bebê de forma mais precisa, já que todas as informações são transmitidas na hora da utilização do aparelho.

O aparelho possui um sensor onde todos os resultados são encaminhados para um computador através de uma conexão Bluetooth.

O monitor fetal será especialmente útil no acompanhamento de fetos cujas mães têm complicações de saúde, como diabetes, lúpus eritematoso, colestase obstétrica e nos casos em que o feto não apresenta um crescimento normal, ou quando houver suspeita de que a placenta não esteja em boas condições, o que pode levar o feto a ter falta de oxigênio.

O aparelho encontra-se em fase final de testes clínicos e, quando aprovado pelas autoridades de saúde, deverá ser comercializado pela empresa criada pelos próprios pesquisadores que desenvolveram o equipamento.



**Figura 9 - Monitor Fetal**

Fonte: Cugnasca [3]



#### 4.4 SENSOR PARA MONITORAR A PRESSÃO ARTERIAL [8]

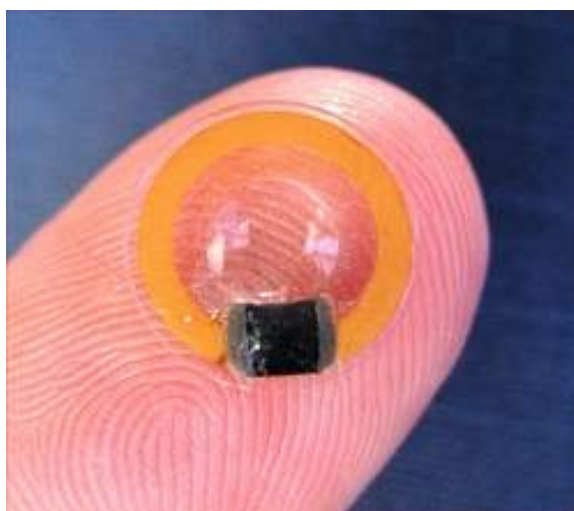
Cientistas do Instituto Fraunhofer, na Alemanha, estão desenvolvendo um novo sensor que, quando totalmente pronto, poderá monitorar em tempo integral não apenas a pressão intra-ocular, mas também a pressão sanguínea, do cérebro e até da bexiga, disparando um alarme assim que esses indicadores subam acima dos níveis de segurança.

Se pressão ocular, por exemplo, fica muito alta, as fibras do nervo óptico morrem, resultando em perdas parciais de visão ou até mesmo na cegueira completa. O problema é que o glaucoma - a pressão intra-ocular elevada - não causa dor e geralmente só é detectada muito tarde. A catarata é outra consequência comum da elevação da pressão interna dos olhos. E o mecanismo é o mesmo para quem sofre de hipertensão arterial. O sensor, medindo 2,5 por 2,6 milímetros, foi incorporado em uma lente de contato.

As partes de cima e de baixo do sensor são formadas por eletrodos. Os eletrodos superiores - que ficam voltados para o olho - são flexíveis e os inferiores são rígidos. Quando a pressão intra-ocular aumenta os eletrodos flexíveis são empurrados em direção aos eletrodos fixos, alterando a capacitância do circuito. Essa capacitância, medida constantemente pelo circuito eletrônico do sensor, é o indicador que aponta se as coisas vão bem ou se o paciente precisa ir rapidamente para o médico.

Utilizando uma minúscula antena, o sensor envia o valor da pressão intra-ocular para um leitor que fica fixo na armação dos óculos, permitindo a leitura precisa da informação.

Outras possibilidades de uso são para pessoas que possuem incontinência urinária, já que ele pode monitorar a pressão no interior da bexiga, assim como para portadores de alta pressão intracraniana.



**Figura 10 - Sensor para monitorar pressão arterial ocular**

Fonte: Cugnasca [3]

#### 4.5 PANORAMA DO USO DAS REDES DE SENSORES PARA A ECONOMIA BRASILEIRA [16]

As redes Sensores podem ajudar bastante ao país a se conhecer e oferecer maior qualidade em seus produtos, conseqüentemente, mais competitivo no mercado internacional.

**Meio ambiente:** RSSFs podem ser aplicadas para ajudar a conhecer e monitorar o meio ambiente de regiões do país, principalmente do Pantanal e região Amazônica. Além disso, a nossa flora ainda é bastante desconhecida.

**Agricultura.** No futuro, pode ser decisivo para a exportação de grãos e alimentos do país ter a capacidade de rastrear a qualidade do produto agrícola

desde a colheita no campo até a mesa do consumidor. No futuro todo alimento vendido na UE deve ser rastreável, caso contrário não poderá ser comercializado.

**Pecuária.** O desenvolvimento de métodos baseados em redes de sensores sem fio para a identificação da paternidade de animais gerados a partir de touros múltiplos possibilitará a agregação de enorme volume de informações aos programas de avaliação genética de bovinos de corte.

## 5 CONCLUSÃO

Após a elaboração deste trabalho, é possível concluir que rede de sensores é o assunto que atualmente está voltado ao nosso dia a dia. Algumas áreas das quais foram descritas, pode ser feita a substituição do homem por um simples sensor. A capacidade de informações detectadas e a economia na utilização de um aparelho que provenha de um sensor fazem com que ocorra esta troca do homem pela máquina. Algumas áreas isoladas das grandes cidades operariam sem a necessidade de homem algum caso houvesse a necessidade de algum tipo de monitoramento, ou seja, as redes de sensores são autônomas e requerem um grau elevado de cooperação entre seus elementos para executar um objetivo comum. Muitas vezes a substituição do homem pela máquina se torna um assunto polêmico, pelo o fato de provocar desemprego.

Um ponto que ainda deve ser tratado com cuidado é a questão da segurança de dados. As informações de uma rede de sensores devem ser totalmente restritas, impossibilitando o acesso de qualquer pessoa que não faça parte da rede.

Neste trabalho foi abordada a necessidade, ou habilidade, de informações que, através do avanço tecnológico, permitem que as redes de sensores venham fazer parte do nosso cotidiano, destacando suas funcionalidades e onde são empregadas.

## 6 REFERÊNCIAS

- [1] PEREIRA M. R., AMORIM C. L. **Tutorial sobre Redes de Sensores**, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação COPPE/UFRJ, 2004.
- [2] TILAK S., ABU-GHAZALEH N.B. e HEINZELMAN W. **A taxonomy of wireless micro-sensor network models**, In **Proceedings of the ACM Workshop on Wireless Security**, ACM Press, 2002, pp 28-36.
- [3] CUGNASCA, CARLOS EDUARDO, **Redes de Sensores Sem Fio**, Laboratório de Automação Agrícola, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- [4] LOUREIRO A.A.F, et. AL, **Tutorial de Redes de Sensores Sem Fio**, 21º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Natal, 2003, Págs. 179-226.
- [5] NAKAMURA E. F., FIGUEIREDO C. M. S., e LOUREIRO A. A. F, **Disseminação de dados adaptativa em redes de sensores sem fio auto-organizáveis**, Gramado, RS, 2004, In Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores.
- [6] RUIZ L. B., et al. **Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio**, Departamento de Ciência da Computação da UFMG, Minas Gerais, 2004.
- [7] TÉCNOLÓGICA, Inovação **Monitoramento da Integridade Estrutural** - Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010110070727>. Acesso em: 14 maio. 2008.
- [8] TÉCNOLÓGICA, Inovação **Sensores no Corpo Humano** - Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010110071015>. Acesso em: 14 maio. 2008.
- [9] TÉCNOLÓGICA, Inovação **Monitor Fetal** Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010110070430>. Acesso em: 14 maio. 2008.
- [10] BARROS, Flavio Alencar do Rêgo **Rede de Sensores Sem Fio** - Disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2002\\_1/flavio](http://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2002_1/flavio). Acesso em: 24 fev. 2008.
- [11] PISTER, K., KATZ, R. e KAHN J. **Next century challenges: Mobile networking for smart dust**. In ACM MobiCom'99, Agosto 1999.
- [12] FIGUEIREDO C.M.S., NAKAMURA E.F. E LOUREIRO A.A.F., **Protocolo Adaptativo Híbrido para disseminação de dados em redes de sensores sem fio auto-organizáveis**, In aceito para publicação no SBRC04, 2004.
- [13] MACEDEO D.F., CORREIA L.H.A., NOGUEIRA J.M., e LOUREIRO A.A.F., **Um protocolo pró-ativo com coordenação de rotas em redes de sensores sem fio**. In Simpósio Brasileiro de Redes Sensores de Computadores, Gramado, RS, 2004.

- [14] TANENBAUM, A. S., **Redes de Computadores**, Ed. Campus, 4ª edição, 2003.
- [15] TÉCNOLÓGICA, Inovação **PAN 2007** Disponível em: <http://www.inovacao tecnologica.com.br/noticias>. Acesso em: 14 maio. 2008.
- [16] JOHNSON T. M., MARGALHO M., **Redes de Sensores Sem Fio para Monitoramento AgroClimatológico na Amazônia**. Universidade da Amazônia, Belém, PA, 2006.