

REDES SEM FIO



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS

Redes de sensores sem fio

Lídia Patrícia Cruz Silva

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- > Explicar a arquitetura, a classificação e o nó sensor.
- > Identificar as aplicações de redes de sensores sem fio.
- > Descrever os algoritmos de roteamento em redes de sensores sem fio.

Introdução

A área de microprocessadores, novos materiais de sensoriamento, microssistemas eletromecânicos (MEMS – *micro electro-mecanical systems*) e a comunicação sem fio têm avançado muito nos últimos anos. Com isso, tem-se desenvolvido e utilizado sensores inteligentes nos mais diversos ramos, como medicina, militar, geologia, automobilística, etc.

As redes de sensores sem fio (RSSF) são diferentes das redes de computadores tradicionais em vários aspectos, já que, em geral, apresentam uma grande quantidade de nós distribuídos aleatoriamente e restrições do uso de energia, além de precisarem dispor de mecanismos de adaptação e auto-configuração para contornar possíveis falhas na comunicação e perda de nós. As RSSF tendem a ser autônomas e demandar um alto grau de cooperação para executar as tarefas definidas para a rede.

Neste capítulo, você identificará a arquitetura e a classificação das RSSF, os componentes do nó sensor inteligente, além das aplicações desse tipo de rede e de seus algoritmos de roteamento.

Arquitetura, classificação e nó sensor das RSSF

Uma RSSF é um conjunto de pequenos sensores que podem gerar e/ou repassar dados, operando de maneira colaborativa com o objetivo de realizar o controle de um ou mais parâmetros físicos observados em determinada área. Os dados obtidos sobre esses parâmetros são enviados para um sistema de supervisão e controle centralizado e, por meio de aplicações, os usuários podem observar e interpretar essas informações (ZHENG, 2009). Uma das principais finalidades das RSSF consiste na obtenção de informações distribuídas sobre parâmetros físicos em tempo real.

Arquitetura de uma RSSF

Em uma arquitetura típica, uma RSSF apresenta os seguintes componentes básicos (TELECO, 2020b):

- campo de sensoriamento;
- nós sensores sem fio;
- nós de controle (*data sink*);
- gerenciados de aplicações.

O funcionamento de uma RSSF e de seus componentes pode ser visto na Figura 1: os nós sensores são distribuídos normalmente em um campo de sensoriamento e o nó sensor E coleta dados e os repassa para os nós intermediários (B, C, B, A), por saltos múltiplos (*multihop*), até chegar ao nó de controle (*sink*), que utiliza a internet ou um satélite para repassar os dados para um gerenciador de aplicações.

Na Figura 2, é possível observar a pilha de protocolos utilizada pelos nós sensores e pelo *data sink*. Ela gerencia o conhecimento de energia (potência) e de mobilidade (roteamento), integra os dados com protocolos de rede, realiza comunicação utilizando a energia de modo eficiente e promove a cooperação entre os nós sensores. Esse modelo de referência de protocolos segue um modelo de cinco camadas: aplicação, transporte, rede, enlace e física (COSTA; LISBOA; SANTOS, 2003).

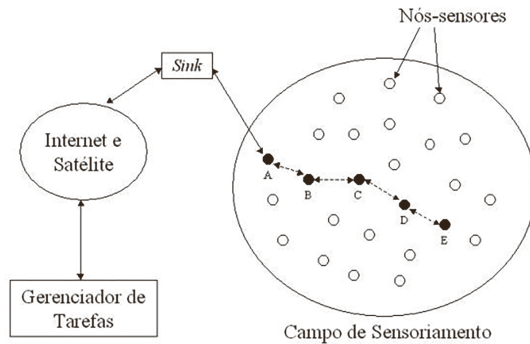


Figura 1. Componentes de uma RSSF.

Fonte: Tavares (2002, documento *on-line*).

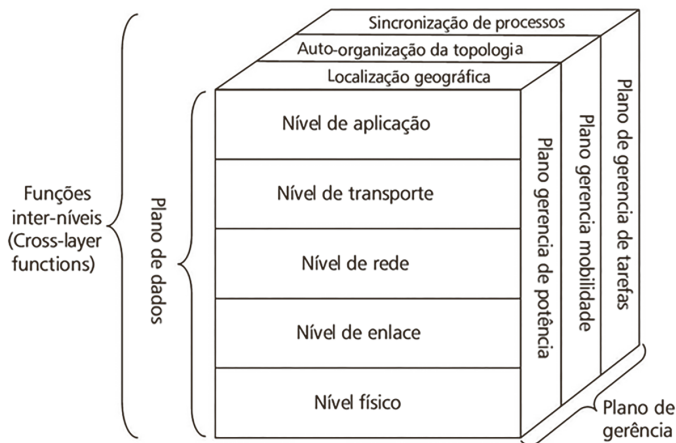


Figura 2. Pilha de protocolos de uma RSSF.

Fonte: Adaptada de Akyildiz e Vuran (2010).

Na camada de aplicação, diferentes tipos de *software* de aplicação podem ser utilizados. A camada de transporte é responsável por manter o fluxo de dados (caso seja necessário) e a de rede tem a função de rotear os dados provenientes da camada de transporte. As camadas de rede e transporte formam o *middleware* das RSSF. Pela possível mobilidade dos nós sensores, na camada de enlace, o protocolo *Medium Access Control* (MAC) deve monitorar a energia nos nós sensores e reduzir o número de colisões com transmissões

vizinhas. A camada física precisa prover um sistema de modulação simples e robusto, além de técnicas de transmissão e recepção.

Os planos de potência, tarefas e mobilidade monitoram o consumo energético, a movimentação e a distribuição das tarefas nos nós sensores. Isso ocorre nas diferentes camadas das RSSF e são chamadas de funções interníveis (*cross-layer functions*). O plano de gerenciamento de energia é responsável pela maneira como os nós sensores utilizam sua energia, e o de mobilidade tem o objetivo de detectar e registrar os movimentos dos nós sensores, para manter rotas que sempre voltem para o usuário. Os nós sensores mantêm uma lista dos nós vizinhos e, assim, podem equilibrar o uso energético e as tarefas que executam. O plano de gerenciamento de tarefas equilibra e escalona as tarefas de sensoriamento. As tarefas de sensoriamento não precisam ser realizadas por todos os nós de determinada região. Com isso, alguns nós podem realizar quantidades diferentes de tarefas dos outros nós, o que depende do nível energético. Os planos de gerenciamento possibilitam o trabalho em conjunto dos nós sensores, de modo eficiente quanto ao uso energético e ao possível roteamento de dados pela rede, além de compartilhar recursos entre os nós sensores.

Classificação das RSSF

As RSSF podem ser classificadas de diversas formas e por diferentes autores. A classificação adotada neste capítulo se baseará em um critério de arquitetura, de acordo com Akyildiz e Vuran (2010), pelo qual as RSSF podem ser divididas em duas classes: redes de sensores sem fio *ad hoc* (RSSFA) e redes de sensores sem fio *mesh* (RSSFM).

As RSSFA passaram por um grande desenvolvimento na última década. Elas são formadas por um conjunto de nós sensores fixos distribuídos de maneira arbitrária, os quais se comunicam com um nó de controle (*data sink*), que recebe dados dos sensores e os repassa para um gerenciador de aplicação. As RSSFA são auto-organizadas e não infraestruturadas, ou seja, não dispõem de roteadores específicos que formam uma infraestrutura de comunicação (um *backbone*). Dessa forma, cada nó deve encaminhar corretamente seus dados e de seus vizinhos. Para isso, precisa utilizar protocolos de roteamento com alta eficiência energética e de alto desempenho. Os sensores funcionam de maneira cooperativa entre si. Os principais objetivos das RSSFA são o monitoramento, o rastreamento e a medição de objetos ou de condições ambientais como pressão, temperatura, umidade, som e imagem. Em geral,

os nós sensores são alimentados por baterias de baixa capacidade. Por isso, apesar de a localização dos nós ser fixa, a topologia da rede pode variar, de acordo com o gerenciamento de consumo energético dos sensores.

A Figura 3 mostra uma RSSFA fixa e não infraestruturada. A conexão do nó A passa pelos nós intermediários B e C, chegando a um nó de controle (*data sink*), um roteador IP e, finalmente, a um gerenciador de aplicação (ROCHOL, 2018).

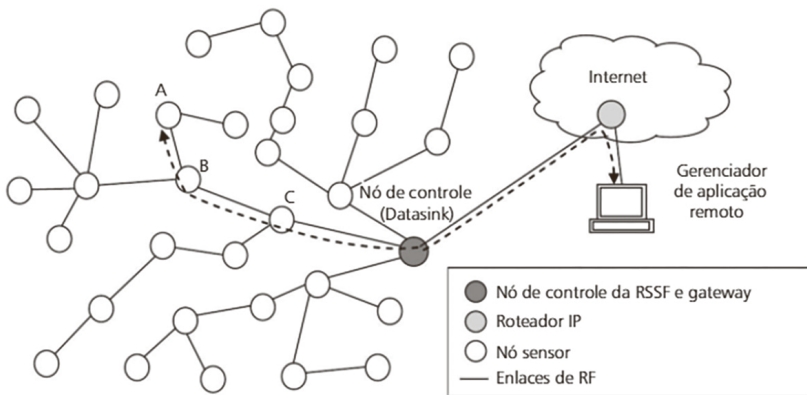


Figura 3. RSSFA.

Fonte: Rochol (2018, p. 171).

Nas RSSFM, os sensores também são distribuídos randomicamente. No entanto, esse tipo de rede dispõe de uma infraestrutura de comunicação que se baseia em um *backbone* do tipo *mesh*, composta por roteadores, com os quais os sensores se conectam. Por esse motivo, as RSSFM também são conhecidas como redes de sensores infraestruturadas (WIKIPEDIA, 2020). As RSSFM apresentam maior confiabilidade e custo por terem redundância nos caminhos que as malhas de comunicação oferecem.

A Figura 4 mostra a arquitetura típica de uma RFFSM, composta por um conjunto de sensores sem fio que foram *clusters* (conjuntos), que se conectam de forma autônoma a roteadores/*bridges* de *backbone* que se conectam entre si constituindo um suporte de comunicação do tipo *mesh* (malha) ou *backbone*. Os nós dessa malha conseguem executar tarefas de roteamento, comutação ou de *gateway*. O principal objetivo dessa infraestrutura em malha consiste em fornecer suporte para que a comunicação dos sensores chegue ao nó coordenador da malha (*data sink*). Este se conecta a um gerenciador

de aplicação pela internet. Os nós sensores desse tipo de rede cobrem uma área geográfica limitada e, em geral, não apresentam mobilidade. As reconfigurações de topologia desse tipo de rede ocorrem quando algum nó sensor apresenta falhas (ROCHOL, 2018).

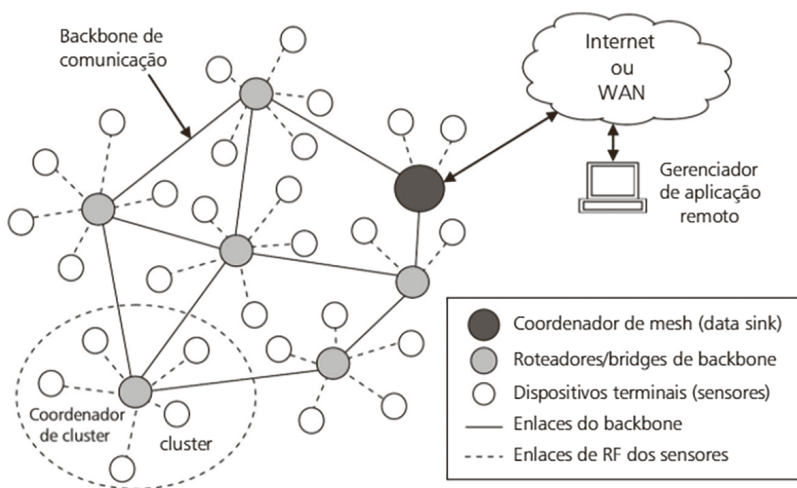


Figura 4. RFFSM.

Fonte: Rochol (2018, p. 173).

Existe outro tipo de RSSF que merece atenção: as redes móveis *ad hoc* MANET (*Mobile Ad Hoc NETwork*), cujos nós, como o nome sugere, podem se mover de modo independente, em qualquer direção, modificando frequentemente as conexões com os nós vizinhos. Os nós devem ser capazes de repassar os dados dos vizinhos, efetuando a tarefa de saltos múltiplos (*multihop*), fim a fim, além de repassar suas próprias informações. Os dados sobre a topologia em uma MANET podem ser coletados de maneira centralizada ou distribuída — na centralizada, um nó de controle mantém dados sobre a topologia da rede além das possíveis conexões para chegar a cada um de seus nós, e, na distribuída, cada nó cria e mantém tabelas de conexões com os nós vizinhos (AKYILDIZ; VURAN, 2010).

Em uma MANET infraestruturada, o nó de controle da malha *backbone* também executa tarefas de *gateway*, concedendo acesso a um ISP (*Internet Service Provider*) e, assim, a conexão a um gerenciador de aplicação remoto.



Saiba mais

Um exemplo de uma topologia MANET infraestruturada é o padrão ZigBee, que utiliza a definição IEEE 802.15.4 e especifica a comunicação sem fio confiável entre dispositivos eletrônicos, enfatizando o baixo consumo de energia, a baixa taxa de transferência de dados e o baixo custo de implementação (TELECO, 2020a).

Nó sensor inteligente

Os sensores inteligentes são pequenos dispositivos que têm se tornado cada vez mais inteligentes, baratos e menores, motivo pelo qual apresentam recursos de processamento e energia limitados. A Figura 5 mostra os componentes básicos de um nó sensor inteligente: a unidade de sensoriamento, a unidade de processamento, a unidade de energia e a unidade de transmissão/recepção (SILVA *et al.*, 2005).

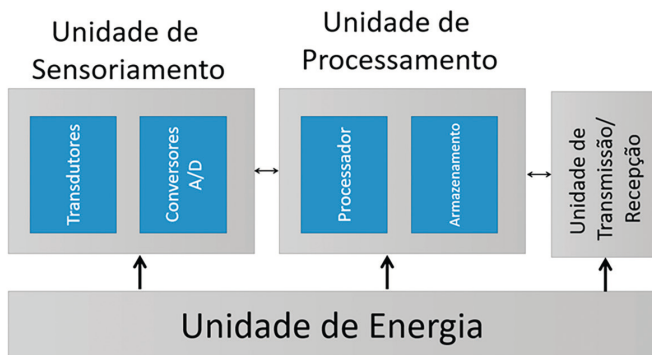


Figura 5. Componentes do nó sensor inteligente.

A unidade de sensoriamento é composta por transdutores, responsáveis pela captação dos fenômenos observados e pela transformação destes em sinais analógicos, e conversores A/D (analógico/digital), que convertem os dados originados dos transdutores em sinais digitais para posterior utilização na unidade de processamento. A unidade de processamento é formada por um processador e uma pequena unidade de armazenamento, sendo responsável pelos procedimentos que promovem a colaboração entre os sensores para

realizar tarefas de sensoriamento. A unidade de energia representa uma das mais importantes, pois deve fornecer toda a energia necessária para o funcionamento do nó sensor inteligente. A unidade de transmissão/recepção tem a finalidade de realizar a comunicação do nó sensor na camada física de rede.

A principal finalidade de um nó sensor inteligente consiste em realizar a coleta de dados, a partir de um ou mais transdutores, que captam fenômenos físicos, processam esses dados e repassá-los a seus nós vizinhos e, assim, fazer com que os dados cheguem ao nó de controle. Eles têm a capacidade de medir, observar ou detectar fenômenos, como temperatura, luminosidade, pressão, movimento, padrões visuais e diversos outros fenômenos físicos. Os nós sensores inteligentes podem ser utilizados de maneira contínua ou intermitente para detectar ou identificar eventos, de forma remota ou local (ROCHOL, 2018).

Aplicações das RSSF

As RSSF podem ser implementadas em diferentes tipos de aplicações, como militares, no meio ambiente, na saúde, em edificações e residências, industriais, automotivas, entre outras.

As características das RSSF (instalação rápida, auto-organização, tolerância a falhas) são propícias para aplicações militares, considerando ser o seu fator principal a urgência. Podem ser empregadas em sistemas militares de controle, comando, comunicações, computação, inteligência, vigilância, mira e reconhecimento, por exemplo: monitoramento de tropas, munição e equipamento, com sensores afixados a eles, fornecendo dados sobre seus *status* em tempo real; vigilância em campo de batalha (sensores implantados em terrenos ou rotas que podem informar a movimentação/presença de tropas inimigas); avaliação de danos em batalhas, sistemas de mira (RSSF incorporadas a munições inteligentes, como *drones*); e detecção e reconhecimento de ataques nucleares, biológicos ou químicos (RSSF dispostas no solo amigo para fornecer informações antecipadas sobre esses tipos de ataque).

Com o barateamento das RSSF, é possível fazer uma cobertura de área muito maior. Por esse motivo, elas têm sido muito utilizadas para o monitoramento do meio ambiente, podendo observar diferentes aspectos, como vegetação, solo, luminosidade, clima, poluição, incêndios, atividades sísmicas, animais, etc. As RSSF podem ser utilizadas para evitar catástrofes ambientais, como terremotos, enchentes, erupções vulcânicas, etc.

Na área da saúde, o desenvolvimento de RSSF para prevenir e tratar doenças tem evoluído constantemente. As RSSF são utilizadas no monitoramento de pacientes, no diagnóstico de doenças, no monitoramento de administração de drogas e no monitoramento de médicos e pacientes em hospitais.

Em edifícios e residências, as RSSF são utilizadas em elevadores de acesso inteligentes, controle do consumo de água e energia, vigilância, controle de iluminação e detecção de incêndios (ROCHOL, 2018).

Na área industrial, as RSSF podem ser utilizadas para controle de processos (p. ex., inserir sensores em componentes em uma linha de montagem para testar o processo de manufatura), bem como no monitoramento de condições como fluxo, pressão, temperatura e níveis, para detecção de problemas como superaquecimento de máquinas e caldeiras, vazamentos, etc.

Nos automóveis, as RSSF podem ser implementadas para monitorar a pressão dos pneus, acender faróis com sensores de luminosidade, detectar colisões, fazer alertas para utilização de cinto de segurança, auxiliar na direção para ultrapassagens, entre outros.

De acordo com Sousa *et al.* (2009), as RSSF apresentam características diferentes de acordo com suas aplicações, como as descritas a seguir.

Endereçamento dos sensores: cada sensor da RSSF pode ser endereçado unicamente ou não. No caso de aplicações em que deseja saber o local exato de onde o dado está sendo coletado, o nó sensor deve ser endereçado individualmente.

Agregação de dados: uma RSSF deve conseguir agregar ou resumir dados coletados pelos sensores. Quando elas apresentam essa funcionalidade, a quantidade de mensagens que precisam ser transmitidas na rede é reduzida.

Mobilidade de sensores: os sensores podem se mover ou ficar parados em uma localização fixa.

Restrição de dados coletados: os dados coletados pelos nós sensores podem ter alguma restrição, como um intervalo de tempo máximo para coleta e encaminhamento para a estação-base.

Quantidade de sensores: as RSSF devem ser escaláveis, caso seja necessário aumentar a quantidade de sensores da rede, sem muitas complicações.

Limitação da energia disponível: em virtude do tamanho e da localização dos nós sensores, já que podem ser distribuídos em lugares de difícil acesso para manutenção, o consumo energético deve sempre ser levado em consideração pelos algoritmos e protocolos.

Auto-organização da rede: pela falta de energia ou por condições críticas, alguns sensores podem ser perdidos. Com isso, a rede deve ter mecanismos de auto-organização para que seu funcionamento não seja interrompido.

Tarefas colaborativas: uma das principais finalidades de uma RSSF consiste na execução de tarefa de forma colaborativa, detectando e estimando os eventos de interesse, sem se restringir ao fornecimento de mecanismos de comunicação.

Capacidade de responder a consultas: um nó individual ou um conjunto de nós deve conseguir responder a uma consulta sobre dados coletados.

Algoritmos de roteamento em redes de sensores sem fio

Existem algoritmos de roteamento variados nas RSSF, cada um dos quais com uma influência sobre a rede e seus recursos, determinando a melhor rota de destino e a forma de distribuição dos dados entre os nós. Existem diversas maneiras de classificar os protocolos de roteamento, com base em características físicas e lógicas. Uma possível classificação, sugerida por Schneiders (2006), fundamenta-se em quatro critérios:

1. Quanto à arquitetura da rede:
 - algoritmo de roteamento plano – o roteamento de pacotes é realizado com base na comunicação ponto a ponto, dentro do alcance de propagação dos nós. É aplicado em RSSF do tipo *ad hoc*, no qual todos os nós são iguais, ou seja, têm as mesmas funcionalidades e responsabilidades;
 - algoritmo de roteamento hierárquico – aplicado, geralmente, em RSSFM. Nesse tipo, a arquitetura apresenta pelo menos dois níveis de hierarquia. Em um nível mais baixo, os nós geograficamente próximos realizam conexões ponto a ponto. Pelo menos um nó é utilizado como *gateway* para o próximo nível. O nó de *gateway* geralmente tem maior poder de processamento e vazão de dados, formando um *backbone* do tipo malha.
2. Quanto à descoberta de rotas (sem utilizar algoritmos de roteamento e atualização de topologia), observam-se duas técnicas:

- inundação (*flooding*) – cada nó sensor recebe dados e faz um *broadcast* para os nós vizinhos, continuamente, até que as informações cheguem ao destino. Essa técnica provoca muito tráfego na rede;
 - boataria (*gossiping*) – o nó escolhe, aleatoriamente, uma única saída e envia a informação até que ela chegue ao nó de destino. Trata-se de uma técnica que promove menos tráfego na rede.
3. Quanto à construção de rotas:
- reativos – uma rota somente é criada quando o nó necessita enviar dados para determinado destino, e este não tem sua rota. Isso possibilita menor utilização de banda e de energia, no entanto demora mais tempo para obter as rotas;
 - proativos – baseiam-se nas tabelas de rotas dos nós, que precisam ser atualizadas regularmente;
 - híbridos – uma parte dos nós realiza atualização periódica e a outra parte opera de forma reativa.
4. Quanto ao tipo de relação entre emissor e receptor:
- *unicast* – um único nó envia dados para um único receptor;
 - *multicast* – os dados são copiados e enviados para um subconjunto dos possíveis receptores.

A maneira como os algoritmos determinam as melhores rotas para os destinos e como os dados são distribuídos entre os nós define a métrica adotada pelo protocolo, o que diferencia os protocolos de roteamento. Algumas métricas utilizadas para calcular as melhores rotas nas RSSF são:

- atraso (rotas que apresentam menor atraso);
- largura de banda (rotas que utilizam maior largura de banda);
- comprimento (menor rota);
- confiabilidade (rota mais confiável, com maior resiliência);
- carga (rota com menor carga);
- custo (rota com menor custo energético);
- vazão de rede (rota com maior vazão).

Os algoritmos podem utilizar uma ou mais métricas em conjunto para determinar a melhor rota, de acordo com o projeto da RSSF (ROCHOL, 2018).



Saiba mais

Mesmo tendo mais exigências por conta da limitação de consumo energético, banda reduzida e taxas de erros alta, as RSSF herdaram muitos protocolos de roteamento já existentes para *wireless local area network* (WLAN) *ad hoc*. Os algoritmos de roteamento de uma RSSF *ad hoc*, assim como em redes cabeadas, basearam-se em algoritmos básicos, como estado de enlace (*link state*) e vetor de distância (*distance vector*). Alguns protocolos com construção de rotas proativa são DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector*), WRP (*Wireless Routing Protocol*) e GSR (*Global State Routing*). Os protocolos ABR (*Area Border Router*), DSR (*Dynamic Source Routing*), AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*) e LAR (*Location-Aided Routing*) representam exemplos de protocolos com construção reativa, e o protocolo ZRP (*Zone Routing Protocol*) tem construção híbrida (ROCHOL, 2018).

As RSSF são muito versáteis e podem ser utilizadas nos mais diversos tipos de aplicações. Têm ocorrido muitas evoluções na última década, com o barateamento dos sensores e a redução do seu tamanho. O projeto de uma RSSF deve levar em consideração fatores como tolerância a falhas, escalabilidade, consumo energético, custo de produção, ambiente em que operará, restrições de *hardware*, topologia de rede e meio de transmissão, com os quais os algoritmos desenvolvidos para as RSSF devem ser capazes de lidar.

Referências

- AKYILDIZ, I. F.; VURAN, M. C. *Wireless sensor networks*. Sigapore: Wiley, 2010.
- COSTA, I. M.; LISBOA, N. D.; SANTOS, T. P. *Redes de sensores inteligentes sem fio*. Natal: Universidade do Rio Grande do Norte, 2003.
- ROCHOL, J. *Sistemas de comunicação sem fio: conceitos e aplicações*. Porto Alegre: Bookman, 2018. (Série Livros Didáticos Informática UFRGS, v. 24).
- SCHNEIDERS, L. A. *Uma proposta de otimização no processo de integração entre redes infraestruturadas e MANET's*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- SILVA, F. A. et al. *Tecnologia de nós sensores sem fio*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, [2005].
- SOUSA, M. P. et al. Performance evaluation of a selective cooperative scheme for wireless sensor networks. In: ACM SYMPOSIUM ON PERFORMANCE EVALUATION OF WIRELESS AD HOC, SENSOR, AND UBIQUITOUS NETWORKS, 6., 2009. *Proceedings* [...]. [S. l.]: ACM PEWASUN, 2009.
- TAVARES, P. L. *Redes de sensores sem fio*. 2002. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/Redes%20de%20sensores/Redes%20de%20Sensores%20Sem-fio.htm. Acesso em: 12 dez. 2020.

TELECO. *Redes de sensores sem fio: arquitetura e gerência*. 2020b. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/pagina_4.asp. Acesso em: 12 dez. 2020.

TELECO. *ZigBee: o que é*. 2020a. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_1.asp. Acesso em: 12 dez. 2020.

WIKIPEDIA. *Wireless mesh network*. 2020. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network. Acesso em: 12 dez. 2020.

ZHENG, P. *et al. Wireless networking complete*. Amsterdam: Elsevier, 2009.



Fique atento

Os *links* para *sites* da *web* fornecidos neste capítulo foram todos testados, e seu funcionamento foi comprovado no momento da publicação do material. No entanto, a rede é extremamente dinâmica; suas páginas estão constantemente mudando de local e conteúdo. Assim, os editores declaram não ter qualquer responsabilidade sobre qualidade, precisão ou integralidade das informações referidas em tais *links*.

Conteúdo:



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS