

Sistemas de Conectividade

Aula 10 - Além do Ethernet: redes sem fio 802.11 - parte 2

Apresentação

Olá, pessoal!

Na aula 9, começamos a estudar o padrão de redes sem fio IEEE 802.11, desenvolvido especialmente para criar conectividade *wireless* em redes LAN corporativas e domésticas. Vimos os dois modos da arquitetura do 802.11, chamados de infraestrutura e *Ad hoc*.

Conhecemos também o papel do Access Point e como ele trabalha para divulgar uma rede sem fio aos clientes que estão em suas redondezas, e encerramos a última aula falando da camada física do 802.11 e dos aspectos relevantes para a escolha de canais a fim de evitar conflitos com outras redes sem fio próximas.

Nesta aula, continuaremos a estudar o 802.11 e nos aprofundaremos nesse padrão de rede. Iniciaremos pelo protocolo de acesso ao meio físico CSMA/CA do 802.11, que é semelhante ao CSMA/CD do Ethernet. Estudaremos também os formatos dos quadros do 802.11 e encerraremos a aula tratando do uso do 802.11 em enlaces WAN para interligar prédios dentro de uma cidade.

Objetivos

- Entender o protocolo CSMA/CA do 802.11;
- Identificar os quadros de controle RTS e CTS;
- Conhecer o formato do quadro do 802.11.

Protocolo de Acesso do 802.11

Como o 802.11 abrange as camadas física e de enlace, é natural que ele possua um protocolo de controle de acesso ao meio, para que tal protocolo determine quando as estações podem enviar seus quadros no meio físico, nesse caso, o ar.

Diferenças entre Ethernet e 802.11

O protocolo de acesso ao meio do 802.11 é semelhante ao CSMA/CD (o protocolo de acesso ao meio utilizado nas redes Ethernet), mas, devido às características das transmissões de rádio, não se utiliza detecção de colisão. Você sabe que, para detectar colisões, as placas de rede devem ser capazes de escutar o meio ao mesmo tempo em que transmitem. Entretanto, para sinais de rádio, isso iria requerer um *hardware* mais complexo e muito mais caro.

Já o protocolo CSMA/CA (CA significa *Collision Avoidance*, ou seja, evitando colisões) atua na prevenção das colisões. Em redes sem fio, nem todas as estações na rede são capazes de escutar os sinais transmitidos por todas as outras estações. Esse problema chama-se “estação escondida” e será explicado em detalhes ainda nesta aula. Portanto, em vez de detectar as colisões, o protocolo CSMA/CA de acesso ao meio do 802.11 procura evitá-las. Como você verá, ele não elimina completamente as colisões, mas reduz as chances de elas ocorrerem.

Outra diferença importante entre o 802.11 e o Ethernet é que, devido à probabilidade de ocorrerem erros durante as transmissões dos quadros em uma rede sem fio ser muito maior que em uma rede cabeada, o 802.11 utiliza um mecanismo de confirmação para os quadros que são recebidos com sucesso. Esses quadros de confirmação são quadros do tipo “controle” e são conhecidos como quadros ACK (*ACKnowledge*, reconhecer, confirmar). Quadros recebidos com erros são apenas descartados, portanto, nada é enviado ao transmissor para informar o erro. Mecanismos das camadas superiores poderão detectar que a sua PDU não foi entregue, como será o caso do TCP, por exemplo.

O mecanismo para evitar as colisões consiste em utilizar um campo no quadro, chamado “duração”, para informar quanto tempo a transmissão demorará. As outras estações, ao verem esse campo, criam um temporizador (designado **Vetor de Alocação de Rede – NAV**) que determina quanto tempo elas devem esperar até tentarem transmitir.

Controlando as Transmissões

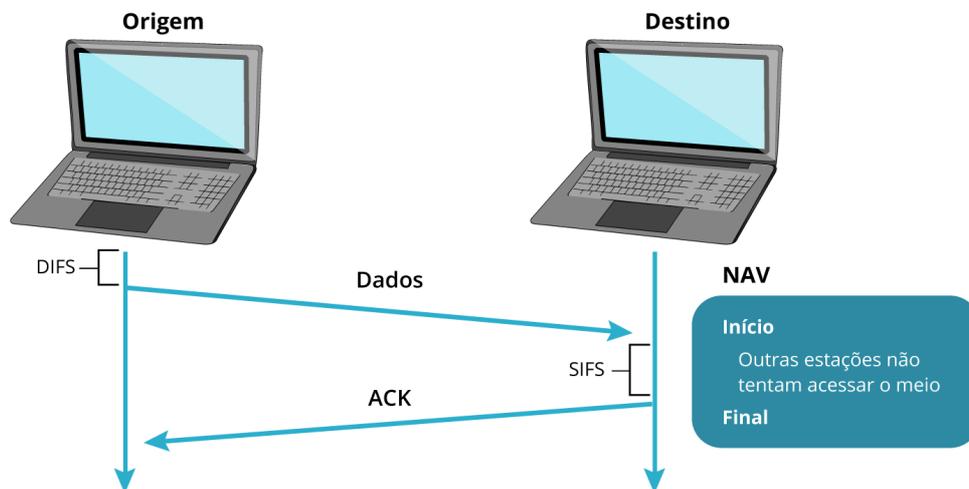
No 802.11, existem dois modos para controlar as transmissões: Função de Coordenação Distribuída (DCF) e Função de Coordenação Pontual (PCF). Embora o PCF tenha sido criado para fornecer garantias de qualidade de serviço (QoS), ele possui alguns problemas e não chegou a ser utilizado na prática. Para essa finalidade foi definido o 802.11e. Nesta aula, estudaremos apenas o DCF, no qual todas as estações têm a mesma prioridade e não há garantias de tempo para entrega dos quadros.

No DCF, os diferentes tipos de quadros (gerenciamento, controle e dados) têm uma prioridade para serem transmitidos: os quadros de controle têm uma prioridade maior que os outros dois tipos, tendo tal prioridade garantida por meio da utilização de intervalos de tempo entre as transmissões, chamados de Espaço Entre Quadros (*Inter Frame Space – IFS*). No DCF, utilizamos o *DCF Inter-Frame Space* (DIFS) e o *Shortest Inter-Frame Space* (SIFS). O SIFS é utilizado para quadros de controle e é menor que o DIFS, de modo a fornecer maior prioridade a esses quadros.

Antes de transmitir, cada estação deve verificar que a rede esteja em silêncio por um período de tempo igual ao DIFS. Após esse período, ela pode transmitir seu quadro. Caso a estação detecte que alguma outra estação esteja transmitindo ou começando a transmitir durante o DIFS, ela irá esperar um tempo até tentar novamente, em um processo chamado *BackOffice*. A duração desse tempo é calculada através de um número aleatório gerado pela estação. No entanto, existe uma faixa de valores possíveis, que determina os valores mínimo e máximo possíveis, chamada Janela de Contenção. Sempre que a rede estiver em silêncio por um tempo DIFS, o tempo do *backoff* vai diminuindo; e sempre que outra estação

transmitir um quadro, o tempo para de ser decrementado pelo intervalo determinado pelo campo *duração* desse quadro. Finalmente, quando o tempo chegar a zero, a estação transmite seu quadro.

Figura 01 - Utilização do NAV para controle do acesso ao meio.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A **Figura 1** ilustra o funcionamento do NAV. Após ler o valor do campo duração no quadro de dados, tanto a estação de destino quanto todas as outras estações da rede que também recebem o quadro configuram seus temporizadores NAV para controlar por quanto tempo devem deixar de tentar acessar a rede. Portanto, embora não possa ser percebido pela **Figura 1**, a definição do NAV é feita antes do quadro de dados ser recebido totalmente. O tempo total do NAV inclui o tempo para receber todo o quadro de dados, o tempo do SIFS e o tempo para envio do ACK.

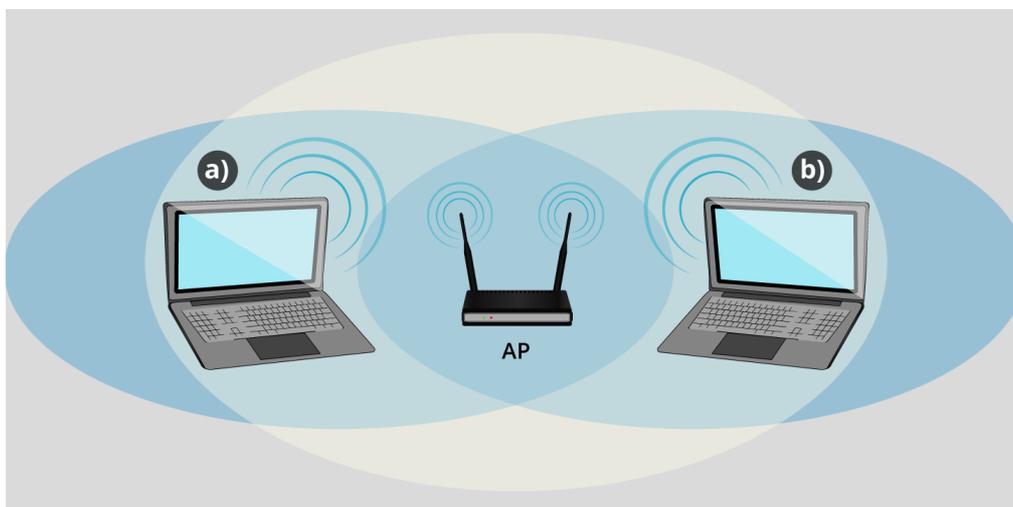
Contudo, ainda podem ocorrer colisões, visto que pode acontecer de duas estações transmitirem ao mesmo tempo. Assim, após o envio do quadro, se a estação não receber o ACK da máquina destino, é porque algum erro aconteceu e essa estação deverá, então, iniciar o processo de transmissão do quadro novamente. Nessa nova tentativa, o valor máximo do tempo de espera da janela de contenção aumenta, de modo que o valor gerado aleatoriamente tende a ser maior do que o anterior. Os ACKs são enviados pela estação destino após ela detectar que a rede está em silêncio por um tempo SIFS.

Quadros de Controle RTS e CTS

Existe um mecanismo opcional que pode ser utilizado para o controle das transmissões no 802.11 que utiliza dois quadros especiais do tipo “controle”, chamados *Request To Send* (RTS) e *Clear To Send* (CTS), que significam, respectivamente, “Requisição para Transmitir” e “Liberação para Transmitir”. Existem duas situações que motivaram o desenvolvimento desse mecanismo.

A primeira situação refere-se ao fato de que, embora o CSMA/CA reduza as probabilidades de colisão, elas ainda podem ocorrer. Desse modo, como não existe a detecção de colisão, quando os quadros de duas (ou mais) estações colidem, elas continuam transmitindo seus quadros até o final. Portanto, quanto maiores forem os quadros, mais tempo o meio ficará ocupado desnecessariamente, ou seja, transmitindo sinais que não serão aproveitados.

Figura 02 - Problema do terminal escondido.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

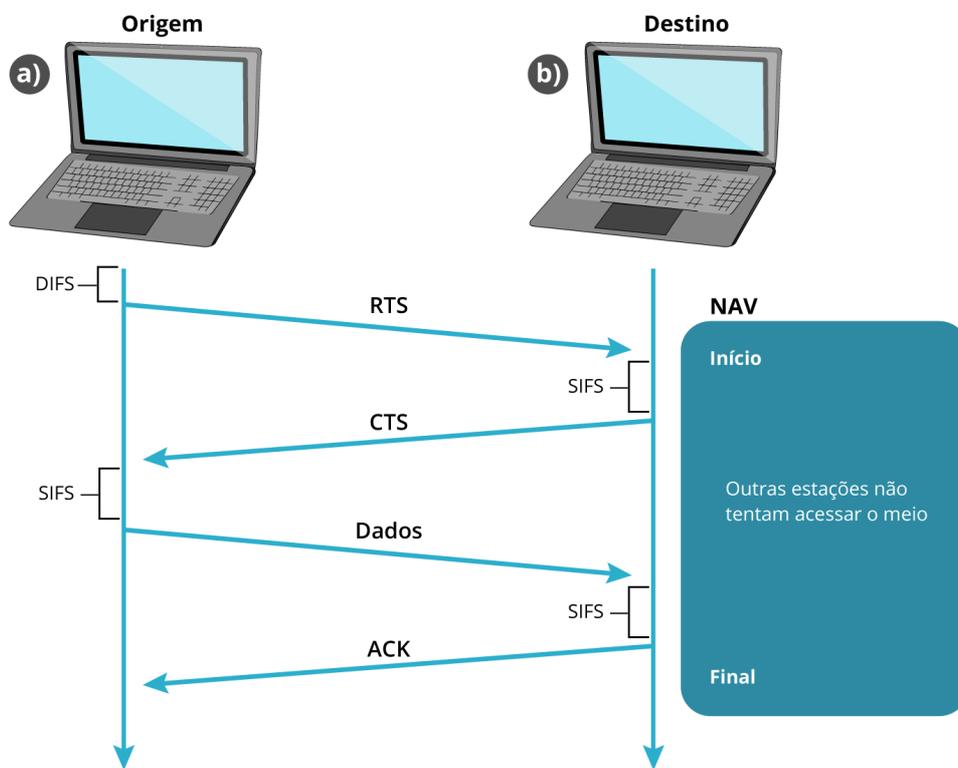
A segunda situação, conforme observado na **Figura 2**, é conhecida como “terminal escondido”. Imagine um cenário no qual existem duas estações, A e B. Os círculos representam a área de alcance dos sinais de cada equipamento, sendo que o círculo central se refere ao alcance do *Access Point* (AP) e os círculos laterais, por sua vez, ao alcance dos computadores. Por causa disso, o AP recebe os sinais de A e B, mas cada um deles não recebe os sinais enviados pelo outro. Desse modo,

podemos dizer que B é um terminal escondido para A, e vice-versa. Assim, quando A enviar um quadro para o AP, B não verá esse quadro e terá a impressão de que o meio está livre.

Para resolver os dois problemas citados, pode-se utilizar os quadros RTS e CTS. O RTS é um quadro de controle que uma estação utiliza antes de transmitir seu quadro de dados, solicitando que o meio fique reservado para ela pelo tempo informado no seu campo duração. A estação para o qual ele foi enviado, no caso o AP, responde com uma confirmação enviando um quadro de controle CTS. Ao receber o CTS em resposta ao envio do RTS, a estação de origem sabe que o meio estará livre para sua transmissão e envia seu quadro de dados. Observe que o CTS enviado pelo AP, conforme ilustra a **Figura 3**, também será recebido por B.

Portanto, embora B não tenha visto o quadro RTS, ela sabe que alguém deve estar querendo transmitir e também ficará em silêncio pelo tempo indicado no campo *duração* do quadro CTS. Os quadros RTS e CTS possuem um tamanho bem pequeno e o CTS é enviado após um intervalo SIFS. A **Figura 3** mostra como fica uma comunicação utilizando RTS e CTS.

Figura 03 - Comunicação utilizando RTS e CTS.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observe que ainda podem ocorrer colisões com os quadros RTS, mas como seu tamanho é pequeno, o tempo que isso manteria o meio ocupado é bem menor que para um quadro de dados de um tamanho grande. Se os quadros de dados a serem transmitidos forem pequenos, o mecanismo RTS/CTS não traria benefícios e, provavelmente, iria piorar o desempenho da rede. Na prática, o que se faz é configurar nos equipamentos um valor limite para o tamanho dos quadros a partir do qual se utiliza o mecanismo. Ou seja, se o quadro de dados a ser transmitido for maior que esse tamanho, o RTS/CTS será utilizado para esse quadro.

Atividade 01

1. Como o CSMA/CA evita as colisões usando os quadros RTS e CTS?

[Resposta](#)

Resposta

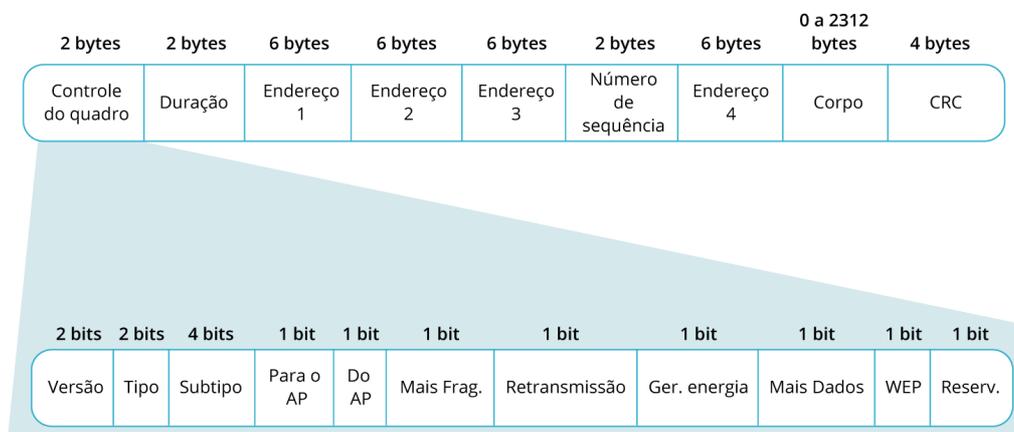
1. Para evitar que as estações transmitam simultaneamente, pois isso provocaria colisões, antes de enviar, a estação deve enviar um quadro RTS para o AP e este deve responder com um CTS informando que a estação já pode transmitir. Assim, se duas estações enviam um RTS, o AP só enviará o CTS para uma delas. A outra deverá esperar até que a que conseguiu a permissão termine de enviar seu quadro de dados.

Formato dos Quadros 802.11

O formato dos quadros 802.11 pode variar dependendo do tipo de quadro (controle, dados ou gerenciamento) e se esse quadro está sendo transmitido entre dois APs ou entre um AP e um computador. A **Figura 4** apresenta o formato completo do quadro e o formato do primeiro campo *Frame Control* (FC) ou, traduzindo, Controle do Quadro. Lembre-se de que, em vários tipos de quadros, alguns campos não estarão presentes. Observe também que, diferentemente do Ethernet, em que existem apenas dois campos de endereço chamados “endereço de

origem” e “endereço de destino”, no 802.11 podem existir até 4 endereços (dependendo da situação, alguns não são utilizados) e eles recebem os nomes Endereço 1, Endereço 2, Endereço 3 e Endereço 4.

Figura 04 - Formato do quadro 802.11 e o campo controle de quadro.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Antes de descrevermos os demais campos do Quadro 802.11, é preciso entender o primeiro campo, uma vez que ele é formado por diversos subcampos. O campo **Controle do quadro** contém diversas informações, descritas a seguir.

- **Versão:** indica a versão do protocolo 802.11. Atualmente, é utilizado o valor 0.
- **Tipo:** informa se o quadro é do tipo Gerenciamento, Controle ou Dados. Os valores para esses tipos são 00, 01 e 11, respectivamente.
- **Subtipo:** informa o subtipo específico do quadro. Existem, por exemplo, vários subtipos de quadros de controle, dentre os quais temos RTS, CTS, e ACK, que possuem como códigos 1011, 1100 e 1101, respectivamente. Observe que os campos de Tipo e Subtipo permitem identificar o formato do quadro, ou seja, quais campos o compõem. Não é por acaso que eles estão logo no início do quadro, pois, após eles serem lidos, os outros campos podem ser interpretados corretamente.
- **Para o AP:** também chamado Para o DS (Para o Sistema de Distribuição), se definido, indica que o quadro foi enviado de uma estação para um AP, ou de um AP para outro AP.

- **Do AP:** também chamado Do DS (Do Sistema de Distribuição), se definido, indica que o quadro foi transmitido por um AP. O destino pode ser uma estação ou outro AP. A combinação desse campo com o anterior permite a identificação de quem é o transmissor e de quem é o receptor do quadro (AP ou Máquina) e, portanto, determinará quais endereços estão presentes no quadro e quais os seus significados.
- **Mais Fragmentos:** indica que o quadro é um fragmento (um quadro pode ser dividido e cada parte é chamada fragmento) e existem mais fragmentos a serem transmitidos.
- **Retransmissão:** indica que esse quadro é a retransmissão de outro quadro o qual foi perdido, ou seja, de um quadro em que não se recebeu o ACK.
- **Gerenciamento de Energia:** indica que a estação está operando em modo de gerenciamento de energia. Não estudaremos esse modo nesta disciplina.
- **Mais Dados:** indica que a estação tem mais dados para transmitir.
- **WEP:** indica que a criptografia está sendo utilizada.
- **Reservado:** é um campo reservado, ou seja, não utilizado atualmente.

Agora que você entendeu a finalidade do campo **Controle do quadro**, observaremos a **Figura 5** e analisaremos cada um dos outros campos do quadro 802.11.

Figura 05 - Formato do quadro 802.11.

| | | | | | | | | |
|--------------------|---------|------------|------------|------------|---------------------|------------|----------------|---------|
| 2 bytes | 2 bytes | 6 bytes | 6 bytes | 6 bytes | 2 bytes | 6 bytes | 0 a 2312 bytes | 4 bytes |
| Controle do quadro | Duração | Endereço 1 | Endereço 2 | Endereço 3 | Número de sequência | Endereço 4 | Corpo | CRC |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

- **Duração:** contém um valor de tempo durante o qual as outras estações não devem tentar transmitir. Por isso, é utilizado por cada

estação para definir o NAV. Para os quadros de dados, por exemplo, inclui o tempo para a transmissão do quadro de dados inteiro, além do tempo do SIFS e do tempo para o envio do ACK pelo destino.

- **Número de Sequência:** utilizado para permitir a identificação de quadros retransmitidos.
- **CRC:** funciona de modo semelhante ao campo de mesmo nome do quadro Ethernet, ou seja, contém um código de verificação de erros.
- **Campos de endereço:** como já dissemos, os tipos de campos de endereço que estarão presentes no quadro e os seus significados dependem dos valores dos campos “**Para o AP**” e “**Do AP**”. A **Tabela 1** mostra as possíveis combinações e como ficam os campos de endereços. Esses endereços são semelhantes aos endereços Ethernet, pois são de 6 bytes e expressos em hexadecimal.

| Para o AP | Do AP | Endereço 1 | Endereço 2 | Endereço 3 | Endereço 4 |
|-----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 0 | 0 | Estação Destino | Estação origem | ID do BSS | Não utilizado |
| 0 | 1 | Estação Destino | AP Transmitindo | Estação origem | Não utilizado |
| 1 | 0 | AP recebendo | Estação origem | Estação Destino | Não utilizado |
| 1 | 1 | AP recebendo | AP Transmitindo | Estação Destino | Estação origem |

Tabela 1 - Possíveis valores dos campos de endereços.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Desse modo, as linhas de um a quatro da tabela são utilizadas, respectivamente, nos seguintes casos: transmissão direta entre duas estações, transmissão de um AP para uma estação, transmissão de uma estação para um AP, transmissão entre dois APs (utilizando o sistema de distribuição).

Lembre-se de que, quando se utiliza AP, mesmo que duas estações ligadas ao mesmo AP queiram se comunicar, elas enviam os quadros para o AP (caso correspondente à terceira linha da tabela), que por sua vez reencaminha o quadro para a estação destino (caso correspondente à segunda linha da tabela). Se as duas estações estiverem em APs separados (ligados pelo sistema de distribuição), o AP que recebeu o quadro da estação origem precisa reencaminhá-lo para o AP ao qual a estação de destino está associada (o que corresponde à linha 4 do **Quadro 1**).

Atividade 02

1. Qual o tamanho máximo em bytes dos dados que podem ser transmitidos em um quadro 802.11?

[Resposta](#)

Resposta

1. Em um quadro 802.11 o campo que contém os dados gerados pelas camadas superiores de protocolos pode ter no máximo 2312 bytes.

Adicionando Novos Recursos ao 802.11

Você viu que existem diversos padrões de camada física para o 802.11 (802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n) e que eles são identificados por meio do acréscimo de uma letra ao termo 802.11. Existem ainda diversos outros padrões que incorporam novas características ao 802.11, os quais também são identificados por uma letra adicional ao termo 802.11. Como alguns exemplos desses padrões e de suas finalidades, podemos citar: 802.11e (Qualidade de Serviço), 802.11i (Segurança), 802.11r (*handoff* rápido), 802.11u (interoperabilidade com outras redes móveis e celular) e 802.11s (redes em malha).

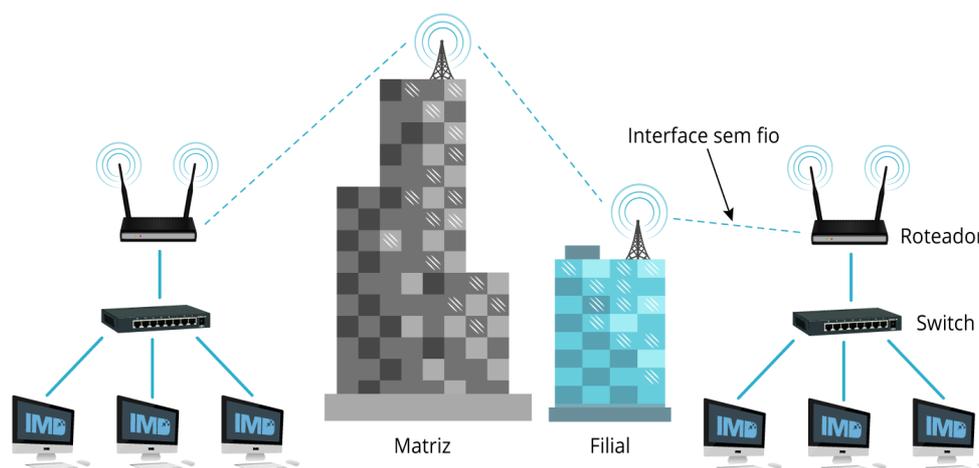
Agora estudaremos alguns usos do 802.11 em redes não locais. Veremos o uso desse padrão para enlaces de longa distância entre edificações e o uso residencial para receber um link de Internet sem fio, muito comum em cidades do interior.

Utilizando o 802.11 para Enlaces WAN

Embora o padrão 802.11 tenha sido desenvolvido principalmente para ligações multiponto, onde várias estações compartilham o mesmo meio, ele tem sido bastante utilizado em enlaces ponto a ponto para interligar redes distintas. Como os *links* dedicados em que se contrata um meio físico de uma operadora custam um valor mensal muito caro, muitas empresas têm optado por ligarem a matriz às suas filiais, usando *links* de rádio.

Uma grande vantagem desse tipo de ligação é que ela não requer pagamento mensal a ninguém e possui altas taxas de transmissão. Observe, porém, a necessidade de que não existam obstáculos entre as antenas de rádio usadas para interligar os dois pontos. Os técnicos que instalam esse tipo de enlace chamam esse requisito de “visada”, no qual utiliza-se um roteador em cada ponta com uma das interfaces sendo *wireless*, e conecta-se nessa interface um cabo ligado a uma antena externa direcional. A outra interface do roteador, tipicamente Ethernet, é ligada à rede cabeada da empresa. A **Figura 6** mostra esse tipo de ligação.

Figura 06 - Ligação entre matriz e filial usando um enlace 802.11 com antenas direcionais.

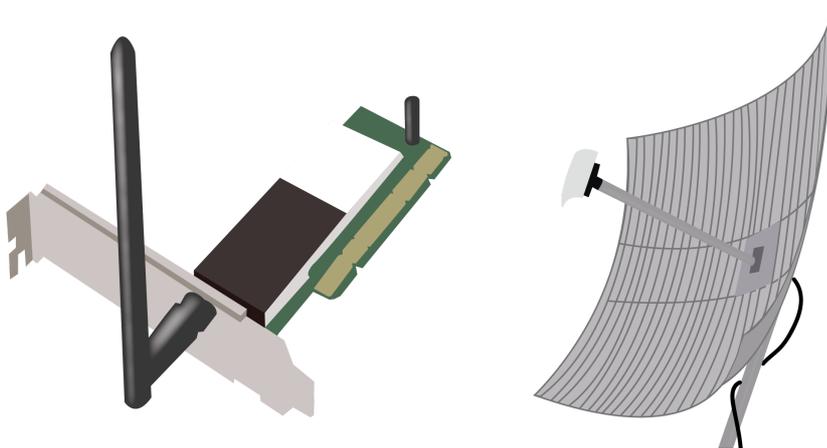


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Utilizando o 802.11 para a Internet a rádio

Você já deve ter ouvido falar da internet a rádio oferecida por alguns provedores de internet, na qual é necessário instalar uma antena direcional no telhado de sua residência e uma placa de rede sem fio em seu computador desktop. Pois bem, saiba que isso nada mais é do que um enlace 802.11 entre o AP do provedor de internet e o seu computador (o computador cliente). Nesse caso, o AP precisa utilizar uma antena de alta potência para que consiga alcançar grandes distâncias e atender a diversos clientes em uma determinada região. A **Figura 9** apresenta um exemplo de placa de rede sem fio e de uma antena direcional utilizada nesses enlaces sem fio de longa distância.

Figura 07 - Placa de rede sem fio e antena direcional.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A tendência é que essas formas de acesso WAN sem fio via Wi-Fi sejam substituídas por outro padrão desenvolvido especificamente para isso. Na próxima aula, veremos o padrão WiMAX, que tem justamente essa finalidade.

Atividade 03

1. Explique qual a vantagem de se instalar um link wireless entre uma matriz e uma filial.

[Resposta](#)

Resposta

1. A principal vantagem é o custo, pois um link sem fio WAN entre a matriz e sua filial evita a contratação de uma infraestrutura terceirizada de uma operadora de comunicação de dados que possa interligar essas unidades da empresa.

Leitura Complementar

- [IEEE 802.11™: Wireless LANs.](#)
- [IEEE 802.11.](#)

Resumo

Nesta aula, você aprendeu que o protocolo de controle de acesso do 802.11 chama-se CSMA/CA e que, devido à impossibilidade de detectar as colisões nessas redes, ele procura evitar que elas aconteçam. Viu também a utilização dos quadros RTS e CTS para resolver o problema das estações escondidas. Ainda sobre o 802.11, aprendeu que, embora tenha sido criado para conexões multiponto, pode ser utilizado como enlace ponto a ponto para interligar redes remotas.

Autoavaliação

1. Quais são os tipos de quadros utilizados em uma rede 802.11?
2. Qual a relação entre o campo duração de um quadro 802.11 e o NAV?

[Respostas](#)

Respostas

1. Existem três tipos de quadros em uma rede 802.11: quadros de gerenciamento, de controle e de dados.
2. O NAV (Vetor de Alocação de Rede) é uma espécie de temporizador criado em cada estação da rede 802.11 com o intuito de evitar colisões enquanto alguma transmissão esteja acontecendo. Esse tempo de espera do NAV é calculado somando-se o campo duração do quadro de dados com o tempo dos quadros de controle SIFS e ACK.

Referências

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de computadores e a internet**. 3. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2006.

SOARES, L. F. G. **Redes de computadores das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. 2. ed. São Paulo: Editora Campus, 1995.

TELECO. Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman2/pagina_1.asp. Acesso em: 18 agosto 2012.