

Capítulo 2: Camada Física e Camada de Ligação de Dados

Módulo 5 - Ethernet



Módulo 5 – Estrutura e Objetivos

▪ 5.1 Protocolo Ethernet

- Explicar a operação da Ethernet.
- Explicar como as subcamadas da Ethernet se relacionam com os campos do quadro.
- Descrever o endereço MAC da Ethernet

▪ 5.2 Switches LAN

- Explicar como um switch opera.
- Explicar como um switch cria sua tabela de endereços MAC e encaminha os quadros.
- Descrever os métodos de encaminhamento de switch e as configurações da porta disponíveis nas portas de switch de Camada 2.

▪ 5.3 ARP – Address Resolution Protocol

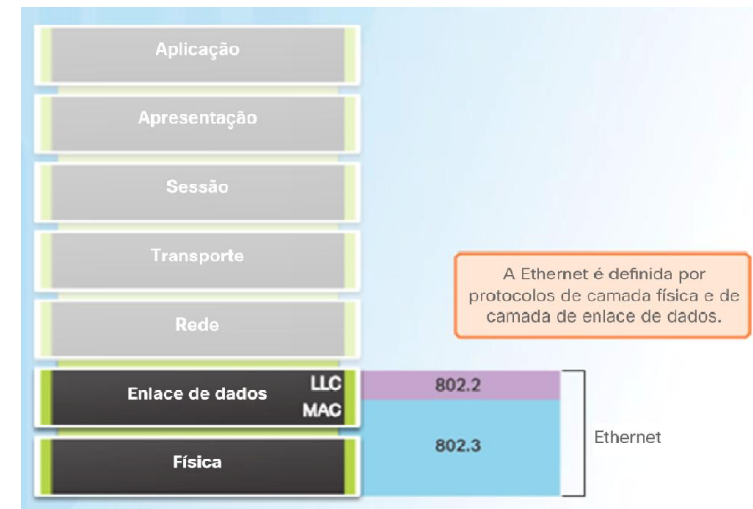
- Explicar como o protocolo ARP possibilita a comunicação na rede.
- Comparar as funções do endereço MAC e do endereço IP.
- Descrever a finalidade do protocolo ARP.
- Explicar como as requisições ARP afetam o desempenho da rede e do host.

5.1 Protocolo Ethernet

Trama Ethernet

Encapsulamento Ethernet

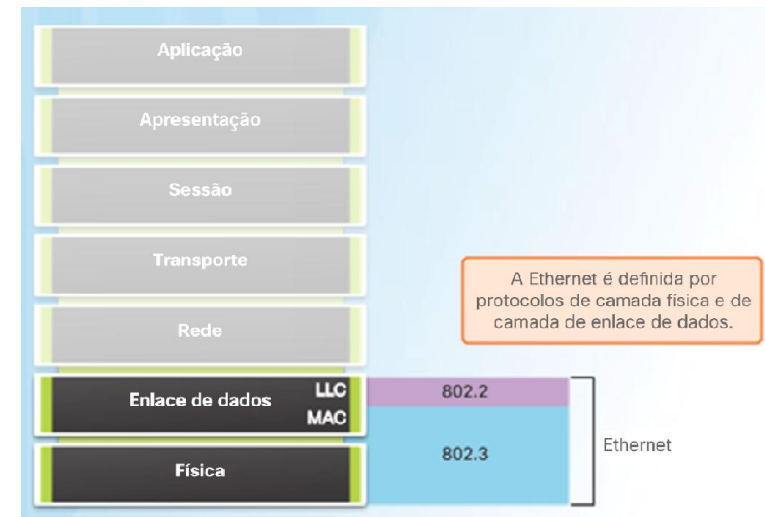
- Ethernet é a tecnologia de LAN mais usada atualmente.
 - Definida nos standards IEEE 802.2 e 802.3.
 - É compatível com larguras de banda de 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1000 Mb/s (1 Gb/s), 10.000 Mb/s (10 Gb/s), 40.000 Mb/s (40 Gb/s) e 100.000 Mb/s (100 Gb/s).
- Opera na camada de ligação de dados e na camada física.
- Baseia-se em duas subcamadas separadas da camada de ligação de dados para funcionar: as subcamadas LLC (controlo de link lógico) e MAC.



Trama Ethernet

Encapsulamento de Ethernet (continuação)

- A subcamada LLC da Ethernet trata da comunicação entre as camadas superiores e as camadas inferiores. A sua implementação ocorre em software e é independente do hardware.
- A subcamada MAC constitui a subcamada inferior da camada de ligação de dados. É implementada pelo hardware, normalmente na NIC do computador.



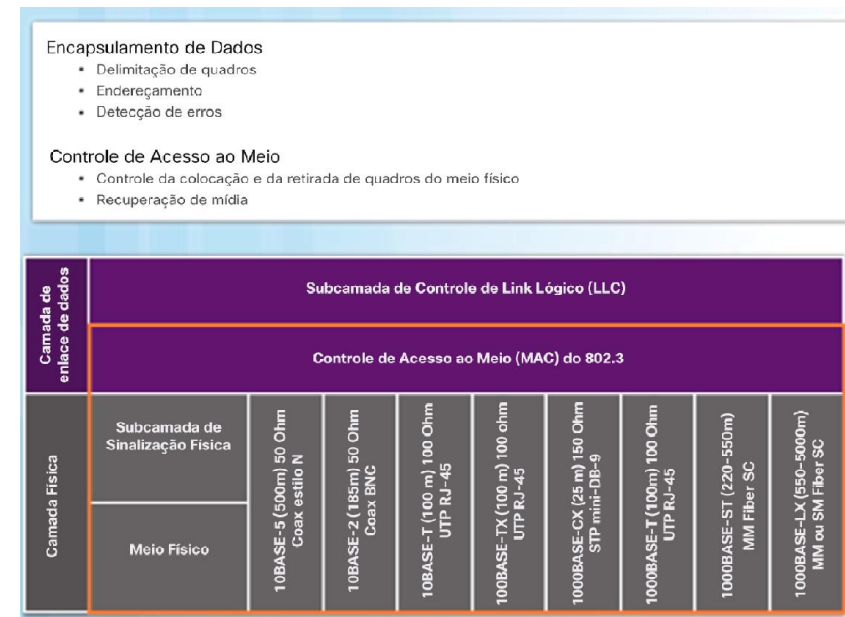
Trama Ethernet

Subcamada MAC

- A subcamada MAC tem duas responsabilidades principais:
 - Encapsulamento de dados
 - Controlo de acesso ao meio

- O encapsulamento de dados fornece três funções principais:
 - Delimitação de tramas
 - Endereçamento
 - Detecção de erros

- O controlo de acesso ao meio é responsável pela colocação e pela remoção de tramas no meio físico. Esta subcamada comunica diretamente com a camada física.



Evolução da Ethernet

- Desde 1973, os standards evoluíram para especificar versões mais rápidas e flexíveis da tecnologia.
- As primeiras versões da Ethernet eram relativamente lentas, a 10 Mb/s.
- As versões mais recentes da Ethernet operam a 10 Gb/s e até mais rápido.

Trama Ethernet

Campos da trama Ethernet

- O tamanho mínimo da trama Ethernet, desde o endereço MAC de destino até ao campo FCS, é 64 bytes e o máximo é 1518 bytes.



- As tramas com comprimento menor que 64 são chamados de "fragmento de colisão" ou "trama desprezível" e são automaticamente descartadas pelas estações receptoras. Tramas com mais de 1.500 bytes de dados são consideradas "jumbo" ou "baby giant".
- Se o tamanho de uma trama transmitido for inferior ao mínimo ou superior ao máximo, o dispositivo receptor descarta a trama .

Endereços Ethernet MAC

Endereços MAC e hexadecimal

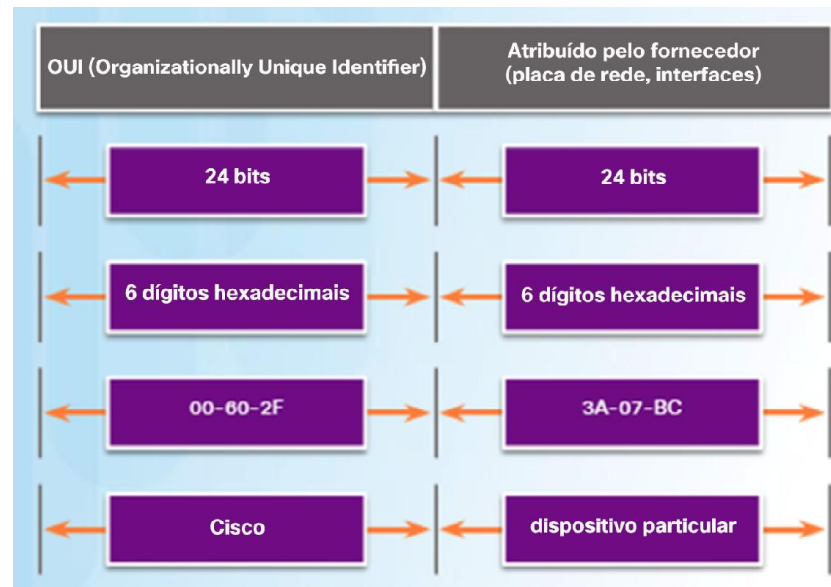
- Um endereço MAC Ethernet é um valor binário de 48 bits expresso como 12 dígitos hexadecimais (4 bits por dígito hexadecimal).
- O hexadecimal é utilizado para representar endereços MAC Ethernet e endereços IP versão 6.
 - Hexadecimal é um sistema de base dezasseis que usa números de 0 a 9 e as letras de A a F.
 - É mais fácil expressar um valor como um único dígito hexadecimal do que como quatro bits binários.
 - O hexadecimal normalmente é representado no texto pelo valor precedido por 0x (por exemplo, 0x73).

Decimal	Binário	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Endereços Ethernet MAC

Endereços MAC: a identidade da Ethernet

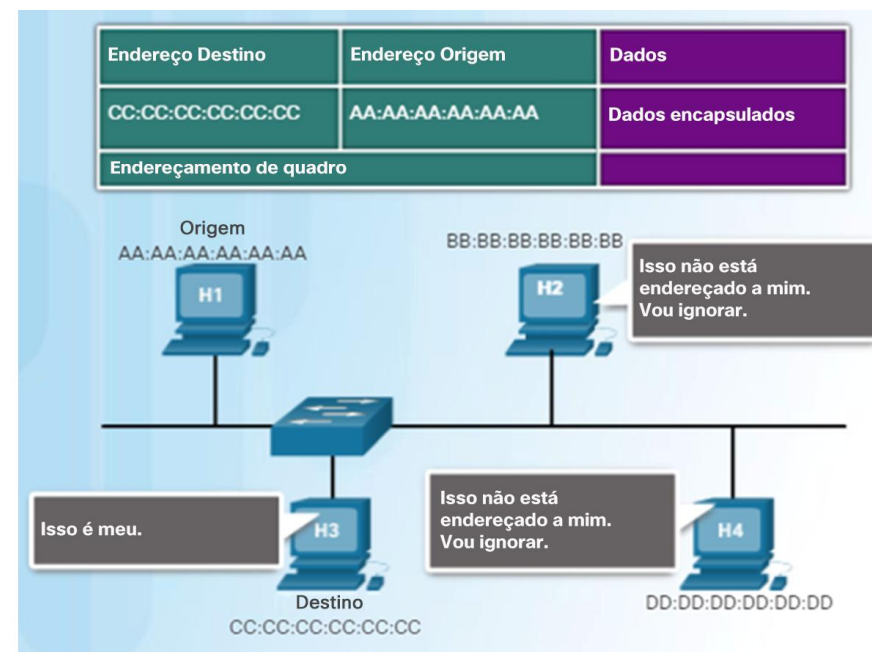
- Os endereços MAC foram criados para identificar a origem e o destino reais.
 - As regras de endereço MAC são estabelecidas pelo IEEE.
 - O IEEE atribui ao fabricante um código de 3 bytes (24 bits) chamado *identificador exclusivo da organização* (Organizationally Unique Identifier – OUI).
- O IEEE exige que o fabricante siga duas regras simples:
 - Todos os endereços MAC atribuídos a uma NIC ou outro dispositivo Ethernet devem utilizar o OUI designado para o fornecedor como os primeiros 3 bytes.
 - Todos os endereços MAC com o mesmo OUI devem receber um valor exclusivo nos últimos 3 bytes.



Endereços Ethernet MAC

Processamento de tramas

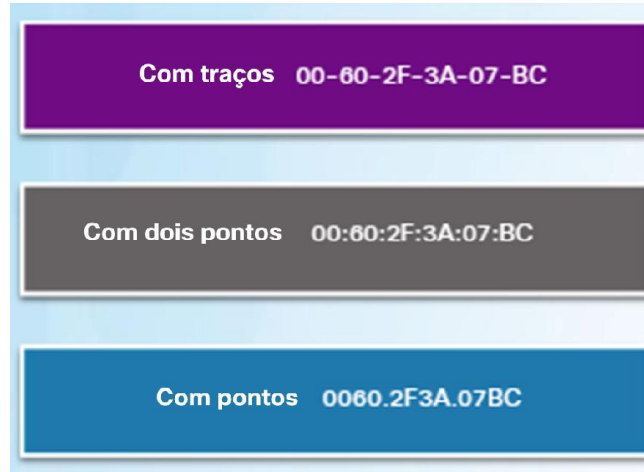
- O endereço MAC é geralmente conhecido como um endereço gravado (burned-in address: BIA), significando que o endereço é codificado na ROM permanentemente. Quando o computador é inicializado, a primeira coisa que a NIC faz é copiar o endereço MAC da ROM para a RAM.
- Quando um dispositivo está a encaminhar uma mensagem para uma rede Ethernet, anexa as informações do cabeçalho à trama.
- As informações do cabeçalho contêm o endereço MAC de origem e de destino.



Endereços Ethernet MAC

Representações do endereço MAC

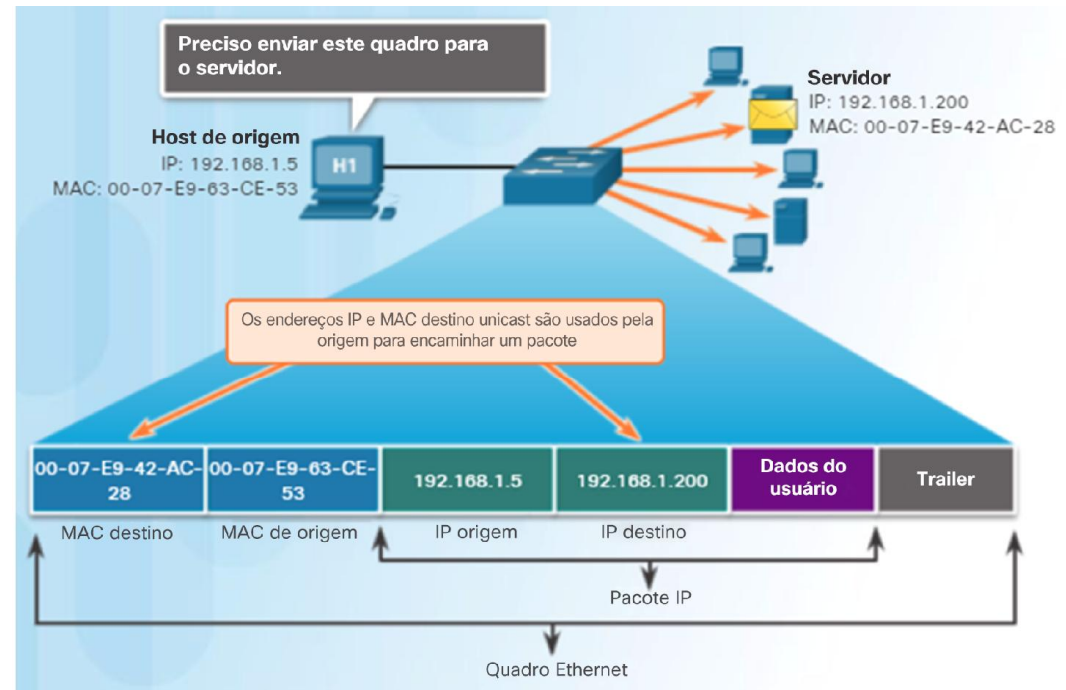
- Use o comando **ipconfig/all** num host Windows para identificar o endereço MAC de um adaptador Ethernet (placa de rede wired). Num host MAC ou Linux, é usado o comando **ifconfig**.
- Dependendo do dispositivo e do sistema operativo, podem existir diferentes representações de endereços MAC.



Endereços Ethernet MAC

Endereços MAC unicast

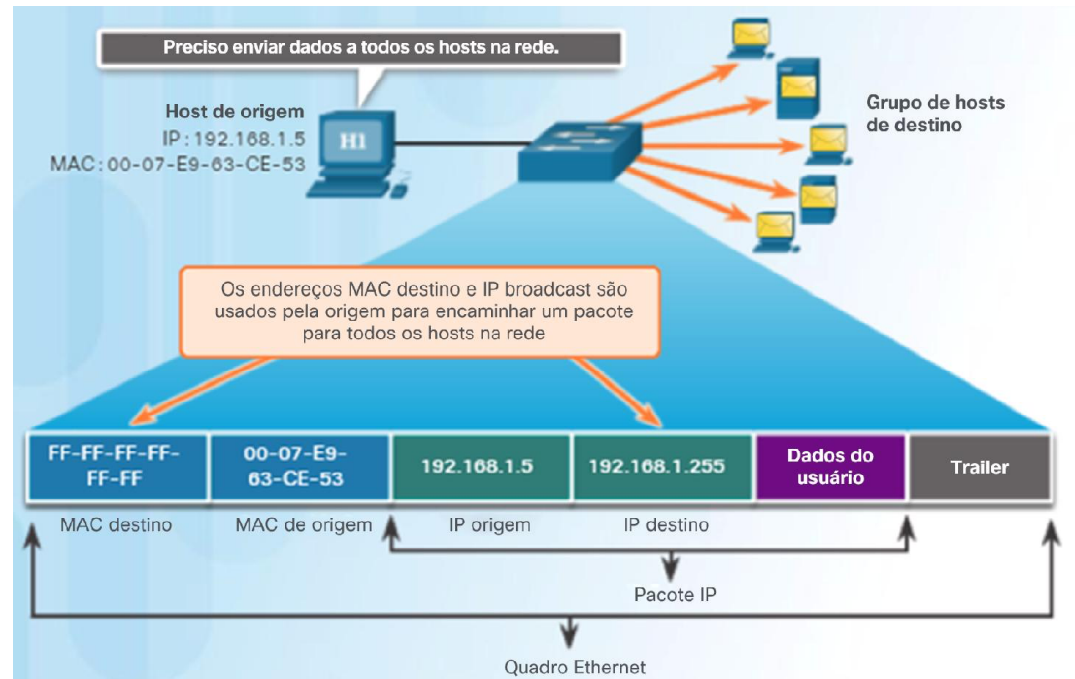
- Um endereço MAC unicast é o endereço exclusivo usado quando uma trama é enviada de um único dispositivo transmissor para um único dispositivo de destino.
- Para que um pacote *unicast* seja enviado e recebido, um endereço IP de destino deve estar no cabeçalho do pacote IP e o endereço MAC de destino correspondente deve estar no cabeçalho da trama Ethernet.



Endereços Ethernet MAC

Endereços MAC broadcast

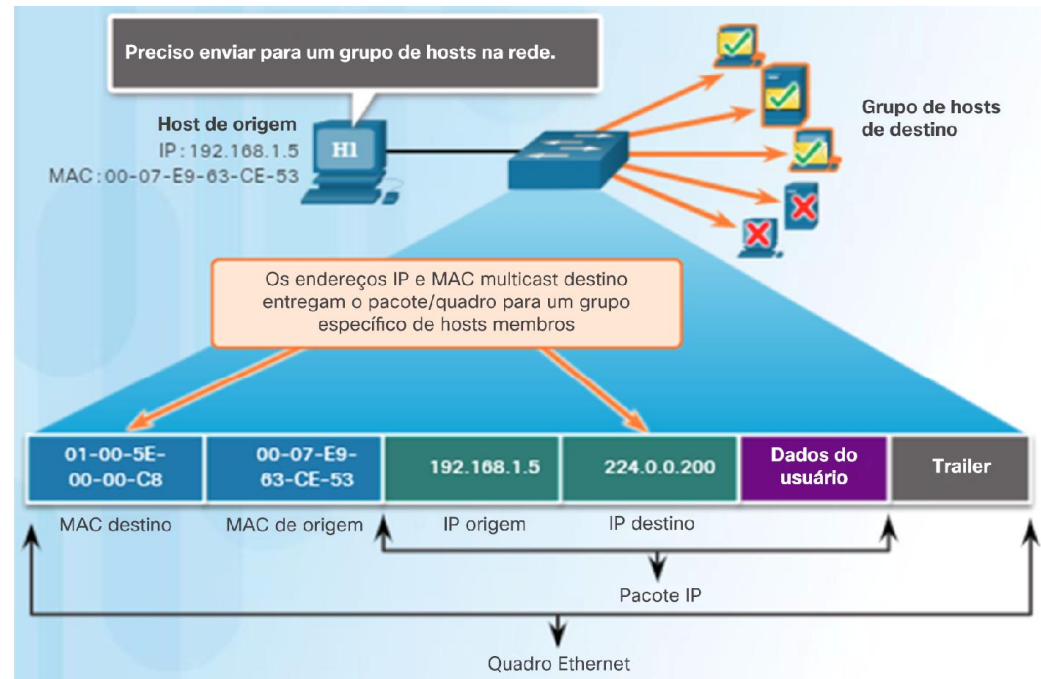
- Muitos protocolos de rede, como DHCP e ARP, utilizam *broadcasts*.
- Um pacote de broadcast contém um Endereço IPv4 de destino que tem todos os bits a 1 (1s) na porção de host, indicando que todos os hosts naquela rede local receberão e processarão o pacote.
- Quando o pacote IPv4 broadcast é encapsulado na trama Ethernet, o endereço MAC de destino é o endereço MAC de broadcast FF-FF-FF-FF-FF-FF em hexadecimal (48 uns em binário).



Endereços Ethernet MAC

Endereços MAC Multicast

- Os endereços multicast permitem que um dispositivo origem envie um pacote a um grupo de dispositivos.
- Os dispositivos de um grupo multicast recebem um endereço IP de grupo multicast no intervalo de 224.0.0.0 a 239.255.255.255 (os endereços multicast IPv6 começam com FF00::/8).
- O endereço IP multicast requer um endereço MAC multicast correspondente que começa com 01-00-5E em hexadecimal.



5.2 Switches LAN

A tabela de endereços MAC

Fundamentos do switch

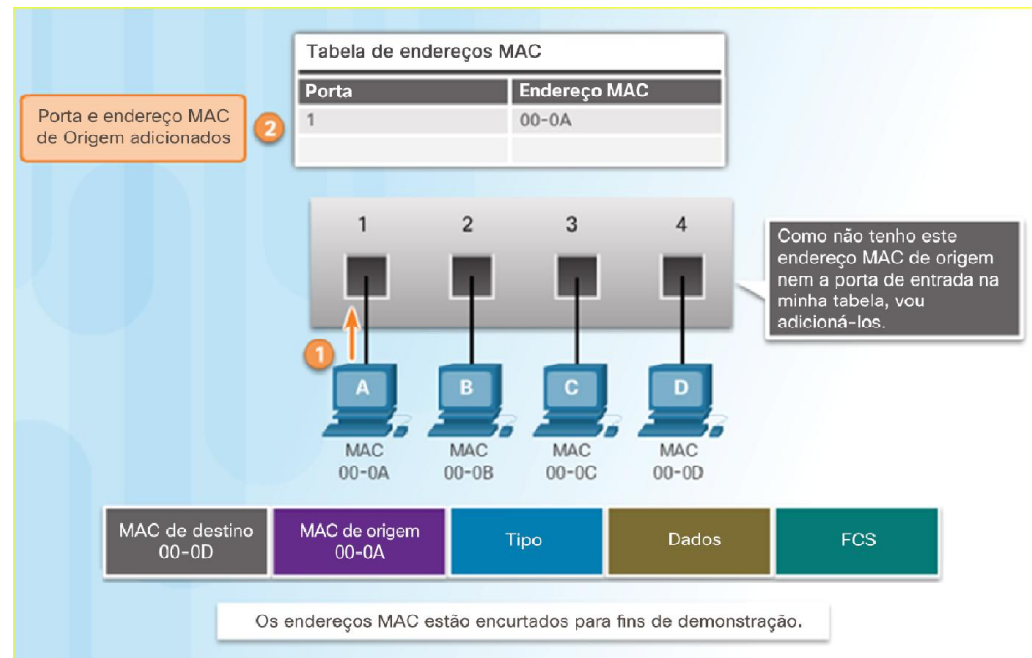
- O switch de Ethernet de Layer 2 toma decisões de encaminhamento apenas com base nos endereços MAC Ethernet da Layer 2.
- Um switch que acaba de ser ligado terá uma tabela de endereço MAC vazia, pois ele ainda não aprendeu os endereços MAC dos PCs conectados.
- Observação: às vezes, a tabela de endereços MAC é chamada de tabela CAM (Content Addressable Memory).



A tabela de endereços MAC

Aprender os endereços MAC

- O switch cria dinamicamente a tabela de endereços MAC. O processo para saber o endereço MAC de origem é:
 - Os switches analisam todas as tramas de entrada para aprendizagem de novos endereços MAC.
 - Se o endereço MAC de origem for desconhecido, será adicionado à tabela juntamente com o número da porta.
 - Se o endereço MAC de origem já existe, o switch atualiza o timer de atualização dessa entrada.
 - Por norma, a maioria dos switches Ethernet mantém uma entrada na tabela por 5 minutos.



A tabela de endereços MAC

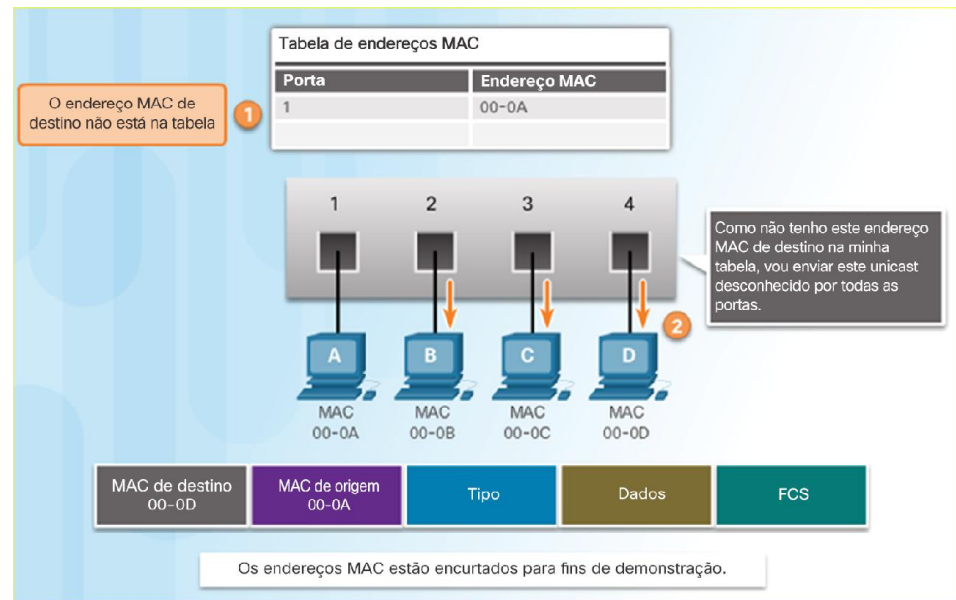
Aprender os endereços MAC

Processo de switching	Descrição
Aprender Exame do endereço MAC de origem	<ul style="list-style-type: none">• Os switches analisam todas as tramas de entrada para aprender as novas fontes de informações de endereço MAC.• Se o endereço MAC de origem for desconhecido, será adicionado à tabela juntamente com o número da porta do switch ao qual está ligado.• Se o endereço MAC de origem já existe, o switch atualiza o timer de atualização dessa entrada.• Por norma, a maioria dos switches Ethernet mantém uma entrada na tabela por 5 minutos.
Encaminhar Exame do endereço MAC de destino	<ul style="list-style-type: none">• Se o endereço MAC de destino for um endereço de broadcast ou multicast, a trama será enviada por todas as portas, exceto a de entrada.• Se o endereço MAC de destino for um endereço unicast, o switch procurará uma correspondência na sua tabela de endereços MAC.<ul style="list-style-type: none">• Se o endereço MAC de destino estiver na tabela, ele encaminhará a trama pela porta especificada.• Se o endereço MAC de destino não estiver na tabela (isto é, um unicast desconhecido), o switch encaminhará o quadro por todas as portas, exceto a de entrada.

A tabela de endereços MAC

Aprender os endereços MAC (continuação)

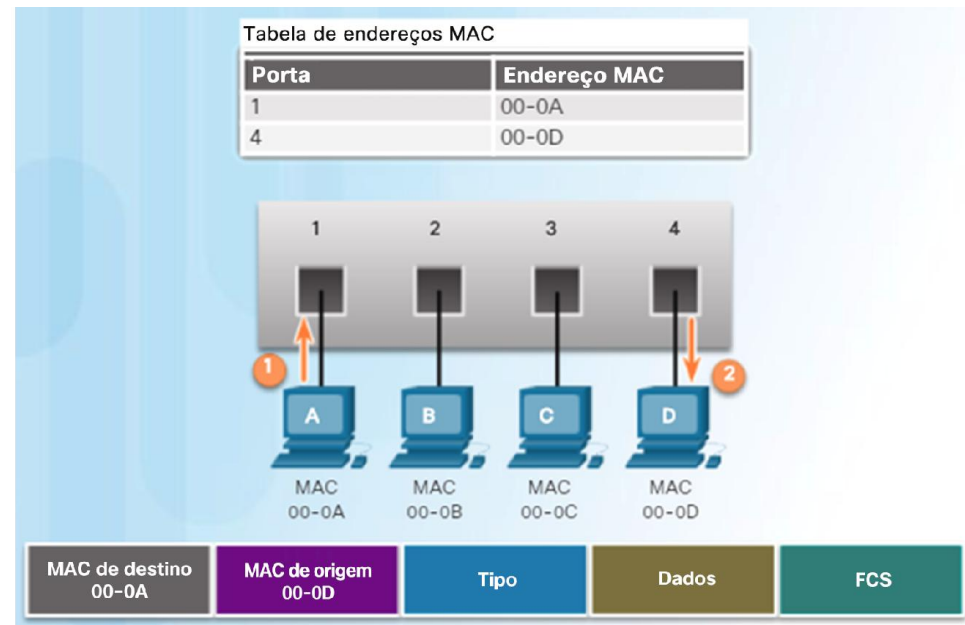
- O processo para encaminhar o endereço MAC de destino é:
 - Se o endereço MAC de destino for um endereço de broadcast ou multicast, a trama será enviada para todas as portas, exceto a de entrada.
 - Se o Endereço MAC de destino for um endereço unicast, o switch procurará uma correspondência na sua tabela de endereços MAC.
 - Se o endereço MAC de destino estiver na tabela, ele encaminhará a trama pela porta especificada.
 - Se o endereço MAC de destino não estiver na tabela (isto é, um unicast desconhecido), o switch encaminhará a trama por todas as portas, exceto a de entrada.



A tabela de endereços MAC

Filtragem de tramas

- À medida que um switch recebe tramas de dispositivos diferentes, ele é capaz de preencher a sua tabela de endereços MAC examinando o endereço MAC de origem de cada trama.
- Quando a tabela de endereços MAC do switch contiver o endereço MAC destino, ele poderá filtrar a trama e encaminhar para uma única porta.



A tabela de endereços MAC

Demonstração em vídeo – Tabelas de endereço MAC em switches conectados

- O switch recebe a trama Ethernet, examina o endereço MAC de origem e se esse endereço MAC não estiver na sua tabela de endereços MAC, adiciona o endereço MAC e o número da porta de entrada.
- Em seguida, o switch examina o endereço MAC de destino e percebe que esse endereço MAC não está na sua tabela, por isso ele o difunde (broadcast) por todas as portas.
- O computador recebe a trama Ethernet, examina o endereço MAC de destino em relação ao seu próprio endereço MAC e, se forem iguais, recebe a restante trama.



A tabela de endereços MAC

Demonstração em vídeo – Envio de uma trama para a default gateway

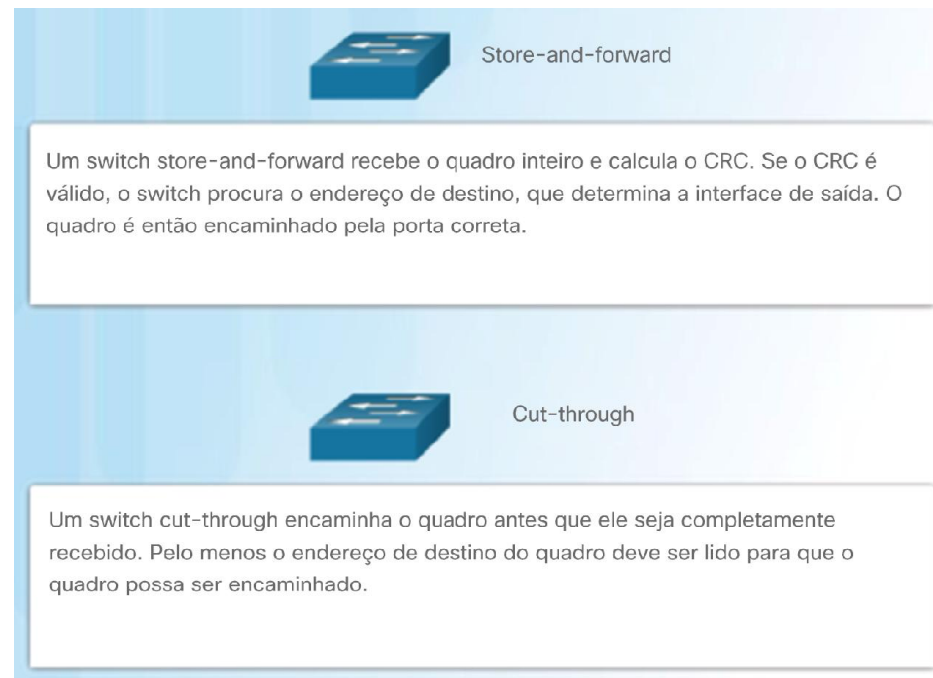
- O computador envia um pacote para a Internet, porque o endereço IP de destino está noutra rede. Nesse caso, o endereço MAC de origem é o do computador de envio. O endereço MAC de destino é o do router de 00-0D.



Métodos de encaminhamento de switch

Métodos de encaminhamento de tramas nos switches da Cisco

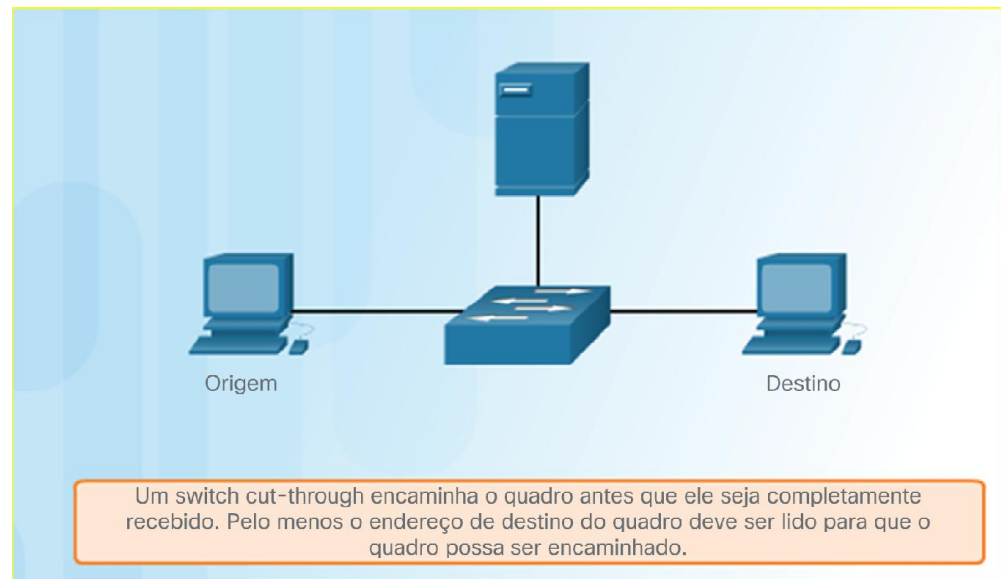
- Os switches usam um dos seguintes métodos de encaminhamento para fazer o switching (comutação) de dados entre as suas interfaces de rede:



Métodos de encaminhamento de switch

Switches cut-through

- O switch cut-through coloca em buffer apenas o suficiente da trama para ler o endereço MAC de destino, de forma que possa determinar para que porta enviará os dados. O switch não realiza nenhuma verificação de erros na trama.
- Há duas formas de switching cut-through:
 - O switch fast-forward oferece o menor nível de latência (atraso). Ele encaminha imediatamente um pacote depois de ler o endereço de destino. Essa é a forma de switch cut-through mais comum.
 - No switching fragment-free, o switch armazena os primeiros 64 bytes do quadro antes de encaminhar. É um compromisso entre o switching store-and-forward e fast-forward.



Métodos de encaminhamento de switch

Buffers de memória em switches

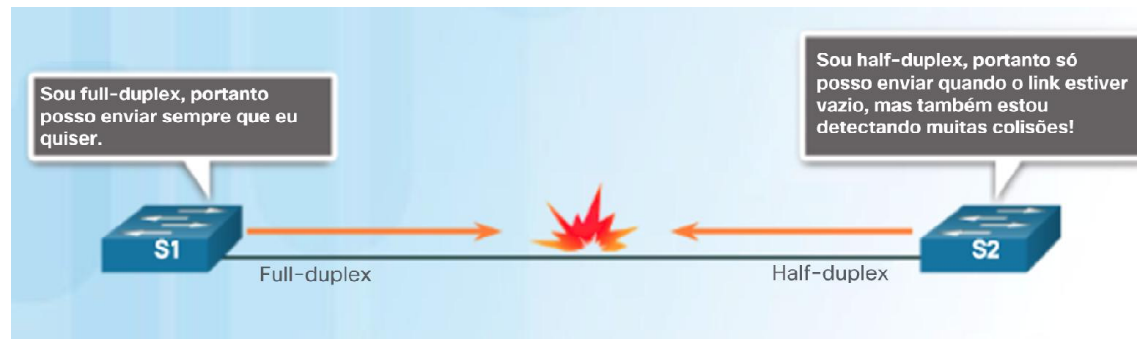
- Um switch Ethernet pode usar uma técnica de armazenamento de tramas em buffers de memória antes de enviá-las. Os buffers também podem ser usados quando a porta destino está ocupada devido a congestionamento e o switch armazena a trama até que ela possa ser transmitida.
- Há dois tipos de técnicas de buffer de memória:

Método de buffers de memória	Descrição
Memória por porta	<ul style="list-style-type: none">• As tramas são armazenadas em filas vinculadas a portas específicas de entrada e saída.• Uma trama é transmitida quando todas as tramas à frente dela na fila forem transmitidas.
Memória partilhada	<ul style="list-style-type: none">• Todas as tramas são depositadas num buffer comum partilhado por todas as portas no switch.

Métodos de encaminhamento do switch

Configurações de velocidade e duplex

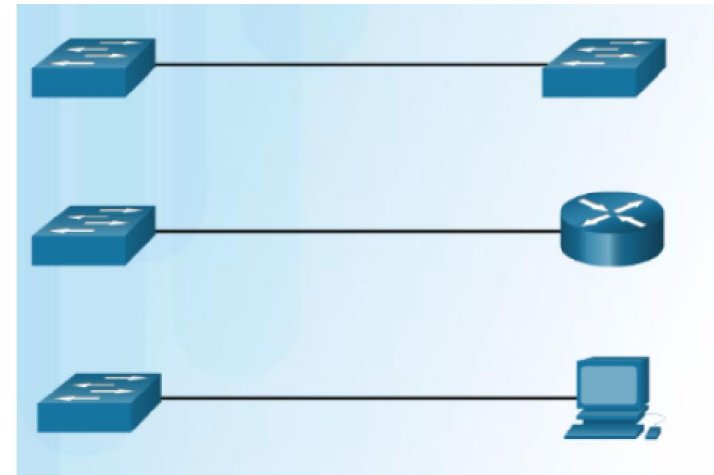
- Há dois tipos de configurações duplex usadas para comunicação numa rede Ethernet:
 - **Full-duplex** – As duas extremidades da conexão podem enviar e receber ao mesmo tempo.
 - **Half-duplex** – Somente uma das extremidades da conexão pode enviar e receber de cada vez.
- A maioria dos dispositivos usam a autonegociação que permite que dois dispositivos troquem informações sobre velocidade e capacidades de duplex e escolham automaticamente o modo que tiver melhor desempenho.
- **Incompatibilidade de duplex** é uma causa comum de problemas de desempenho com links de Ethernet. Ocorre quando uma porta no link opera em half-duplex, enquanto a outra porta opera em full-duplex.



Métodos de encaminhamento de switch

Auto-MDIX

- As conexões entre dispositivos específicos — como switch a switch, switch a router, switch a host e host a router — exigiam o uso de tipos de cabo específicos (cruzado ou direto).
- A maioria dos dispositivos de switch agora suporta o recurso de Auto-MDIX (automatic medium-dependent interface crossover). Ele já vem ativado, por defeito, nos switches desde o IOS 12.2 (18) SE.
- Quando habilitado usando o comando de configuração de interface **mdix auto**, o switch detecta o tipo de cabo conectado à porta e configura as interfaces de acordo.

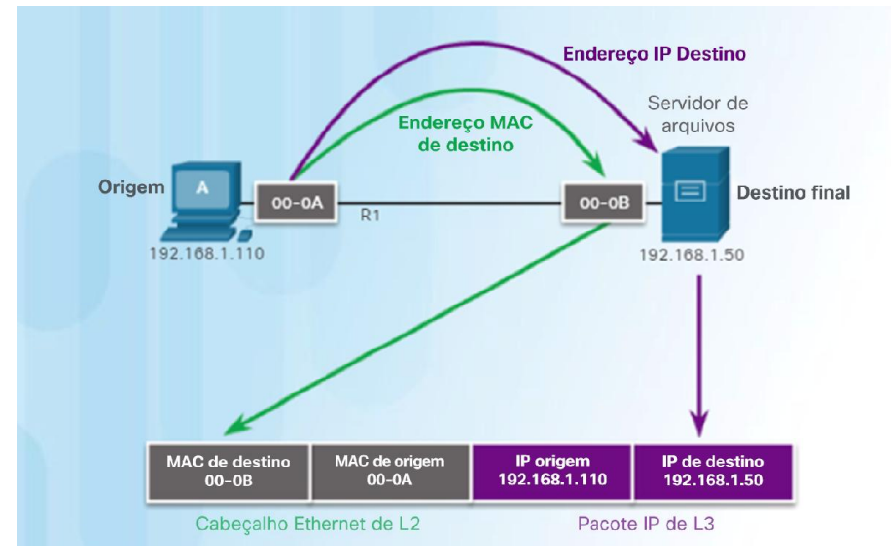


5.3 ARP – Address Resolution Protocol

MAC e IP

Destino na mesma rede

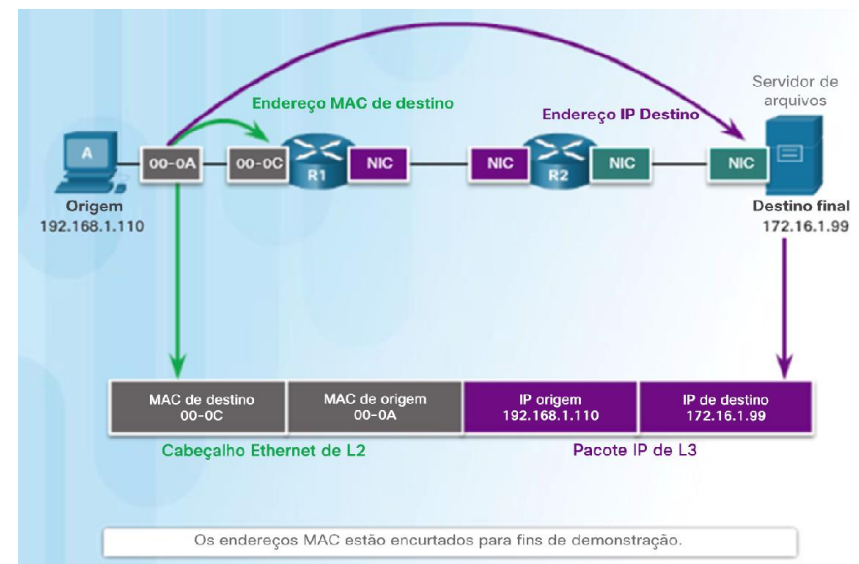
- Dois endereços principais são atribuídos a um dispositivo numa LAN Ethernet:
 - Endereço físico (o endereço Ethernet MAC)
 - Endereço lógico (o endereço IP)
- Por exemplo, o PC-A envia um pacote IP para o servidor de arquivos na mesma rede. A trama Ethernet da Camada 2 contém:
 - Endereço MAC destino
 - Endereço MAC origem
- O pacote IP da Camada 3 contém:
 - Endereço IP origem
 - Endereço IP destino



MAC e IP

Destino na rede remota

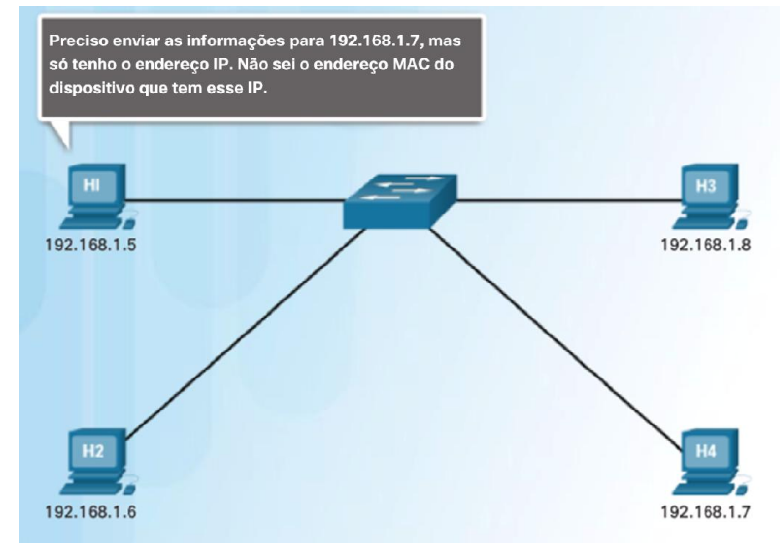
- Quando o endereço IP destino estiver numa rede remota, o endereço MAC de destino será o endereço do default gateway do host.
- Na figura, o PC-A está enviando um pacote IP para um servidor Web numa rede remota.
 - O endereço IP de destino é o do servidor de arquivo.
 - O endereço MAC de destino é o da interface Ethernet de R1.



ARP

Introdução ao ARP

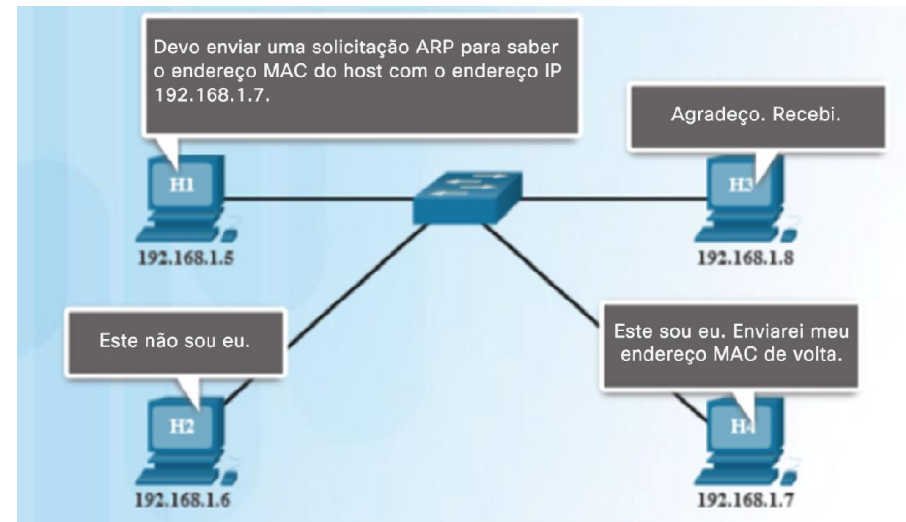
- Quando um dispositivo envia uma trama Ethernet, esta contém dois endereços:
 - Endereço MAC destino
 - Endereço MAC origem
- Para determinar o endereço MAC de destino, o dispositivo usa o ARP.
- O ARP fornece duas funções básicas:
 - Resolução de endereços IPv4 em endereços MAC
 - Manutenção de uma tabela de mapeamentos



ARP

Funções do ARP

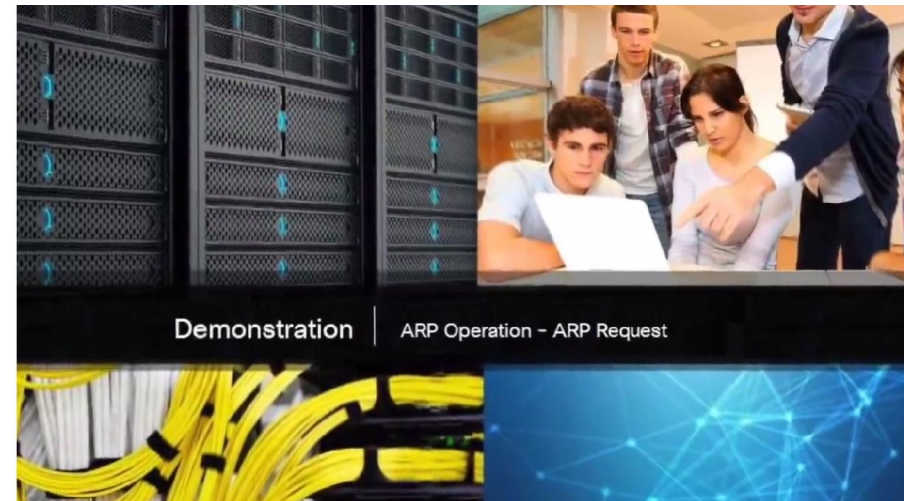
- Os dispositivos Ethernet consultam a tabela de ARP (Address Resolution Protocol) ou a cache ARP na sua memória (RAM) para localizar o endereço MAC mapeado para um determinado endereço IPv4.
- Um dispositivo pesquisará na sua tabela ARP um endereço IPv4 destino correspondente a um endereço MAC.
 - Se o endereço IPv4 destino do pacote estiver na mesma rede que o endereço IPv4 origem, o dispositivo pesquisará o endereço IPv4 destino na tabela ARP.
 - Se o endereço IPv4 destino do pacote estiver numa rede diferente do endereço IPv4 origem, o dispositivo pesquisará o endereço IPv4 do default gateway na tabela ARP.



ARP

Demonstração em Vídeo – Requisição ARP

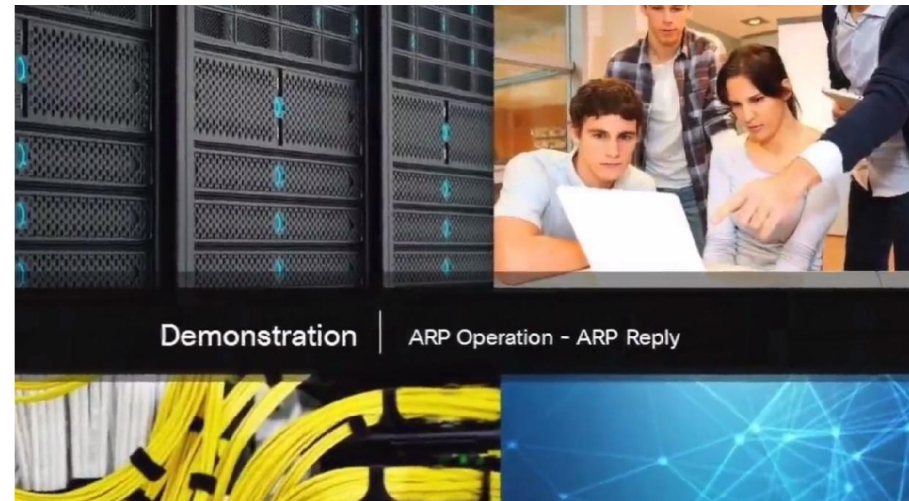
- Uma requisição ARP é um quadro de transmissão enviado quando um dispositivo precisa de um endereço MAC associado a um endereço IPv4 e não tem uma entrada para o endereço IPv4 na tabela ARP.
- As mensagens do ARP são encapsuladas diretamente em um quadro Ethernet. Não há cabeçalho IPv4.
- A mensagem da requisição ARP inclui:
 - Endereço IPv4 de destino
 - Endereço MAC do Alvo



ARP

Demonstração em Vídeo – Resposta ARP

- Apenas o dispositivo com o endereço IPv4 associado ao endereço IPv4 destino na requisição ARP enviará uma resposta ARP.
- A mensagem da resposta ARP inclui:
 - O endereço IPv4 do remetente
 - O endereço MAC do remetente
- As entradas na tabela ARP têm carimbo de data/hora (timestamp). Se um dispositivo não receber um quadro de um dispositivo específico antes do vencimento do timestamp, a entrada referente a esse dispositivo será removida da tabela ARP.



ARP

Demonstração em vídeo – Função do ARP na comunicação remota

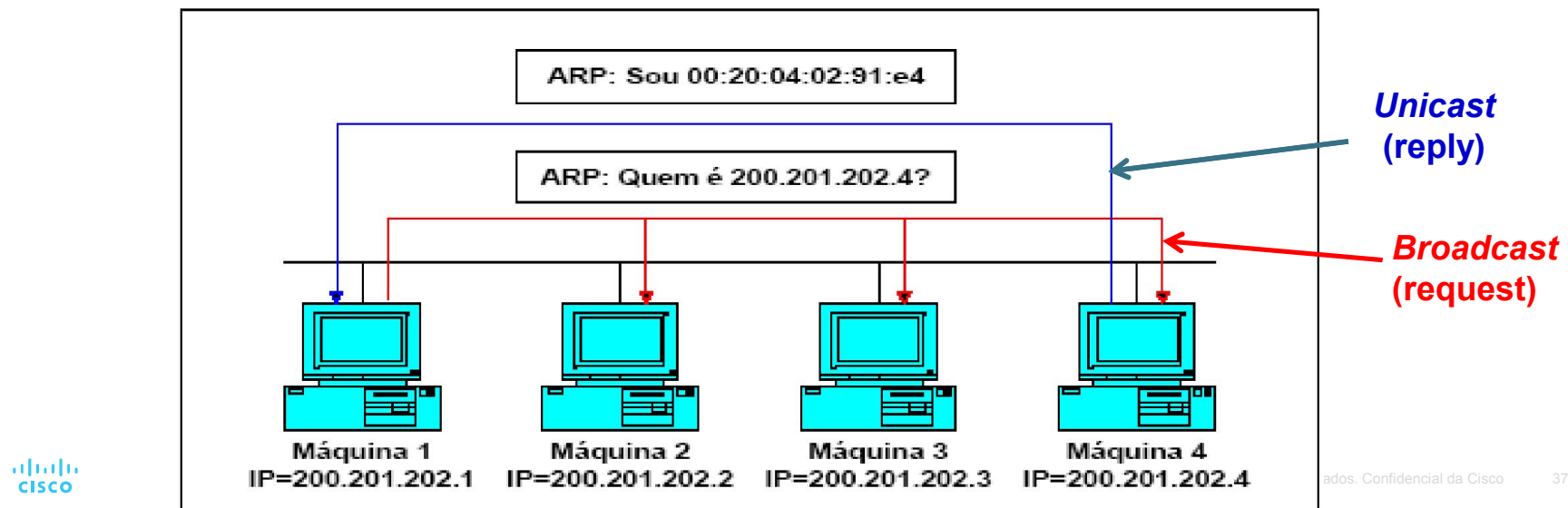
- Quando um host cria um pacote para um destino, ele compara o endereço IPv4 destino e seu próprio endereço IPv4 para determinar se os dois endereços IPv4 estão localizados na mesma rede de Camada 3.
- Se o host de destino não estiver na mesma rede, a origem usará a tabela ARP para obter uma entrada com o endereço IPv4 do gateway padrão.
- Se não houver uma entrada, ela usará o processo de ARP para determinar um endereço MAC do gateway padrão.



ARP

Funcionamento do ARP

- O ARP define 2 tipos de mensagens: *request* e *reply*.
 - A mensagem **request** contém um endereço IP e pede o endereço de *hardware* correspondente.
 - A mensagem **reply** contém tanto o endereço IP enviado na *request* como o endereço de *hardware* correspondente.



ARP

Funcionamento do ARP

- Envio de uma mensagem ARP
 - A mensagem ARP é transmitida numa trama Ethernet (nível 2): *Encapsulamento*.



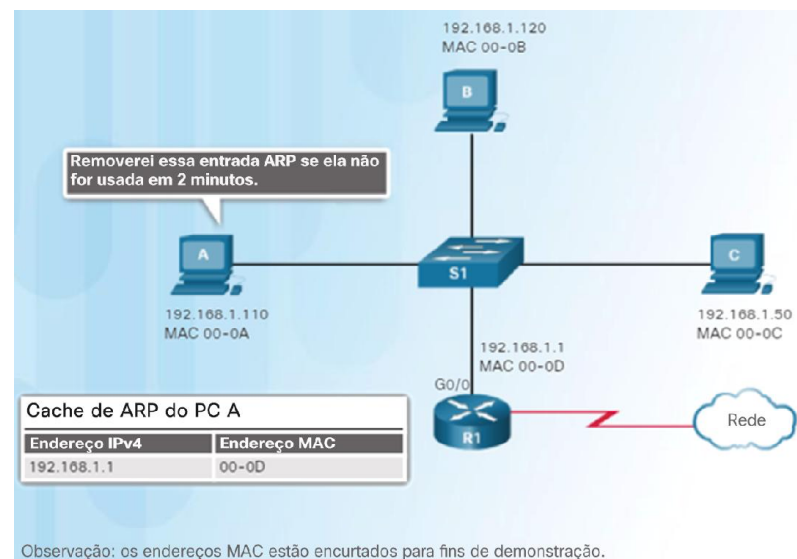
- Como é que um computador sabe se uma trama contém ou não uma mensagem ARP?
 - Pelo campo *Type* existente na trama (valor 806).

Dest. Address	Source Address	Frame Type	Data In Frame
		806	complete ARP message

ARP

Remoção de entradas de uma tabela ARP

- Cada dispositivo tem um temporizador da cache ARP que remove entradas ARP que não tenham sido usadas durante um determinado período.
- Os tempos variam de acordo com o sistema operativo do dispositivo. Como mostrado na figura, alguns sistemas operativos Windows armazenam entradas de cache ARP por 2 minutos.



- Você pode remover manualmente todas ou algumas das entradas da tabela ARP.

ARP

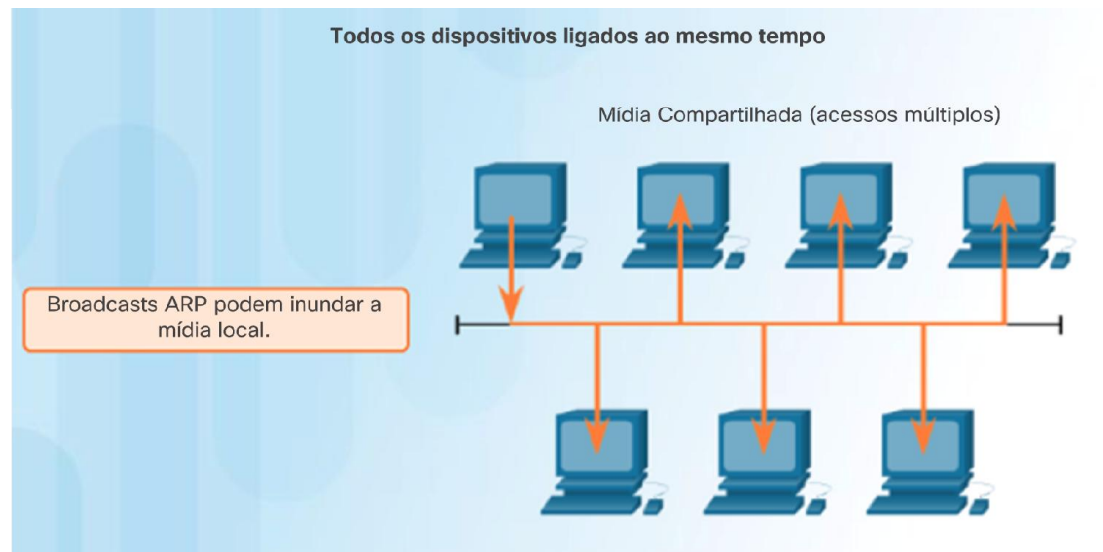
Tabelas ARP

Num router	Num host do Windows
Num roteador Cisco, o comando show ip arp é usado para exibir a tabela de ARP.	Num PC Windows, o comando arp -a é usado para exibir a tabela de ARP.
<pre>Router# show ip arp Protocol Address Age (min) Hardware Addr Type Interface Internet 172.16.233.229 - 0000.0c59.f892 ARPA Ethernet0/0 Internet 172.16.233.218 - 0000.0c07.ac00 ARPA Ethernet0/0 Internet 172.16.168.11 - 0000.0c63.1300 ARPA Ethernet0/0 Internet 172.16.168.254 9 0000.0c36.6965 ARPA Ethernet0/0 Router#</pre>	<pre>C:\> arp -a Interface: 192.168.1.67 --- 0xa Internet Address Physical Address Type 192.168.1.254 64-0f-29-0d-36-91 dynamic 192.168.1.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff static 224.0.0.22 01-00-5e-00-00-16 static 224.0.0.251 01-00-5e-00-00-fb static 224.0.0.252 01-00-5e-00-00-fc static 255.255.255.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff static Interface: 10.82.253.91 --- 0x10 Internet Address Physical Address Type 10.82.253.92 64-0f-29-0d-36-91 dynamic 224.0.0.22 01-00-5e-00-00-16 static 224.0.0.251 01-00-5e-00-00-fb static 224.0.0.252 01-00-5e-00-00-fc static 255.255.255.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff static</pre>

Problemas do ARP

Broadcasts ARP

- Sendo uma trama de broadcast, um request ARP é recebido e processado por todos os dispositivos na rede local.
- Os requests de ARP podem inundar o segmento local se um grande número de dispositivos for ligado e todos começarem a aceder a serviços de rede ao mesmo tempo.



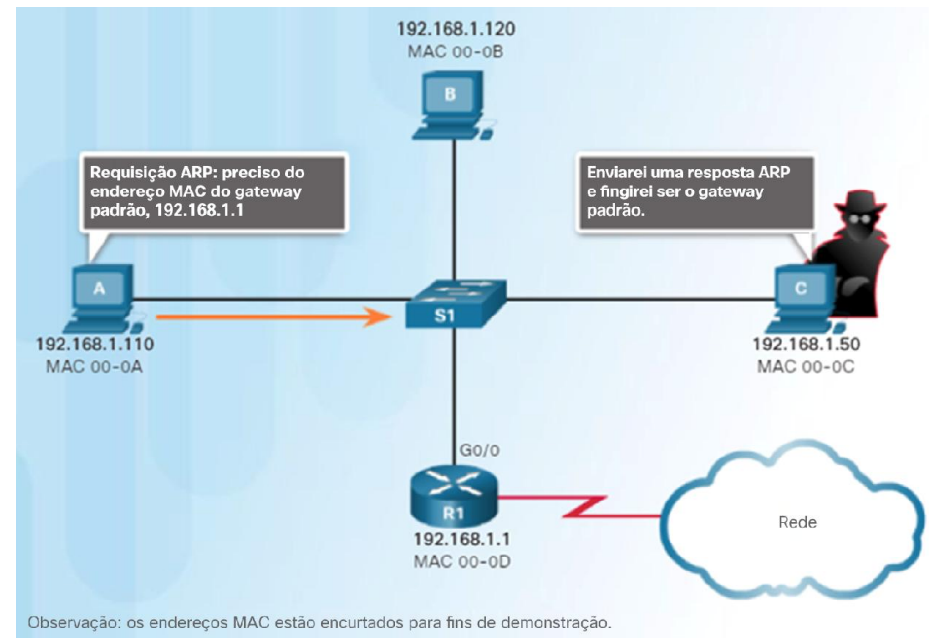
Problemas do ARP

Falsificação do ARP (ARP Spoofing)

- Invasores podem responder a solicitações fingindo ser prestadores de serviços.
- Um tipo de ataque de falsificação de ARP usado pelos invasores é responder a um request de ARP destinado ao default gateway.

Na figura, o host A solicita o endereço MAC do gateway padrão. O host C responde à solicitação ARP. O host A recebe a resposta e atualiza sua tabela de ARP. O host A passa a enviar pacotes destinados ao default gateway para o host do invasor C.

- Switches de nível corporativo incluem técnicas de mitigação conhecidas como Dynamic ARP Inspection (DAI).



5.4 Resumo do Módulo

Conclusão

Módulo 5: Ethernet

- Explicar a operação da Ethernet.
- Explicar como um switch opera.
- Explicar como o protocolo ARP possibilita a comunicação na rede.