

# Redes de Computadores I

## Aula 02 - Protocolo ARP: Mapeando endereços de Rede para endereços de Enlace

# Apresentação

---

Nesta aula, você vai estudar um protocolo que é de fundamental importância para que a pilha de protocolos TCP/IP possa ser utilizada com qualquer tecnologia de rede física, como Ethernet, ou as redes sem fio 802.11, por exemplo. Você verá que este protocolo se chama ARP (*Address Resolution Protocol*, ou seja, Protocolo de Resolução de Endereços) e tem como principal função descobrir o endereço MAC da máquina para qual um dado pacote IP deve ser entregue. Você aprenderá porque isso é necessário e como essa tarefa é realizada.



## Vídeo 01 - Apresentação

### Objetivos

- Entender que o protocolo ARP é utilizado para traduzir endereços de rede para endereços de enlace, e que, normalmente, traduz um endereço IP para um endereço Ethernet.
- Entender *por que* a tradução de endereços de rede para endereços de enlace é necessária.
- Entender *como* a tradução de endereços de rede para endereços de enlace é realizada.
- Utilizar uma ferramenta para monitorar o processo de tradução de endereços.

# Por que o Protocolo ARP é Necessário?

Você sabe que nas redes que utilizam o protocolo IP, como é o caso da internet e da maioria das redes das empresas atualmente, os dados são transmitidos entre os computadores em pacotes IP; cada pacote contém o endereço IP do computador que está enviando o pacote; e o endereço IP do computador para o qual ele deve ser entregue. A **Figura 1** mostra o pacote IP que é gerado quando uma máquina A quer enviar dados para uma máquina C. Naturalmente, os demais campos do cabeçalho IP, e os cabeçalhos das camadas de transporte e de aplicação, foram omitidos.

**Figura 01** - Transmissão usando um pacote IP

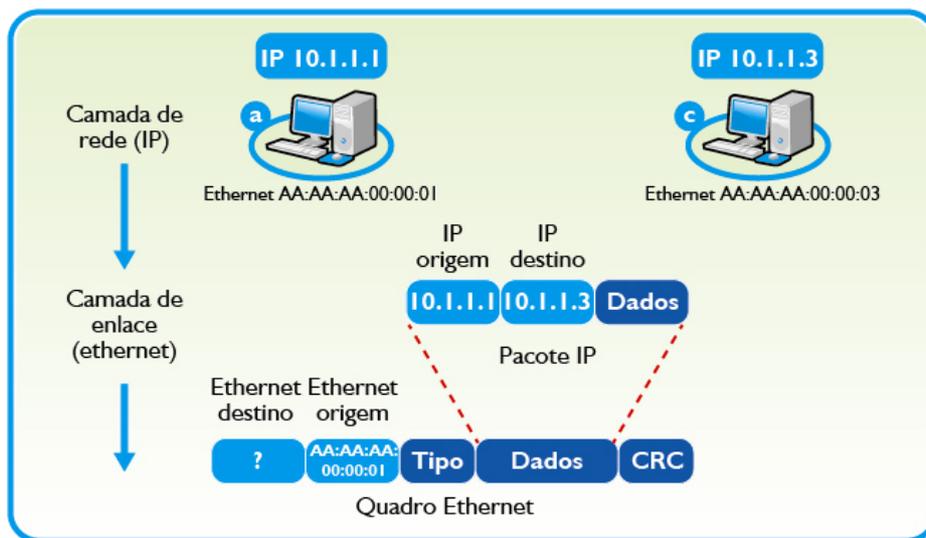


O problema é que, como você já sabe, não existe nenhuma placa de rede que fale IP, que é um protocolo da camada de rede. As placas de rede implementam a camada de enlace e, portanto, se comunicam enviando quadros no formato definido pela sua tecnologia, como por exemplo, Ethernet ou 802.11. Naturalmente, do mesmo modo que os pacotes IP contêm campos para os endereços IP, os quadros também contêm os endereços de enlace (chamados endereços MAC) do computador que gerou o quadro e do computador para o qual ele deve ser entregue. Lembre-se de que endereço MAC é o mesmo que endereço da placa de rede.

O pacote IP é transmitido dentro da parte de dados do quadro utilizado pela placa de rede. Para que o pacote IP seja entregue ao computador desejado, precisamos colocar no quadro, no campo de endereço MAC de destino, o endereço MAC do computador que possui o IP com quem queremos falar. O problema é que o

usuário não sabe o endereço MAC do computador com quem quer falar, ele conhece apenas o endereço IP dele. A **Figura 2** mostra como o pacote IP da **Figura 1**, realmente, precisaria ser transmitido. Vamos assumir que a rede utilizada é da tecnologia Ethernet.

**Figura 02** - Enviando um pacote IP dentro do Ethernet



**Fonte:** Autoria própria.

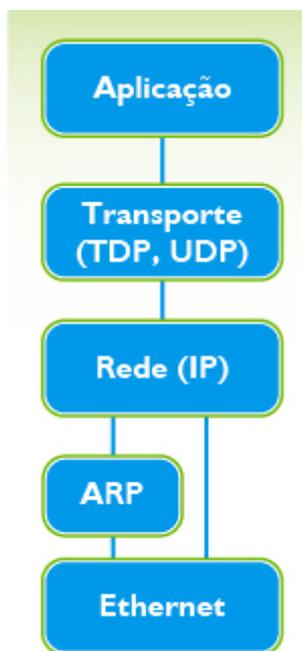
Veja que o campo Endereço Ethernet de origem é preenchido com o endereço da placa de rede da máquina local (de onde o pacote será enviado), mas o endereço Ethernet de destino não é conhecido. Portanto, é necessário que exista algum mecanismo automático para se descobrir o endereço Ethernet associado a um endereço IP. Esse mecanismo existe e é o ARP (Protocolo para Resolução de Endereços, do inglês *Address Resolution Protocol*).

Embora o ARP seja um protocolo genérico que é capaz de “traduzir” endereços de qualquer protocolo de rede para endereços de qualquer protocolo de enlace, normalmente, seu uso mais frequente é traduzir endereços IP para endereços Ethernet, ou endereços IP para endereços MAC 802.11, nas redes sem fio.

Em nossos exemplos, iremos utilizar a tradução de endereços IP para Ethernet, mas os mesmos procedimentos explicados se aplicam para outros protocolos e tecnologias de enlace. Para que fique mais fácil para você lembrar, utilizemos endereços Ethernet que tenham algo em comum com o endereço IP do computador. O último *byte* do endereço Ethernet, por exemplo, normalmente, será igual ao último byte do endereço IP. Mas lembre-se que, na realidade, os endereços Ethernet não mantêm nenhuma relação com o IP. Quando você compra uma placa de rede ela já tem seu endereço Ethernet.

Para finalizar esta seção, veja, na **Figura 3**, onde o protocolo ARP se situa na pilha de protocolos TCP/IP.

**Figura 03** - Posição do ARP na pilha de protocolos TCP/IP



**Fonte:** Autoria própria.

## Funcionamento do ARP

---

Vamos, agora, entender como o ARP consegue descobrir o endereço Ethernet associado a um endereço IP. Antes dessa explicação, é importante que você se lembre de que um computador pode enviar um quadro Ethernet para um único outro computador, ou para todos os outros computadores da rede. No primeiro caso, o endereço da placa de rede do computador de destino é colocado no campo

de “endereço de destino” do quadro, e esse quadro é entregue apenas ao computador de destino. No segundo caso, o campo “endereço de destino” do quadro é preenchido com o endereço especial FF:FF:FF:FF:FF:FF, chamado “Endereço de Broadcast”, fazendo com que o quadro seja entregue a todos os computadores da rede.

O ARP se aproveita dessa capacidade de enviar um quadro para todas as máquinas da rede para resolver o seu problema de forma muito simples. Ele apenas envia uma mensagem em *broadcast* (ou seja, para todas as máquinas da rede) dizendo: “Por favor, quem tem o endereço IP X.X.X.X, pode me informar qual é seu endereço Ethernet?”. Evidentemente, X.X.X.X é substituído pelo endereço IP para o qual ela quer descobrir o Ethernet. Como todas as máquinas recebem essa pergunta, a máquina que tiver o endereço IP X.X.X.X responde informando seu Ethernet. É importante observar que essa resposta não é enviada em *broadcast*. Ela é enviada diretamente para quem fez a pergunta. Isso é possível porque o endereço de quem fez a pergunta está no quadro Ethernet que o destino recebeu, no campo “endereço de origem”.

A mensagem ARP é transmitida dentro da parte de dados do Ethernet, portanto, o campo “tipo” do quadro Ethernet contém o código do protocolo ARP, que é 0x0806 (em hexadecimal). Além disso, naturalmente, o pacote IP só será transmitido após o envio do quadro ARP e do recebimento da resposta. Ainda sobre o valor do campo “tipo”, nos nossos exemplos, quando mostrarmos um quadro, utilizaremos a palavra “ARP” ao invés do código numérico, pois fica mais fácil de entender. Mas lembre-se que, de fato, é utilizado o valor numérico.

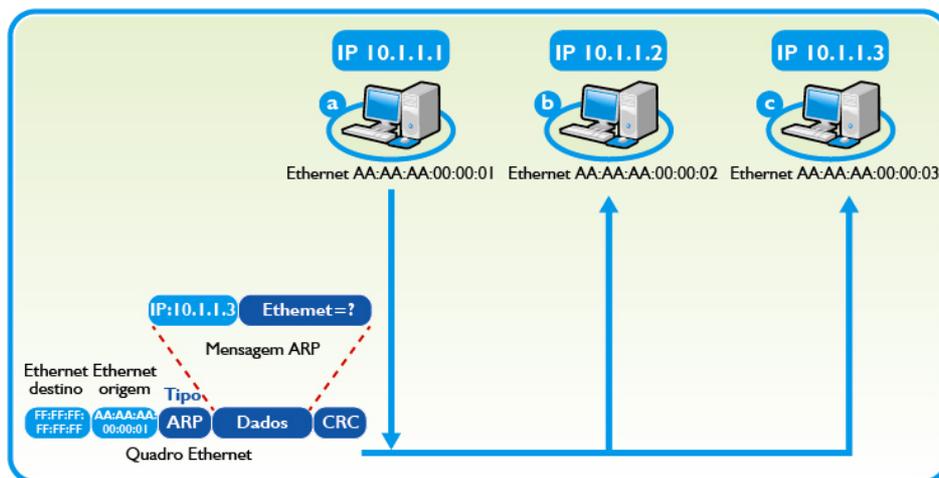


#### Vídeo 02 - Protocolo ARP

A **Figura 4** mostra como ocorre a comunicação mostrada na **Figura 2**, onde a máquina 10.1.1.1 quer transmitir um pacote IP para a máquina 10.1.1.3, e, para isso, utiliza o ARP para descobrir seu endereço Ethernet. Na **Figura 4**, a máquina A envia uma mensagem ARP em *broadcast* perguntando quem tem o IP 10.1.1.3. Veja que o

campo "tipo" do quadro Ethernet contém a identificação do protocolo ARP, e que todas as outras máquinas da rede, no caso, B e C, recebem o quadro, uma vez que ele foi enviado para o endereço de *broadcast* (FF:FF:FF:FF:FF:FF).

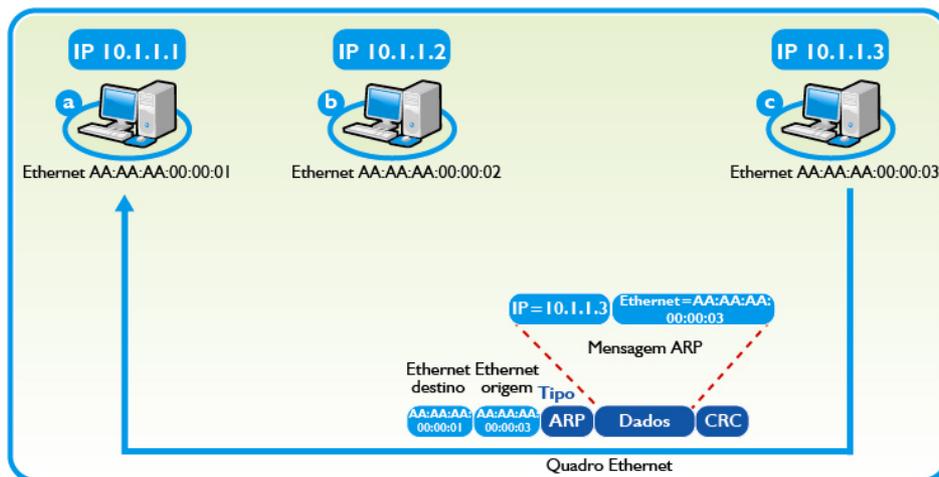
**Figura 04** - Envio de requisição ARP para descobrir o endereço Ethernet



**Fonte:** Autoria própria.

Na **Figura 5**, vemos que apenas a máquina C responde a mensagem ARP, pois ela possui o endereço IP (10.1.1.3) para o qual se deseja descobrir o endereço Ethernet. As outras máquinas, no caso a máquina B, descartam a mensagem ARP. Você pode observar, ainda, que apenas a máquina A recebe essa resposta, pois o quadro é enviado diretamente para o seu endereço (AA:AA:AA:01:01:01).

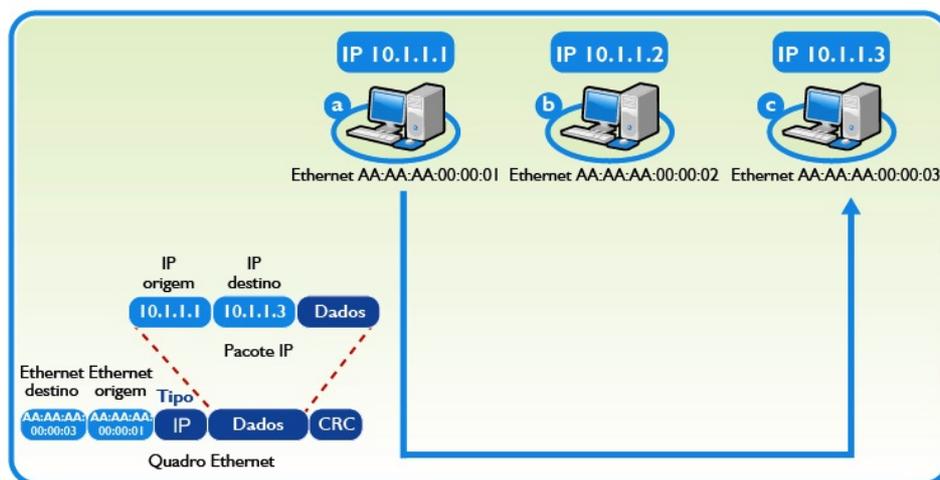
**Figura 05** - Envio de resposta ARP informando o endereço Ethernet



**Fonte:** Autoria própria.

Finalmente, na **Figura 6**, vemos que após receber a resposta ARP informando qual é o endereço Ethernet (AA:AA:AA:00:00:03) associado ao endereço IP de C (10.1.1.3), o pacote IP que precisa ser enviado para ela é colocado dentro de um quadro Ethernet e enviado.

**Figura 06** - Envio do pacote IP após utilização do ARP



**Fonte:** Autoria própria.

## Atividade 01

1. Quais os endereços colocados nos campos "endereço de origem" e "endereço de destino" de um quadro Ethernet contendo uma mensagem de requisição ARP?
2. Qual o valor do campo que define o tipo de um quadro Ethernet contendo uma mensagem de resposta ARP?

[Resposta](#)

## Respostas

1. No endereço de origem é colocado o endereço da placa de rede (mac) da máquina local e no endereço de destino é colocado o endereço da placa de rede (mac) da máquina para qual se deseja enviar a mensagem.
2. O valor referente a resposta ARP é o número hexadecimal 0x0806.

## Formato das Mensagens ARP

---

Na seção anterior, nós descrevemos as mensagens ARPs contendo apenas dois campos: um para o endereço IP e outro para o endereço Ethernet. Na verdade, como o ARP pode funcionar com vários protocolos de camada de rede e vários protocolos de camada de enlace, as mensagens ARP possuem campos para identificar quais protocolos são utilizados.

Antes de vermos esses campos, saiba que existem apenas dois tipos de mensagens, um tipo para perguntar pelo endereço Ethernet associado a um IP, chamado *ARP Request*, e outro, chamado *ARP Reply*, para responder essa requisição, onde a máquina informa o Ethernet associado ao IP. Além disso, os dois tipos de mensagens possuem, exatamente, os mesmos campos, sendo diferenciadas pelo valor contido em um dos campos do quadro, que indica o tipo de operação. O **Quadro 1** mostra os campos de uma mensagem ARP e o significado de cada um desses campos.

<b>Nome do Campo</b>	<b>Tamanho (em bytes)</b>	<b>Descrição</b>
Tipo Hardware	2	Código da tecnologia da camada de enlace (Exemplo: Ethernet. 0x0001 – hexadecimal).
Tipo Protocolo	2	Código do Protocolo de Rede (Exemplo: IP. 0x0800 – hexadecimal).
Tam End. Hw	1	Tamanho do endereço de enlace (em bytes). Se for ethernet contém o valor 6.
Tam End. Proto	1	Tamanho do endereço de Rede (em bytes). Se for IP contém o valor 4.
Operação	2	Código do tipo de mensagem: 0x0001 para o ARP Request, 0x0002 para o ARP Reply.
Endereço Hardware Origem	-	Endereço de Enlace da origem. O tamanho desse campo é o valor do campo “Tam End. Hw”.
Endereço Protocolo Origem	-	Endereço de Rede da origem. O tamanho desse campo é o valor do campo “Tam End. Proto”.
Endereço Hardware destino	-	Endereço de Enlace da origem. Se for ethernet o tamanho é 6 bytes.
Endereço Protocolo Destino	-	Endereço de Enlace da origem. Se for IP o tamanho é 4 bytes.

**Quadro 1** - Campos do quadro ARP

Para entendermos melhor como os campos de endereço são utilizados, vamos ver os valores que, realmente, são enviados nos campos de endereço das mensagens ARP trocadas entre as máquinas A e C, do exemplo mostrado na sessão anterior (Figuras 4 e 5). As duas mensagens são enviadas em quadros Ethernet contendo, no campo de tipo, o código do ARP (0x0806 – hexadecimal), sendo que o ARP request é enviado para o endereço de *broadcast* Ethernet, enquanto o *ARP Reply* é enviado diretamente para o endereço Ethernet de A. Veja, na **Tabela 1**, os valores dos campos da mensagem *ARP Request* enviados pela máquina A e dos campos *ARP Reply* da resposta da máquina B. Observe que no *ARP Request* o endereço de *Hardware* de destino é preenchido com FF:FF:FF:FF:FF:FF, pois é exatamente esse endereço que desejamos descobrir.

Endereços MAC e IP	<i>ARP Request</i> enviada por A	<i>ARP Reply</i> enviada por C
Endereço <i>Hardware</i> Origem	AA:AA:AA:00:00:01	AA:AA:AA:00:00:03
Endereço Protocolo Origem	10.1.1.1	10.1.1.3
Endereço <i>Hardware</i> Destino	FF:FF:FF:FF:FF:FF	AA:AA:AA:00:00:01
Endereço Protocolo Destino	10.1.1.3	10.1.1.1

**Tabela 1** - Valores dos campos de endereço para a comunicação entre A e C

## Atividade 02

1. Em um quadro que contém uma mensagem ARP, para qual campo devemos olhar a fim de saber se é uma mensagem *ARP Request* ou *ARP Reply*? Explique.

[Resposta](#)

## Resposta

1. Devemos olhar o endereço do destinatário pois se o destinatário for o endereço de *broadcast* então essa é uma mensagem de *ARP request*. Caso contrário, é uma mensagem *ARP reply*.

## Cache ARP

---

Embora o modelo descrito na seção anterior resolva o problema da resolução de endereços, ele apresenta dois efeitos colaterais negativos. O primeiro ocorre pelo fato de enviar mensagens pela rede. Pois isso faz com que haja um tempo (atraso) até que a resposta do ARP chegue, causando um atraso no envio do pacote que se deseja transmitir. O segundo efeito negativo se deve ao fato das mensagens serem transmitidas a todas as máquinas na rede. Isso aumenta o volume de tráfego na rede podendo levar a uma redução no seu desempenho. O ideal é que a maior parte da capacidade de transmissão de uma rede seja destinada aos dados das aplicações dos usuários e não aos dados de controle do protocolo. Quanto mais informações para outras finalidades a rede transmitir, como é o caso do ARP, menos banda de rede sobra para os usuários.

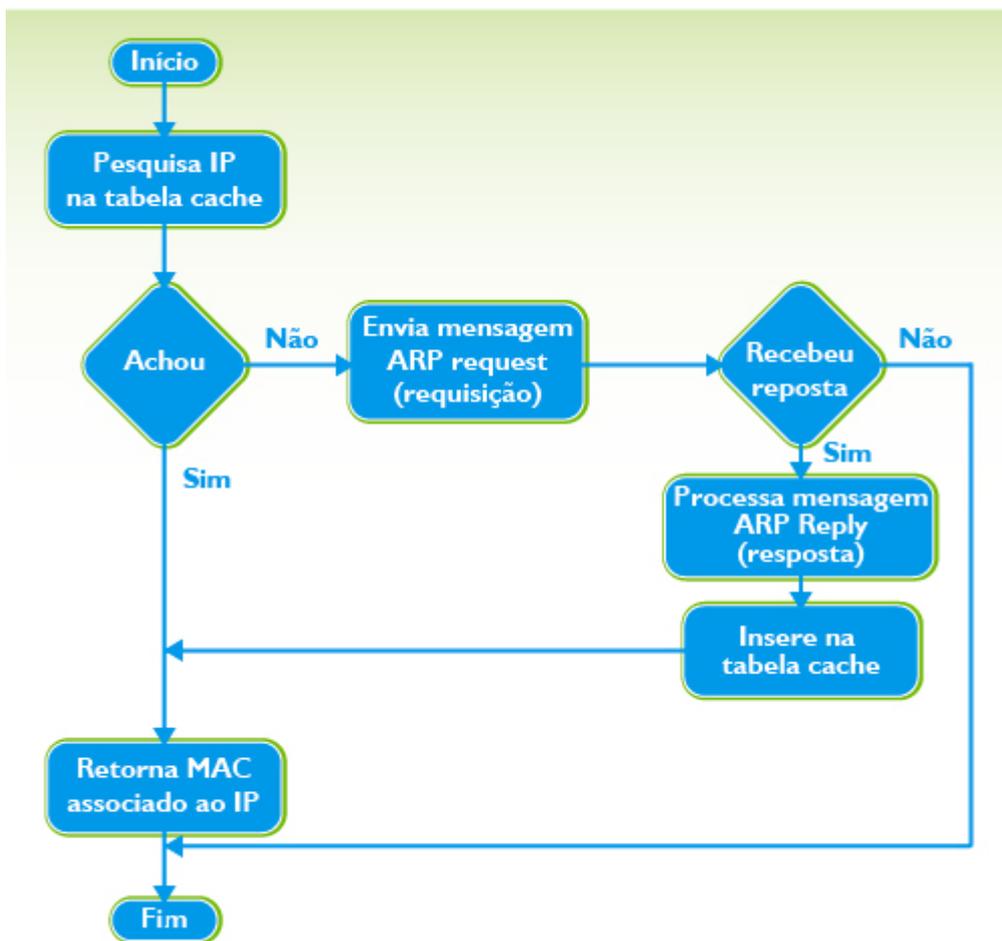
Para minimizar os dois problemas citados, o ARP utiliza uma tabela (chamada de **cache ARP**) onde ele guarda as informações que já descobriu. As duas principais colunas dessa tabela são "endereço IP" e "endereço MAC". Desse modo, cada linha dessa tabela contém um endereço IP e o seu endereço MAC (tipicamente um endereço Ethernet ou 802.11).



**Vídeo 03** - Protocolo ARP

Usando a tabela, o funcionamento do ARP fica da seguinte maneira: quando uma máquina precisa enviar um pacote para um determinado endereço IP, ela primeiro verifica se esse endereço IP já se encontra na tabela ARP. Se ele existir lá, basta obter seu endereço Ethernet a partir da tabela. Nesse caso, nenhuma mensagem é enviada. Caso o endereço IP não exista na tabela, aí sim é enviada a mensagem ARP (ARP request) pela rede. Quando a resposta do ARP chegar (ARP Reply), além de ser utilizado para o envio do pacote IP, é inserida uma entrada na tabela cache associando o IP e o Ethernet. A **Figura 7** mostra um fluxograma que descreve o funcionamento do ARP.

**Figura 07** - Fluxograma do ARP usando a tabela cache



**Fonte:** Autoria própria.

O fluxograma mostra que pode existir uma situação em que enviamos uma requisição ARP e não recebemos resposta. Isso é normal, e acontecerá sempre que tentarmos acessar um endereço IP para o qual não existe nenhuma máquina na nossa rede. Isso acontecerá, por exemplo, quando a máquina que você tenta acessar está desligada. Nesses casos, embora não tenha sido mostrado no

fluxograma, também será inserida uma entrada na tabela cache para o endereço IP, mas não haverá um endereço Ethernet associado. Essa entrada servirá apenas para vermos que já tentamos nos comunicar com aquele IP e não conseguimos resposta. Portanto, sempre que alguém precisar se comunicar com esse IP, uma nova requisição ARP será enviada pela rede.

---

É importante observar que as entradas cadastradas na tabela cache não podem ficar lá para sempre. Para entender o porquê, suponha, por exemplo, que descobrimos que o endereço IP 200.1.1.1 está associado ao endereço Ethernet AA:AA:AA:01:01:01 e inserimos essa entrada na tabela cache. Descobrimos, também, que o endereço IP 200.2.2.2 está associado ao endereço Ethernet AA:AA:AA:02:02:02 e inserimos essa entrada na tabela cache. Podem acontecer duas situações que levariam a um erro:

- Depois de algum tempo, as máquinas podem ter sido reinicializadas e terem obtido outros endereços IP. Suponha que, após a reinicialização, a máquina com endereço Ethernet AA:AA:AA:01:01:01 obteve o endereço IP 200.2.2.2 e a máquina com endereço ethernet AA:AA:AA:02:02:02 obteve o endereço IP 200.1.1.1. Se você usasse as informações que estão na tabela cache, quando tentasse transmitir um pacote para o endereço IP 200.1.1.1, você o enviaria para o endereço ethernet AA:AA:AA:01:01:01, o que está errado. Como esse endereço MAC agora está associado ao IP 200.2.2.2, você enviaria o pacote para a máquina errada.
- A placa de rede da máquina 200.1.1.1, que possuía endereço Ethernet AA:AA:AA:01:01:01, pode ter dado algum problema e ter sido trocada por outra. Como o endereço Ethernet é um endereço gravado na própria placa, a nova placa de rede terá outro endereço Ethernet. Portanto, se continuasse usando as informações armazenadas na tabela cache inicialmente, você não conseguiria mais se comunicar com a máquina 200.1.1.1.

Para minimizar os dois problemas citados, cada linha da tabela cache possui uma terceira coluna, que guarda uma informação de tempo, chamada *timestamp*. Essa coluna contém o instante do tempo em que a entrada foi inserida na tabela. Assim, se depois de certo tempo em que foi inserida a entrada não for utilizada, ela é removida. Além disso, mesmo as entradas utilizadas são removidas depois de

certo tempo (tempo esse que, naturalmente, é maior que o das entradas não utilizadas). Por fim, saiba que a tabela cache de ARP é, normalmente, chamada apenas de “Tabela ARP”.

## Atividade 03

---

1. Para que serve a Tabela ARP?
2. Explique as razões de essa tabela estar sempre sendo atualizada.

### [Resposta](#)

#### Resposta

1. A tabela ARP serve para armazenar a relação entre os endereços MAC e endereços IP de cada computador da rede.
2. A tabela ARP deve estar sendo sempre atualizada pois nem sempre uma máquina possui sempre o mesmo IP. Desse modo, o endereço IP de cada máquina deve estar sempre atualizado para evitar o risco de enviar mensagens para o computador errado. Outro motivo é em caso da troca da placa de rede de uma máquina, uma vez que cada placa de rede possui um endereço MAC distinto de todas as outras placas de rede existentes.

## Manipulando a Cache

---

Podemos, facilmente, listar o conteúdo da tabela ARP a partir de comandos do sistema operacional. O comando para listar o conteúdo da tabela é: `arp -n`. Vamos usar esse comando por meio de alguns exemplos práticos.



## Vídeo 04 - Protocolo ARP

### Quando tudo dá certo

Supondo que temos uma rede como a mostrada na **Figura 1**. Vamos ver o que acontece quando a máquina A (10.1.1.1) vai enviar um *ping* para a máquina C (10.1.1.3).

Suponha que a máquina A acabou de ser ligada e ainda não se comunicou com ninguém. Desse modo, antes de executar o comando *ping* na máquina A, podemos ver que sua tabela ARP está vazia, digitando o comando `arp -n`. Veja na **Figura 8** que nada é mostrado.

**Figura 08** - Tabela ARP vazia

```
aluno@Maquina-A:~$arp -n
aluno@Maquina-A:~$ █
```

**Fonte:** Autoria própria.

A seguir, o usuário da máquina A realiza o comando *ping* para a máquina C. Como podemos ver na **Figura 9**, a máquina C enviou as respostas, de modo que o comando foi bem sucedido.

**Figura 09** - Comando *ping* executado com sucesso

```
aluno@Maquina-A:~$ ping 10.1.1.3
PING 10.1.1.3 (10.1.1.3) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.1.1.3: icmp_seq=1 ttl=64 time=10.1 ms
64 bytes from 10.1.1.3: icmp_seq=2 ttl=64 time=6.16 ms
64 bytes from 10.1.1.3: icmp_seq=3 ttl=64 time=5.51 ms
^C
--- 10.1.1.3 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2016ms
rtt min/avg/max/mdev = 5.514/7.263/10.109/2.029 ms
aluno@Maquina-A:~$ █
```

**Fonte:** Autoria própria.

Como a máquina A precisou descobrir o Ethernet associado ao endereço de C (10.1.1.3) para poder lhe enviar os pacotes, ela lhe enviou, primeiro, uma mensagem ARP e colocou a resposta na Tabela ARP (Cache). Podemos verificar isso digitando o comando **arp -n** na máquina A, conforme mostrado na **Figura 10**.

**Figura 10** - Tabela ARP contendo o endereço Ethernet associado ao IP 10.1.1.3

```
aluno@Maquina-A:~$ arp -n
Address          HWtype  HWaddress          Flags Mask          Iface
10.1.1.3         ether   aa:aa:aa:00:00:03  C                   eth0
aluno@Maquina-A:~$
```

**Fonte:** Autoria própria.

A coluna *Address* mostra o endereço IP para o qual o Ethernet mostrado na coluna *HWaddress* está associado. A coluna *HWtype* diz que o tipo do endereço da coluna *HWaddress* é um endereço Ethernet, e a coluna *Iface* diz qual das placas de rede da máquina A está conectada na rede onde a máquina C se encontra (lembre-se que se a máquina A fosse um roteador ela teria mais de uma placa de rede).

Como já explicamos antes, essa entrada fica guardada na Tabela ARP por certo tempo (tipicamente dois minutos) e depois é apagada. Durante o tempo em que ela está na cache, se a máquina A tentar se comunicar com a máquina C, não será necessário enviar uma nova mensagem ARP. Depois que ela for excluída, a próxima tentativa de comunicação com C irá gerar, novamente, uma mensagem ARP e a resposta será incluída na Cache. O processo continua sempre desse modo, com as informações sendo incluídas e apagadas da cache. Portanto, se esperássemos, aproximadamente, 2 minutos e executássemos o comando **arp -n** novamente na máquina A, veríamos que sua tabela ARP estaria vazia novamente.

## Otimização do ARP

---

Normalmente, uma máquina que recebe um pacote IP de outra envia pacotes de volta para esta máquina. Assim sendo, quando uma máquina recebe uma requisição ARP, ela pode já inserir o endereço IP e o Ethernet da máquina que lhe enviou o quadro na sua tabela cache. Isso evita que ela precise enviar uma requisição ARP para a máquina de origem quando tentar se comunicar com ela. Desse modo, no exemplo que mostramos a máquina A enviando um ping para a máquina C, a máquina C, ao receber a requisição ARP perguntando pelo seu IP (10.1.1.3), já insere o endereço IP (10.1.1.1) e o Ethernet (AA:AA:AA:00:00:01) da máquina A na sua cache.

Assim, quando C for responder ao *ping*, o endereço Ethernet de A já vai ser conhecido e não será necessário enviar uma nova requisição ARP. Na **Figura 11**, mostramos a tabela ARP da máquina C após receber o ping de A. Veja que foi inserida uma entrada para o IP e Ethernet de A.

**Figura 11** - Tabela Cache da Máquina C após receber ping de A

```
aluno@Maquina-C:~$ arp -n
Address          Hwtype HWaddress      Flags Mask      Iface
10.1.1.1         ether   aa:aa:aa:00:00:01 C               eth0
aluno@Maquina-C:~$
```

**Fonte:** Autoria própria.

Talvez você esteja se perguntando: “Espere aí, como tenho certeza de que essa entrada foi inserida, automaticamente, quando C recebeu o ARP, ou após ele tentar enviar a resposta do *ping*?”. Se você pensou isso, tens razão. Apenas olhando a tabela não dá para saber, pois quando C tentasse enviar a resposta do *ping*, ele iria primeiro enviar uma mensagem ARP para A, de modo que a tabela seria preenchida do mesmo jeito.

Para termos certeza que C não enviou nenhuma mensagem de requisição ARP, basta capturarmos os quadros transmitidos. Isso pode ser feito em A, em C, ou em qualquer máquina da rede, uma vez que os quadros ARP são enviados em broadcast. Vamos capturar na máquina B (veja **Figura 6**). Na **Figura 12**, que mostra os quadros capturados durante o envio e a resposta do *ping* de A para C, você pode ver que em nenhum momento C envia mensagens de requisição ARP para A. Ele envia apenas a resposta ao pedido feito por A.

A linha 4 da **Figura 12** mostra a mensagem de *ARP Request* (requisição), onde 10.1.1.1 perguntou quem tem (*Who-has*) o IP 10.1.1.3. A linha 5 mostra o *ARP Reply* (resposta), onde 10.1.1.3 responde dizendo que o endereço Ethernet é (*is-at*) AA:AA:AA:00:00:03. As demais 6 linhas representam os três pacotes *ping* trocados entre as máquinas. Desse modo, as linhas 6 e 7 são referentes ao primeiro pacote *ping* (veja a indicação seq 1), e mostram, respectivamente, a requisição *ping* enviada de 10.1.1.1 para 10.1.1.3, e a resposta enviada de 10.1.1.3 para 10.1.1.1.

**Figura 12** - Captura de quadros na rede durante a comunicação entre A e C

```
root@Maquina-B:/home/aluno# tcpdump -n
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on eth0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 96 bytes
18:01:00.877131 ARP, Request who-has 10.1.1.3 tell 10.1.1.1, length 46
18:01:00.878363 ARP, Reply 10.1.1.3 is-at aa:aa:aa:00:00:03, length 46
18:01:00.878383 IP 10.1.1.1 > 10.1.1.3: ICMP echo request, id 30213, seq 1, length 64
18:01:00.878859 IP 10.1.1.3 > 10.1.1.1: ICMP echo reply, id 30213, seq 1, length 64
18:01:01.873359 IP 10.1.1.1 > 10.1.1.3: ICMP echo request, id 30213, seq 2, length 64
18:01:01.874051 IP 10.1.1.3 > 10.1.1.1: ICMP echo reply, id 30213, seq 2, length 64
18:01:02.886735 IP 10.1.1.1 > 10.1.1.3: ICMP echo request, id 30213, seq 3, length 64
18:01:02.886919 IP 10.1.1.3 > 10.1.1.1: ICMP echo reply, id 30213, seq 3, length 64
```

Fonte: Autoria própria.

## Quando não Obtemos Resposta

---

Vamos ver, agora, como fica a tabela ARP quando tentamos nos comunicar com alguém que não responde a mensagem ARP (provavelmente, porque a máquina está desligada, ou porque digitamos um endereço IP que não pertence a ninguém da rede).

**Figura 13** - Tabela ARP com endereço Ethernet não localizado

```
root@Maquina-B:/home/aluno# tcpdump -n
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on eth0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 96 bytes
18:01:00.877131 ARP, Request who-has 10.1.1.3 tell 10.1.1.1, length 46
18:01:00.878363 ARP, Reply 10.1.1.3 is-at aa:aa:aa:00:00:03, length 46
18:01:00.878383 IP 10.1.1.1 > 10.1.1.3: ICMP echo request, id 30213, seq 1, length 64
18:01:00.878859 IP 10.1.1.3 > 10.1.1.1: ICMP echo reply, id 30213, seq 1, length 64
18:01:01.873359 IP 10.1.1.1 > 10.1.1.3: ICMP echo request, id 30213, seq 2, length 64
18:01:01.874051 IP 10.1.1.3 > 10.1.1.1: ICMP echo reply, id 30213, seq 2, length 64
18:01:02.886735 IP 10.1.1.1 > 10.1.1.3: ICMP echo request, id 30213, seq 3, length 64
18:01:02.886919 IP 10.1.1.3 > 10.1.1.1: ICMP echo reply, id 30213, seq 3, length 64
```

Fonte: Autoria própria.

A **Figura 13** mostra que, inicialmente, enviamos um *ping* para o endereço IP 10.1.1.5, para o qual sabemos não existir nenhuma máquina com esse endereço na rede. A resposta do *ping*, "*Destination Host Unreachable*", significa "Máquina de Destino Inalcançável", ou seja, ninguém respondeu ao *ping* enviado. A verdade é que o *ping* nem mesmo chegou a ser enviado. Como a máquina de origem e a de destino pertencem a mesma rede (10.1.1.0), a máquina A enviou primeiro uma mensagem ARP perguntando pelo Ethernet de 10.1.1.5, mas ninguém respondeu. O valor "*incomplete*" na coluna *HWaddress* mostra que não foi possível descobrir o endereço Ethernet associado ao IP 10.1.1.5. Como essa entrada na tabela está "incompleta", sempre que alguém tentar se comunicar com o endereço IP 10.1.1.5 uma nova mensagem ARP será enviada.

## Alterando a Tabela ARP

---

Além de verificar o conteúdo da cache, também é possível excluir alguma entrada, ou cadastrar uma entrada de modo permanente. Saiba, entretanto, que, normalmente, você não precisa utilizar esses comandos, pois o ARP funciona sem requerer nenhuma configuração.

O cadastro permanente de endereços na cache é chamado estático e as entradas inseridas dessa forma **nunca** são apagadas depois de certo tempo. Embora forneça um nível maior de segurança que o modo dinâmico, pois dificulta a tentativa de alguém em se passar por um determinado endereço, é **menos flexível** que o modo dinâmico. Isso porque, se a máquina mudar seu IP ou Ethernet, você, obrigatoriamente, terá que mudar o registro manualmente. O comando para inserir um registro associando o endereço Ethernet xx:xx:xx:xx:xx:xx com o IP A.B.C.D é: `arp -s A.B.C.D xx:xx:xx:xx:xx:xx`.

A exclusão de registros da cache é muito utilizada quando você deseja fazer testes ou, eventualmente, quando você detecta que algum endereço na cache ainda não foi atualizado após você trocar a placa de rede de alguma máquina. A **Figura 14** mostra como é possível excluir o endereço Ethernet associado a um IP. Veja que após a exclusão o endereço aparece como “incompleto”.

**Figura 14** - Tabela ARP com endereço Ethernet não localizado

```
root@Maquina-A:/home/aluno# arp -n
Address          Hwtype  Hwaddress      Flags Mask      Iface
10.1.1.2         ether   aa:aa:aa:00:00:02  C          eth0
root@Maquina-A:/home/aluno# arp -d 10.1.1.2
root@Maquina-A:/home/aluno#
root@Maquina-A:/home/aluno# arp -n
Address          Hwtype  Hwaddress      Flags Mask      Iface
10.1.1.2         .       (incomplete)   .          eth0
```

**Fonte:** Autoria própria.

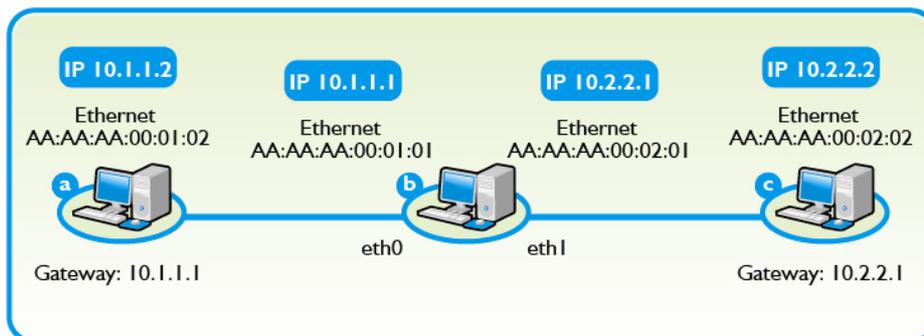
## Máquinas em Redes Diferentes e o ARP

---

Vamos, agora, analisar o que acontece com o ARP em um cenário diferente do que usamos nos exemplos anteriores, onde todas as máquinas estavam na mesma rede. Nesse nosso cenário, que é mostrado na **Figura 15**, as máquinas A e C estão

em duas redes diferentes, e a máquina B é, agora, um roteador que possui duas placas de rede, uma conectada a cada rede.

**Figura 15** - ARP com máquinas em redes diferentes



**Fonte:** Autoria própria.

Observe que a placa de rede eth0 de B possui IP 10.1.1.1 e Ethernet AA:AA:AA:00:01:01, e a placa eth1 possui IP 10.2.2.1 e Ethernet AA:AA:AA:00:02:01. Além disso, o *gateway* (roteador padrão) da máquina A é 10.1.1.1 e o *gateway* da máquina C é 10.2.2.1. O que será que acontece quando A realiza um *ping* para C? Qual endereço Ethernet será colocado na Tabela ARP de A?

Vamos olhar logo como a tabela ARP fica, e depois explicamos. Veja, na **Figura 16**, a tabela cache de A após o *ping* para C.

**Figura 16** - Tabela ARP após ping para máquina em outra rede

```
root@Maquina-A:/home/aluno# arp -an
? (10.1.1.1) at aa:aa:aa:00:01:01 [ether] on eth0
root@Maquina-A:/home/aluno#
```

**Fonte:** Autoria própria.

Entendeu o que aconteceu? Se tentamos nos comunicar com a máquina C, por que apareceram os endereços IP e Ethernet do roteador (máquina B)? A resposta é que como A e C estão em redes diferentes, não tem como enviar o pacote IP diretamente para C. Esse pacote precisa ser enviado para o roteador da rede onde A se encontra. Assim sendo, não faria sentido enviar uma ARP tentando descobrir o Ethernet de C. Você provavelmente deve estar com dúvidas agora! Não se preocupe, provavelmente essa sua dúvida está relacionada ao assunto **roteamento**. Mais detalhes sobre esse assunto serão estudados nas próximas aulas dessa disciplina.

Para enviar o pacote IP de A para C, primeiro é necessário enviar para o roteador. Para isso é necessário colocar o endereço Ethernet do roteador no campo de destino do quadro Ethernet. É aqui que o ARP entra. Como a máquina A sabe o endereço IP do roteador da sua rede, ela envia uma requisição ARP perguntando por esse IP. Na verdade, o computador A não quer enviar nenhum pacote para o endereço IP do roteador, mas, sim, apenas descobrir seu Ethernet. Após descobrir o endereço Ethernet do roteador, a máquina A envia o ping para a máquina C, os pacotes obrigatoriamente passam pelo roteador antes de chegar ao seu destino.

A **Figura 17** mostra os pacotes capturados (apenas os primeiros pacotes) na máquina B, quando a máquina A enviou um *ping* para C. Veja que B recebe uma requisição ARP vinda de A (10.1.1.2) para seu IP (10.1.1.1), e envia a resposta. Observe, também, que embora os pacotes de *ping* sejam enviados ao roteador (para seu Ethernet), naturalmente, o endereço IP de destino do pacote é o IP de C (10.2.2.2).

**Figura 17** - Mensagens ARP quando as máquinas de origem e destino estão em redes diferentes

```
root@Maquina-B:/home/aluno# tcpdump -n
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on eth0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 96 bytes
19:44:20.911140 ARP, Request who-has 10.1.1.1 tell 10.1.1.2, length 46
19:44:20.911185 ARP, Reply 10.1.1.1 is-at aa:aa:aa:00:01:01, length 28
19:44:20.911595 IP 10.1.1.2 > 10.2.2.2: ICMP echo request, id 63749, seq 1, length 64
```

**Fonte:** Autoria própria.

## Atividade 04

---

1. Vimos que ARP sofreu um processo de otimização. Em que essa otimização alterou no modo de operação do ARP?
2. Qual a principal vantagem e a principal desvantagem de se alterar diretamente a tabela ARP (modo estático)?

[Resposta](#)

## Resposta

1. Para uma máquina A descobrir o endereço ARP de uma máquina B, é necessário que A envie uma requisição ARP, e que B responda esta requisição informando seu endereço. Como a requisição enviada por A contém seu endereço, B pode extrair o endereço de A da requisição recebida, e inclui-lo em sua tabela cache. Isso evita que B precise enviar uma requisição ARP para a máquina A quando tentar se comunicar com ela, reduzindo o número de pacotes que precisa ser transmitido pela rede.
2. De acordo com o que foi visto na aula, a principal vantagem é a maior segurança uma vez que dificulta a tentativa de alguém se passar por um determinado endereço. A principal desvantagem do modo estático é que se a máquina mudar seu IP ou Ethernet, obrigatoriamente é necessário mudar o registro manualmente.

# Resumo

---

Nesta aula, você aprendeu que o protocolo ARP traduz endereços da camada de rede para endereços da camada de enlace (endereços MAC), e que na maioria das redes esses protocolos são o IP e o Ethernet. Além disso, aprendeu que esse protocolo envia uma mensagem *ARP Request* para o endereço de broadcast da rede perguntando quem tem um determinado endereço IP. Viu que após isso, a máquina que possui esse IP envia uma resposta diretamente para quem enviou a solicitação, contendo o Ethernet associado ao IP informado. Você viu, também, que para reduzir o tráfego gerado na rede, e o tempo para obter a informação, o ARP faz uso de uma tabela cache (chamada de tabela ARP) que mantém os endereços (IP e Ethernet) recentemente descobertos.

# Referências

---

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de computadores e a internet**. 5. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2010.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores e a internet**.. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2003.

FOROUZAN, B. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.