



Tolerância a Falhas em Encaminhamento IP

Sistemas Distribuídos e Tolerância a Falhas



Hugo Veiga
João Caldeira
Vasco Soares

hveiga@ubi.pt
jcaldeira@est.ipcb.pt
vasco_g_soares@est.ipcb.pt



Sumário

- **Encaminhamento IP**
 - **Encaminhamento**
 - Fundamentos
 - Conceitos genéricos sobre encaminhamento: sistema autónomo, tempo de convergência, ciclos infinitos, métrica
 - Algoritmos Distance-Vector *versus* Link-State
 - Algoritmos Dijkstra e Bellman-Ford
 - **Protocolos de encaminhamento interior**
 - RIP
 - IGRP
 - EIGRP
 - OSPF
 - IS-IS



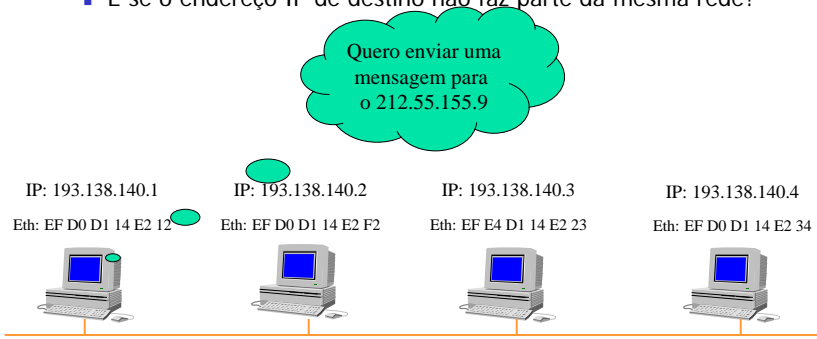
Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento na mesma rede IP

- Na mesma rede IP, os pacotes são encaminhados para o destino através da obtenção do endereço físico do destinatário.
 - ARP em acção.
- E se o endereço IP de destino não faz parte da mesma rede?

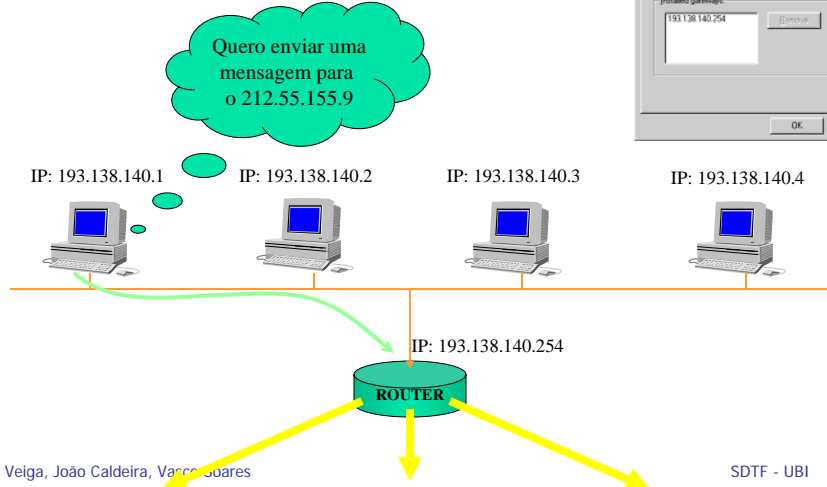


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento através de um gateway





Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Tabela de encaminhamento num host

- Visualização da tabela de encaminhamento num host:
 - Comando `c:\route print`

```
ca E:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\>
E:\>
E:\>route print
=====
Interface List
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x2 ..00 c0 df 0f 3b 38 ..... Realtek RTL8139 Family PCI Fast Ethernet NIC - P
acket Scheduler Miniport
=====
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway             Interface           Metric
-----
0.0.0.0                    0.0.0.0          217.129.170.1      217.129.170.18     20
127.0.0.0                  255.0.0.0        127.0.0.1          127.0.0.1          1
217.129.170.0              255.255.248.0    217.129.170.18    217.129.170.18     20
217.129.170.18             255.255.255.255  127.0.0.1          127.0.0.1          20
217.129.170.255           255.255.255.255  217.129.170.18    217.129.170.18     20
224.0.0.0                  240.0.0.0        217.129.170.18    217.129.170.18     20
255.255.255.255           255.255.255.255  217.129.170.18    217.129.170.18     1
Default Gateway:          217.129.170.18
=====
Persistent Routes:
None
E:\>
```

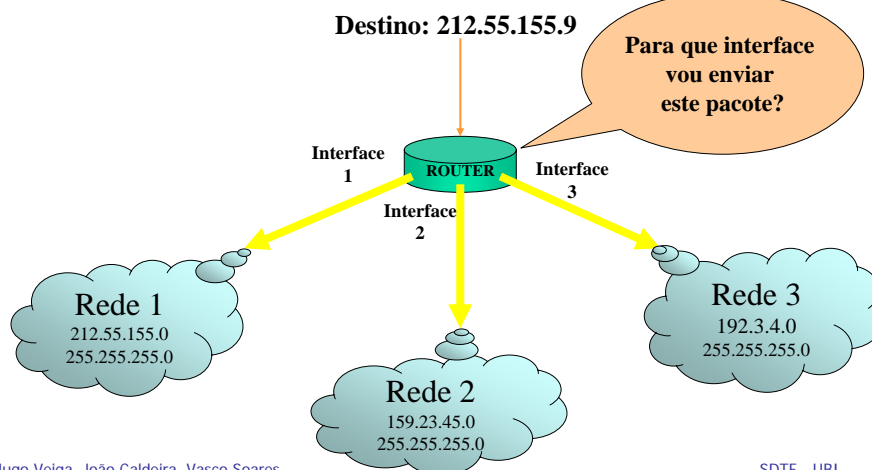


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Qual o caminho a utilizar?





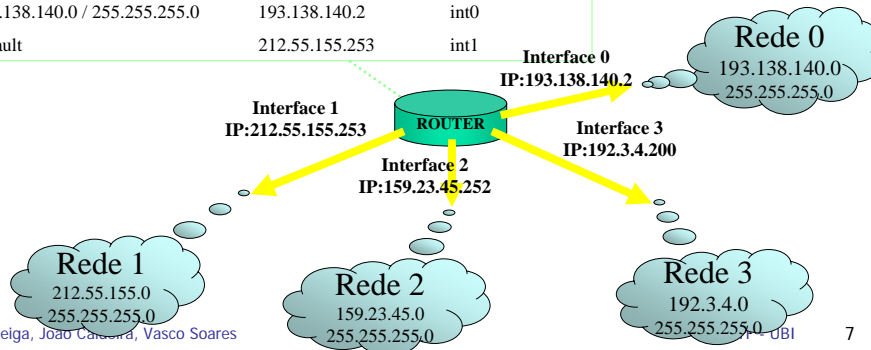
Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Tabela de encaminhamento num router

<u>DESTINO</u>	<u>GATEWAY</u>	<u>INTERFACE</u>
212.55.155.0 / 255.255.255.0	212.55.155.253	int1
159.23.45.0 / 255.255.255.0	159.23.45.252	int2
192.3.4.0 / 255.255.255.0	192.3.4.200	int3
193.138.140.0 / 255.255.255.0	193.138.140.2	int0
default	212.55.155.253	int1



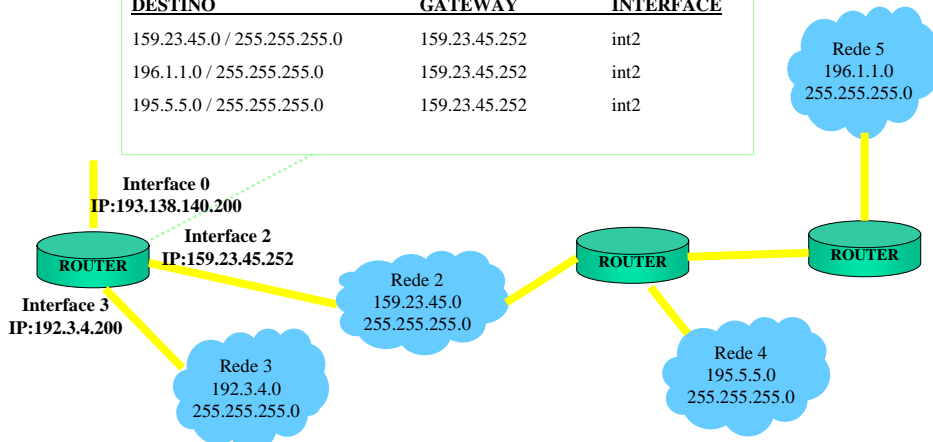
Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento indirecto

<u>DESTINO</u>	<u>GATEWAY</u>	<u>INTERFACE</u>
159.23.45.0 / 255.255.255.0	159.23.45.252	int2
196.1.1.0 / 255.255.255.0	159.23.45.252	int2
195.5.5.0 / 255.255.255.0	159.23.45.252	int2





Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

- Encaminhamento
 - Exemplo de uma rota

```
E:\>tracert www.nasa.gov

Tracing route to www.nasa.gov.speedera.net [212.72.49.67] over a maximum of 30 hops:

  0  11 ms  49 ms  24 ms  10.10.0.1
  1  10 ms  14 ms  20 ms  192.168.11.9
  2  27 ms  50 ms  37 ms  10.250.0.17
  3  46 ms  44 ms  49 ms  PLM-JBR2001.netvisao.pt [213.228.128.1]
  4  96 ms  41 ms  109 ms  Pos8-0-0.GW1.LIS1.ALTER.NET [146.188.57.149]
  5  80 ms  89 ms  94 ms  423.at-1-0-0.XR2.LIS1.ALTER.NET [146.188.10.217]
  6  173 ms  113 ms  103 ms  so-3-1-2.TR2.LND9.ALTER.NET [146.188.4.37]
  7  116 ms  152 ms  150 ms  POS2-0.BR1.LND9.ALTER.NET [146.188.7.246]
  8  90 ms  204 ms  100 ms  146.188.68.210
  9  120 ms  239 ms  211 ms  ae-0-54.bbr2.London1.Level3.net [212.187.131.146]
 10  110 ms  93 ms  95 ms  so-2-0-0.mpl.Amsterdaml.Level3.net [212.187.128.26]
 11  125 ms  214 ms  189 ms  ge-10-2.ipcolo2.Amsterdaml.Level3.net [213.244.165.100]
 12  241 ms  229 ms  222 ms  212.72.45.34
 13  98 ms  228 ms  100 ms  212.72.49.67

Trace complete.
```



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

- Encaminhamento
 - Princípios
 - Garantir a conectividade extremo-a-extremo.
 - Maximizar o desempenho da rede.
 - Fornecer capacidade de sobrevivência falhas.
 - É então necessário:
 - Definir políticas de encaminhamento.
 - Trocar informação de encaminhamento.
 - Calcular caminhos.
 - Manter tabelas de encaminhamento.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Tabela de encaminhamento num router

- Mantém informação quanto ao caminho que deve ser utilizado para atingir um determinado destino.
 - Mecanismo básico de encaminhamento: consulta da tabela para determinar o próximo salto a utilizar.
- A introdução dos caminhos nas tabelas é feita de acordo com as políticas de encaminhamento.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Políticas de encaminhamento

- Determinam os caminhos contidos nas tabelas de encaminhamento.
- Várias alternativas:
 - Encaminhamento estático.
 - Encaminhamento dinâmico.
 - Encaminhamento centralizado (normalmente estático).
 - Encaminhamento distribuído (normalmente dinâmico).
 - Encaminhamento sensível à qualidade de serviço.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento estático

- Tabelas de encaminhamento definidas com base no conhecimento *a priori* da rede.
 - São raramente alteradas.
- O administrador de sistema tem a responsabilidade de introduzir manualmente as tabelas nos routers.
- Utilizado em:
 - Redes pequenas.
 - Redes com poucas alterações de topologia.
 - Redes com uma única ligação ao exterior.
 - Redes sem caminhos redundantes.

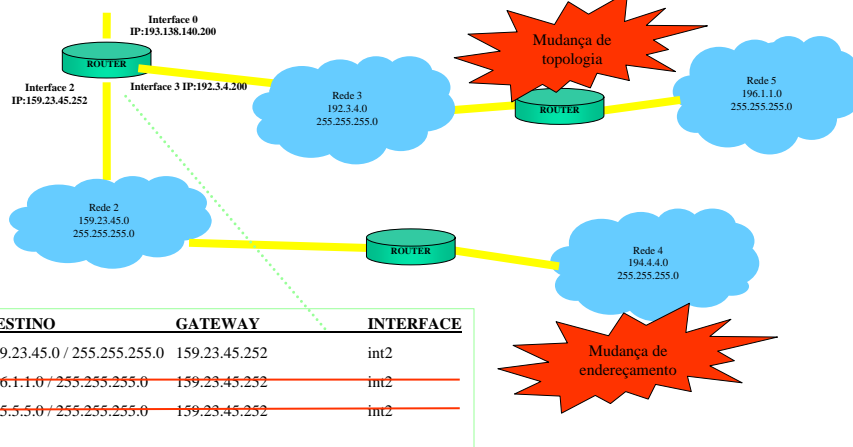


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Inconvenientes das tabelas estáticas





Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento dinâmico

- Tabelas de encaminhamento alteradas de forma automática
 - Daemons.
 - Informação recebida pelos daemons é trocada através de protocolos de encaminhamento.
- Utilizado em:
 - Redes de grande dimensão e de topologias complexas.
 - Redes com frequentes alterações de topologia.
 - Redes com caminhos redundantes, com diferentes características e custos, que se alteram ao longo do tempo.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento dinâmico

- Vantagens
 - Adaptação a alterações da topologia da rede.
 - Reacção a condições de congestão da rede.
 - Aumento do desempenho da rede.
 - Sobrevivência a falhas.
 - Contribuição para a qualidade de serviço.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Encaminhamento dinâmico

■ Desvantagens

- Overhead.
- Maior complexidade.
 - Decisões de routing, protocolos, processamento nos routers.
- Consistência da informação de routing:
 - *Muitas mensagens*: boa actualização, muito overhead.
 - *Poucas mensagens*: má actualização, pouco overhead.
- Tempos de reacção muito curtos podem provocar oscilações.
- Mais cuidado para evitar ciclos.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Conceitos

- Devido a frequentes alterações e falhas ocasionais na rede **os protocolos de encaminhamento devem**:
 - Actualizar assincronamente as tabelas de encaminhamento dos routers, assegurando que estes possam ter uma "visão" consistente da topologia da rede.
 - Ser robustos.
 - Minimizar as mensagens com erros ou desactualizadas que possam conduzir a que não se atinja o destino, loops e oscilações no encaminhamento.
 - Minimizar a dimensão das tabelas de encaminhamento (reduz o overhead computacional).
 - Minimizar as mensagens de controlo (reduz o overhead na rede).



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Conceitos (continuação)

■ Tempo de convergência de um protocolo

- É o tempo que um protocolo de encaminhamento demora a actualizar todas as tabelas de encaminhamento de todos os routers, com a configuração que traduz o estado da rede.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

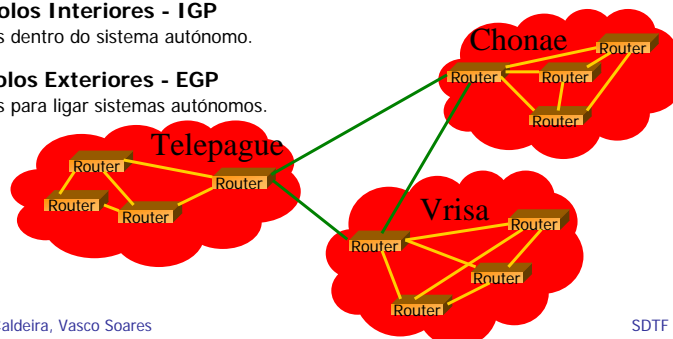
■ Encaminhamento

■ Arquitectura de encaminhamento na Internet

- Um sistema autónomo:
 - Possui uma política de encaminhamento comum.
 - É gerido por uma única entidade de administração técnica.
 - Geralmente tem limitações geográficas e/ou outras.

--- **Protocolos Interiores - IGP**
Usados dentro do sistema autónomo.

..... **Protocolos Exteriores - EGP**
Usados para ligar sistemas autónomos.





Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Cálculo de caminhos

- Os protocolos de encaminhamento não calculam os caminhos.
 - Limitam-se a trocar informação que será usada para calcular o caminho mais curto entre dois pontos da rede.
- Para realizar o cálculo de caminhos, as redes podem ser representadas por grafos.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Encaminhamento

■ Protocolos de encaminhamento

- Os protocolos de *routing* (encaminhamento) não determinam os caminhos a utilizar!
 - Os caminhos são calculados utilizando algoritmos de encaminhamento.
 - Os protocolos difundem os dados a utilizar pelos algoritmos.
- Tipos de protocolos:
 - Distance-vector
 - Link-state



Encaminhamento IP

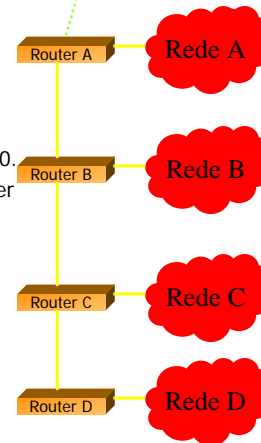
Encaminhamento: Fundamentos

■ Protocolos de encaminhamento

■ Distance-vector

- Procura obter informação sobre a “distância” para todos os destinos e qual a interface a utilizar para esses destinos, através dos vizinhos.
- Cada router apenas precisa de saber um pouco da topologia da rede.
- As redes ligadas directamente têm uma distância de 0.
- Apenas troca informação com os vizinhos. Cada router notifica os routers vizinhos sobre todos os destinos que conhece e respectivas métricas:
 - Quando o router é activado (notifica com as redes a que está ligado).
 - Quando a sua configuração sofre alterações.
 - Periodicamente.
- Por vezes chama-se a este tipo de protocolos, encaminhamento “baseado em rumores”.

DESTINO	DISTÂNCIA
Rede A	0
Rede B	1
Rede C	2
Rede D	3



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Distance-vector

■ Algoritmo Bellman-Ford distribuído

■ Propriedades

- **Distribuído:**
 - Cada nó comunica a sua tabela de encaminhamento aos seus vizinhos.
- **Iterativo:**
 - Continua periodicamente ou quando o estado de um link muda (Ex. quando é detectada uma falha do link).
- Seja $X_n = (C_1, \dots, C_k)$, em que C_i é o custo (distância) de um nó ao destino.
 - **1) Inicialização**
 $X_0 = (\text{Inf}, \text{Inf}, \dots, \text{Inf})$;
 - **2) Todos os s segundos o router i envia aos vizinhos a sua distância ao destino, C_i ;**
 - Cada vizinho de i, realiza o *Update* da distância ao destino C_j , com base na fórmula:
$$C_j = \min (C^{k-1}_j, C^{k-1}_i + w(j,i))$$
 - **3) Repete 2 até não existirem alterações.**



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Protocolos de encaminhamento

■ Link state

- Neste tipo de algoritmos, cada router tem uma visão global sobre a rede.
- Tempos de convergência reduzidos.

- 1 - Cada router descobre os seus vizinhos.
 - Enviando mensagens "HELLO".
- 2 - Cada router envia *LSAs (Link State Advertisements)* com a lista de vizinhos, **o caminho para eles** e respectiva métrica.
 - Uso da técnica de "Flooding".
- 3 - Os *LSAs* recebidos pelos vizinhos, são passados aos vizinhos deles, que por sua vez os passam aos vizinhos deles, etc...
- 4 - Após um determinado tempo, cada router sabe a topologia da rede (mantém uma tabela que contém a descrição de toda a rede) e pode assim calcular o caminho óptimo para um determinado destino.
 - Usando o **algoritmo de Dijkstra**.

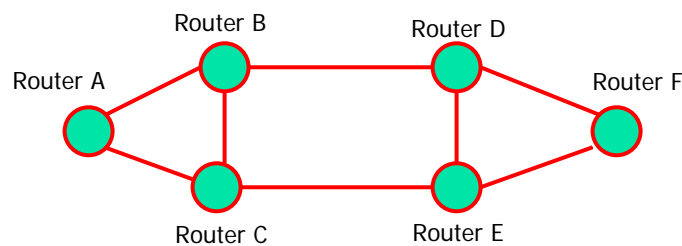


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Link state (continuação)

- Ilustração da técnica de *flooding*





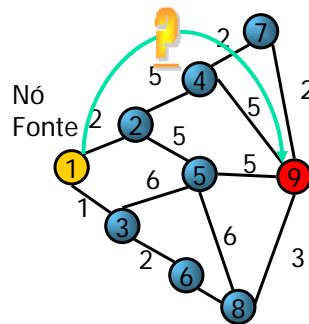
Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Link state (continuação)

■ Cálculo do melhor caminho

- Após cada router ter a base de dados da topologia completa... como é calculado o caminho mais curto entre dois nós de uma rede?



=> Algoritmo Dijkstra



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Link state (continuação)

■ Algoritmo Dijkstra

- Calcula o caminho "mais curto" de um nó A para todos os nós.
- A principal ideia do algoritmo é mudar as etiquetas (*labels*) temporárias associadas com os nós para permanentes.
- Uma label permanente de um nó denota a distância do caminho mais curto do nó fonte ao nó.
- Uma label temporária representa um limite máximo da distância do caminho mais curto.
- Deve ser guardada a informação de forma a que possamos achar o caminho mais curto do nó fonte a cada nó.



Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

- **Link state (continuação)**
 - **Algoritmo Dijkstra**

Inicialização

$N = \{A\}$

Para todos os nós v

Se v adjacente a A

então $D(v) = C(A, v)$

senão $D(v) = \text{infinito}$

Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$

Fim Ciclo se todos os nós em N

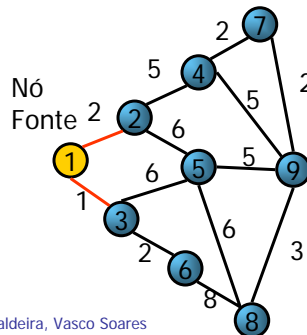


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

- **Algoritmo Dijkstra – Exemplo (Fase de inicialização)**

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	Inf.	Inf.	Inf.	Inf.	Inf.	Inf.
Caminho	--	1-2	1-3	--	--	--	--	--	--
Permanente (N)	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não



Inicialização

$N = \{A\}$

Para todos os nós v

Se v adjacente a A

então $D(v) = C(A, v)$

senão $D(v) = \text{infinito}$

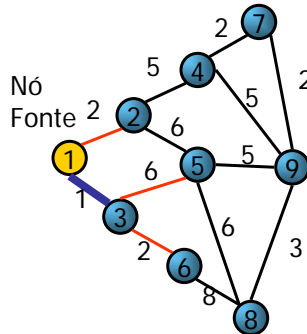


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

Algoritmo Dijkstra – Exemplo (1ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	Inf.	7	3	Inf.	Inf.	Inf.
Caminho	--	1-2	1-3	--	1-3-5	1-3-6	--	--	--
Permanente (N)	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$$D(v) = \min (D(v), D(w)+c(w,v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

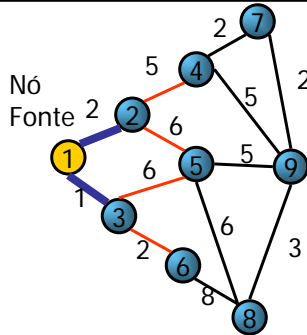


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

Algoritmo Dijkstra – Exemplo (2ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	Inf.	Inf.	Inf.
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	--	--	--
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$$D(v) = \min (D(v), D(w)+c(w,v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

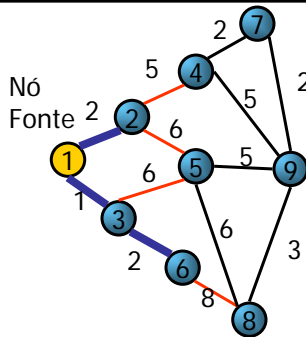


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Algoritmo Dijkstra – Exemplo (3ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	Inf.	11	Inf.
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	--	1-3-6-8	--
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

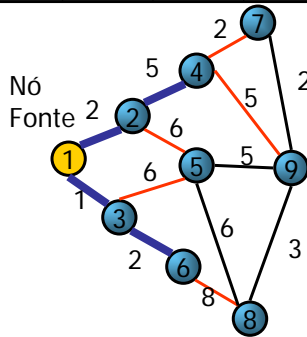


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Algoritmo Dijkstra – Exemplo (4ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	9	11	12
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	1-2-4-7	1-3-6-8	1-2-4-9
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

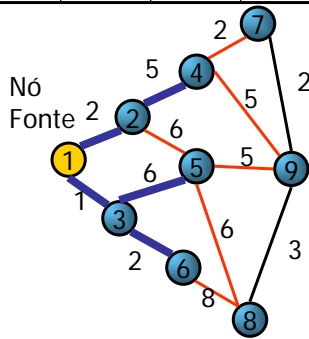


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

Algoritmo Dijkstra – Exemplo (5ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	9	11	12
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	1-2-4-7	1-3-6-8	1-2-4-9
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$$D(v) = \min (D(v), D(w)+c(w,v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

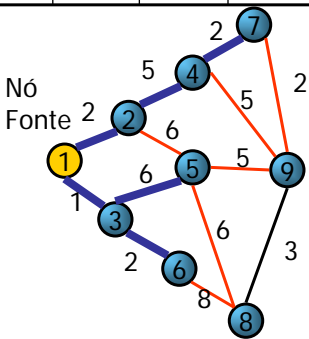


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

Algoritmo Dijkstra – Exemplo (6ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	9	11	11
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	1-2-4-7	1-3-6-8	1-2-4-7-9
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não pertencentes a N :

$$D(v) = \min (D(v), D(w)+c(w,v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

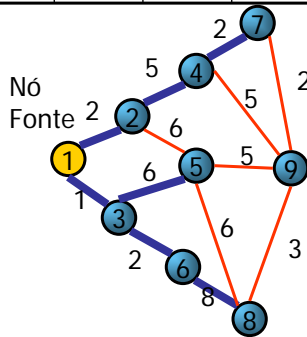


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

Algoritmo Dijkstra – Exemplo (7ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	9	11	11
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	1-2-4-7	1-3-6-8	1-2-4-7-9
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não

pertencentes a N :

$$D(v) = \min (D(v), D(w)+c(w,v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N

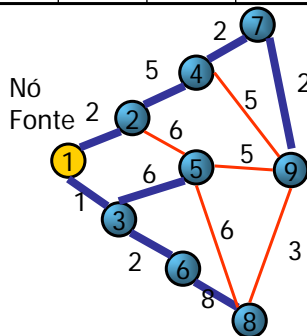


Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

Algoritmo Dijkstra – Exemplo (8ª iteração)

Router	R1 (A)	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Custo min.	0	2	1	7	7	3	9	11	11
Caminho	--	1-2	1-3	1-2-4	1-3-5	1-3-6	1-2-4-7	1-3-6-8	1-2-4-7-9
Permanente (N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim



Início Ciclo

Achar w não pertencente a N tal que $D(w)$ é um mínimo

Adicionar w a N

Actualizar $D(v)$ para todos os v adjacentes a w não

pertencentes a N :

$$D(v) = \min (D(v), D(w)+c(w,v))$$

Fim Ciclo se todos os nós em N



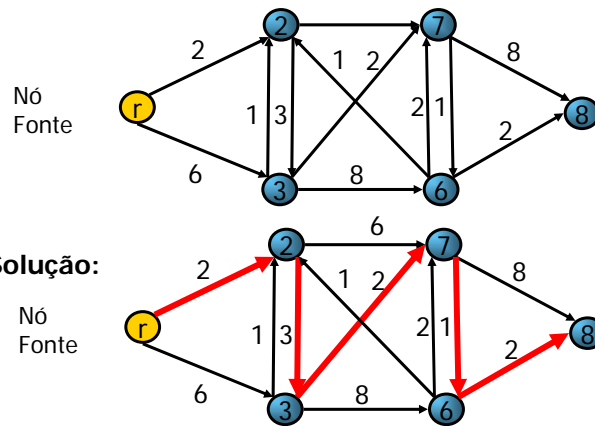
Encaminhamento IP

Encaminhamento: Fundamentos

■ Algoritmo Dijkstra

■ Exercício

- Calcular os caminhos mais curtos desde o nó *r* a todos os outros.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior

■ Protocolos de encaminhamento IP

■ Algoritmos Interiores - IGP

■ Distance Vector

- RIP - Routing Information Protocol (versão 1 e 2)
- IGRP - Interior Gateway Routing Protocol
- EIGRP - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

■ Link State

- OSPF - Open Shortest Path First
- IS-IS - Intermediate System to Intermediate System



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

■ Encaminhamento interior

■ RIP - Routing Information Protocol

- Primeiro protocolo de encaminhamento.
- Pensado para arquitecturas simples de redes.
- Implementado em sistemas operativos de rede como o UNIX e Windows.
- Métrica máxima: 15 *hops*.
- Notifica os vizinhos de 30 em 30 s.
- Após 180 s sem receber notificação assume-se que a ligação não está activa.
- Após 270 s sem receber notificação assume-se que a ligação está definitivamente “morta” e retira-se a entrada da tabela.



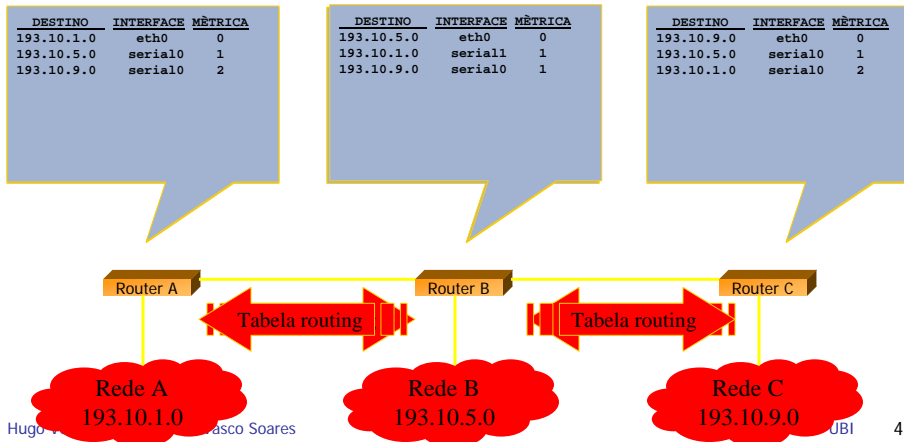
Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

■ RIP - Routing Information Protocol (continuação)

■ Funcionamento básico

- Notar que quando o router recebe uma entrada com um destino que já está na tabela, só a aceita se a métrica for inferior à métrica da entrada actual.





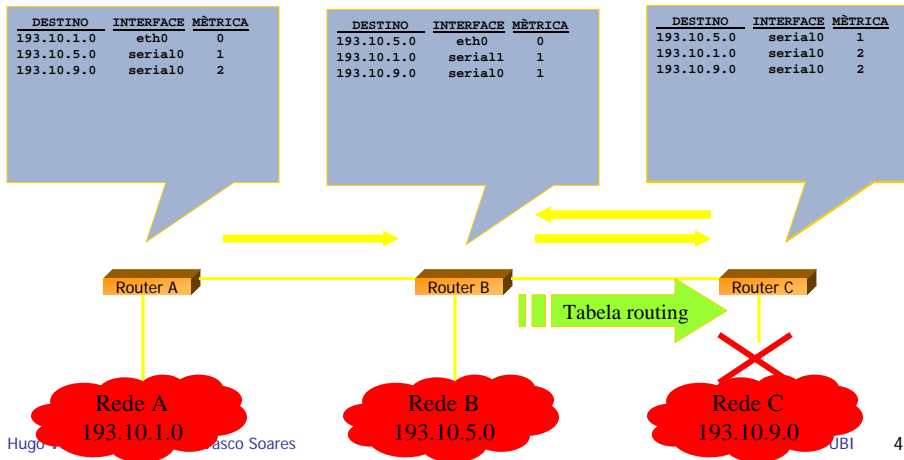
Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

■ RIP - Routing Information Protocol (continuação)

■ O problema dos *loops*

- A ligação do router C à Rede C subitamente apresenta problemas...



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

■ RIP - Routing Information Protocol (continuação)

■ Resolução do problema dos *loops*

■ Algoritmo Split Horizon

- Não difunde uma entrada da tabela numa determinada interface, se essa entrada foi "aprendida" dessa interface.

■ Split Horizon com Poison Reverse Update

- Difunde a entrada, mas com uma métrica de 16 (infinito para o RIP).
- Pode obrigar os routers a encontrar rapidamente a condição "*count-to-infinity*".

■ Qualquer destes algoritmos não elimina completamente os "*loops*"!

- No entanto podem diminuir os tempos de convergência...



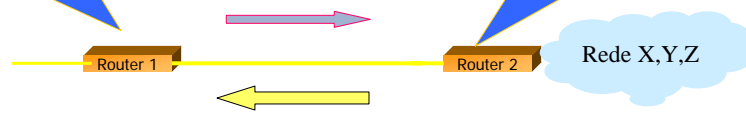
Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

- RIP - Routing Information Protocol (continuação)
 - Algoritmo Split Horizon em acção

DESTINO	INTERFACE	MÉTRICA
B	eth1	1
C	serial0	2
D	serial0	3
X	eth0	2 (1+1)
Y	eth0	3 (2+1)
Z	eth0	4 (3+1)

DESTINO	INTERFACE	MÉTRICA
X	eth1	1
Y	serial0	2
Z	serial0	3
B	eth0	2 (1+1)
C	eth0	3 (2+1)
D	eth0	4 (3+1)



- ➔ Passo 1: R2 aprende algumas rotas a partir de R1.
- ➔ Passo 2: R2 adverte as suas rotas para R1.



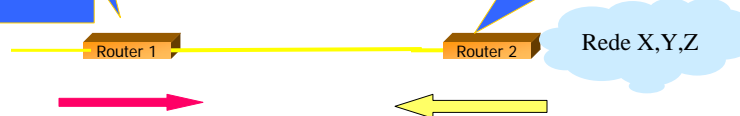
Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

- RIP - Routing Information Protocol (continuação)
 - Algoritmo Split Horizon com Poison Reverse em acção

DESTINO	INTERFACE	MÉTRICA
B	eth1	1
C	serial0	2
D	serial0	3
[
B	eth1	16
C	serial0	16
D	serial0	16]
X	eth0	2 (1+1)
Y	eth0	3 (2+1)
Z	eth0	4 (3+1)

DESTINO	INTERFACE	MÉTRICA
X	eth1	1
Y	serial0	2
Z	serial0	3
B	eth0	2 (1+1)
C	eth0	3 (2+1)
D	eth0	4 (3+1)



- ➔ Passo 1: R2 aprende algumas rotas a partir de R1.
- ➔ Passo 2: R2 adverte as suas rotas para R1.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

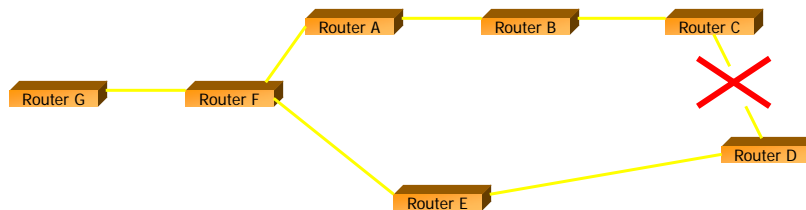
- **RIP - Routing Information Protocol (continuação)**
 - **Difusão das alterações**
 - **“Triggered Update”**
 - Envio da tabela se existir uma alteração na topologia de rede, por exemplo uma ligação que “morre”.
 - Sucessivos *triggered updates* devem ser espaçados por um atraso aleatório (ex. 1 a 5 segs).
 - Os *triggered updates* são difundidos para os vizinhos, os vizinhos emitem de seguida *triggered updates* para os seus vizinhos,
 - Reduz o tempo de convergência.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

- **RIP - Routing Information Protocol (continuação)**
 - **Difusão das alterações**
 - **Tempo de “hold down”**
 - Após a remoção de uma entrada, o router vai esperar um determinado tempo antes de aceitar qualquer *“update”* dessa entrada (diz-se que o router fica em quarentena).
 - No exemplo, após o router F receber de E não aceita updates da rota C - D vindos por exemplo de A.





Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

- **RIP - Routing Information Protocol (continuação)**
 - **Problemas do Protocolo RIP**
 - Métrica máxima de apenas 15 *hops*.
 - Métrica muito simplista.
 - Problemas de segurança.
 - As mensagens RIP são sempre aceites, podendo ter origem duvidosa.
 - Não permite máscaras de sub-rede de tamanho variável (o RIP 2 já permite).
 - Em redes grandes o tempo de convergência é demasiado elevado (pode ultrapassar 5 minutos).
 - O algoritmo Split Horizon só funciona para routers adjacentes.
 - As trocas de todo o conteúdo das tabelas de routing de 30 em 30 s consomem muita largura de banda.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: RIP

- **RIP - Routing Information Protocol (continuação)**
 - **Exemplo de configuração em routers CISCO**

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.5.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

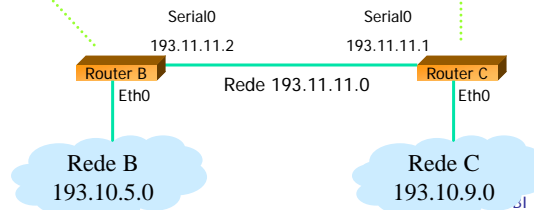
interface serial 0
ip address 193.11.11.2 255.255.255.240
no shutdown
exit

router rip
version 2
network 193.10.5.0
network 193.11.11.0
```

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.9.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

interface serial 0
ip address 193.11.11.1 255.255.255.240
no shutdown
exit

router rip
version 2
network 193.10.9.0
network 193.11.11.0
```





Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: IGRP

■ Encaminhamento interior (continuação)

■ IGRP - Interior Gateway Routing Protocol

- Protocolo proprietário da CISCO Systems.
- Pensado para arquitecturas de rede grandes e complexas.
 - Não possui limite máximo de saltos.
- Métrica mais inteligente, com vários factores.
 - Largura de banda, atraso, (carga, fiabilidade, MTU)
- Tempo de convergência reduzido.
- Não usa a técnica de flooding.
- Eliminação total de "loops".
- As trocas de conteúdo das tabelas geram pouca carga na rede (ocorrem de 90 em 90 s).
- Possibilidade de caminhos paralelos e simultâneos (*load balancing*).
- Permite qualidade de serviço (embora não esteja implementado actualmente).



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: IGRP

■ IGRP - Interior Gateway Routing Protocol (continuação)

■ Métrica

$$Métrica = \left[\left(\frac{K1}{B} \right) + (K2 \times D) \right] \times R$$

- **K1, K2:** constantes (pesos) definidas pelo administrador.
- **B:** largura de banda disponível no caminho
- **D:** atraso no caminho (em milisegundos)
- **R:** fiabilidade do caminho
 - O administrador define estes pesos para cálculo da métrica.
 - O router determina a métrica mínima para encaminhamento de um pacote.
- A métrica pode exceder 16 milhões o que confere flexibilidade na descrição do link.
- Além da métrica, cada entrada na tabela possui também:
 - O número de hops.
 - O MTU (*Maximum Transmission Unit*) mínimo do caminho.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: IGRP

■ IGRP - Interior Gateway Routing Protocol (continuação)

■ Exemplo de configuração em routers CISCO

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.5.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

interface serial 0
ip address 193.11.11.2 255.255.255.240
no shutdown
exit

router igrp 13
network 193.10.5.0
network 193.11.11.0
```

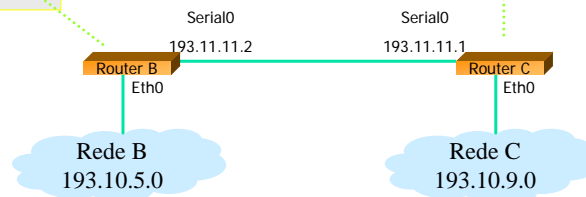
```
interface ethernet 0
ip address 193.10.9.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

interface serial 0
ip address 193.11.11.1 255.255.255.240
no shutdown
exit

router igrp 13
network 193.10.9.0
network 193.11.11.0
```

- **igrp 13** – significa que o router executa o protocolo IGRP e pertence ao sistema autónomo 13.

- De notar que os routers somente trocam dados com routers pertencentes ao seu S. A.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: EIGRP

■ Encaminhamento interior (continuação)

■ EIGRP - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

- Protocolo híbrido "Distance Vector" / "Link State".
- Descoberta automática de routers vizinhos.
 - Utiliza pequenos pacotes "*hello*" para comunicar com os routers adjacentes.
- Utiliza um protocolo de transporte fiável.
- Não envia toda a tabela de encaminhamento.
 - Envia apenas as alterações, poupando largura de banda (de 90 em 90 s).
- Utiliza um novo sistema de decisão, **DUAL - Diffusing Update Algorithm**, para o cálculo das rotas.
 - O DUAL usa a informação de distância para seleccionar eficientemente, caminhos isentos de loops, para escolher as melhores rotas, e também rotas alternativas.
 - A existência de rotas alternativas pré-definidas evita ter que recalculer uma nova rota caso a melhor rota falhe.
- Além do encaminhamento do protocolo IP, também permite IPX e Apple Talk.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: EIGRP

- EIGRP - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
 - Exemplo de configuração I



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: EIGRP

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.5.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

interface serial 0
ip address 193.11.11.2 255.255.255.240
no shutdown
exit

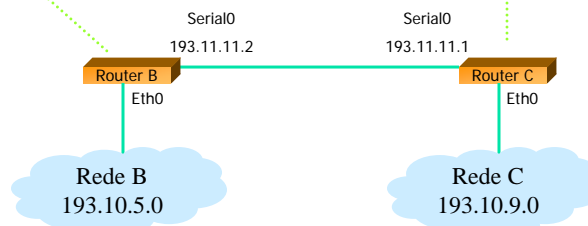
router eigrp 13
network 193.10.5.0
network 193.11.11.0
```

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.9.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

interface serial 0
ip address 193.11.11.1 255.255.255.240
no shutdown
exit

router eigrp 13
network 193.10.9.0
network 193.11.11.0
```

- **eigrp 13** – significa que o router executa o protocolo EIGRP e pertence ao sistema autónomo 13.
- De notar que os routers trocam dados com routers pertencentes ao seu s. autónomo.





Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

■ Encaminhamento interior (continuação)

■ OSPF - Open Shortest Path First

- Desenvolvido pela IETF - *Internet Engineering Task Force* no final dos anos 80.
 - É uma norma aberta (ao contrário do (E)IGRP propriedade da Cisco).
 - É implementado por vários fabricantes de routers.
 - Está descrito no RFC 2328.
 - É do tipo Link-State.
 - Implementado sobre o TCP/IP.
- Exige que o sistema autónomo esteja configurado de acordo com uma determinada hierarquia física, com um backbone e diversas áreas.
 - A comunicação entre áreas deve ser reduzida ao mínimo.
 - O *backbone* é considerado como área 0.
 - O endereçamento IP deve ser feito de forma a maximizar a sumarização.
- A difusão dos LSAs dos routers internos é feita apenas dentro da sua área.



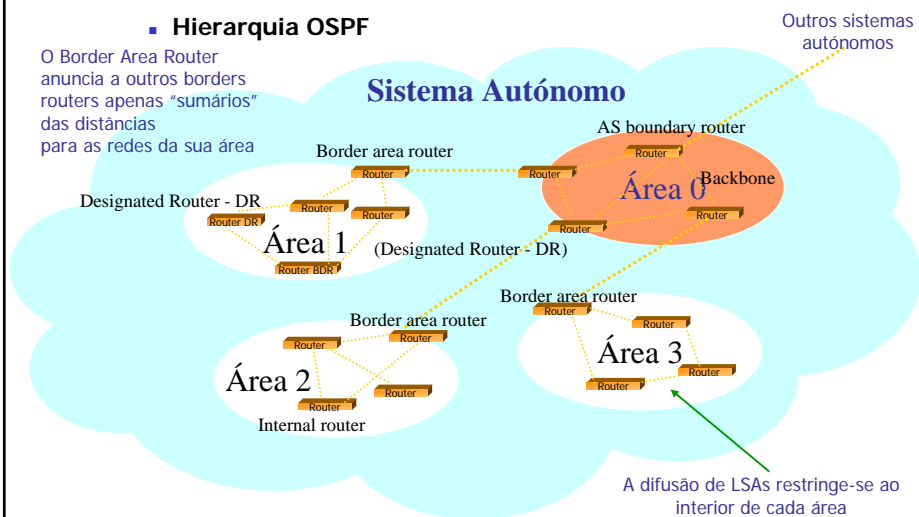
Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

■ OSPF - Open Shortest Path First (continuação)

■ Hierarquia OSPF

O Border Area Router anuncia a outros borders routers apenas "sumários" das distâncias para as redes da sua área





Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

- **OSPF - Open Shortest Path First (continuação)**
 - **Hierarquia OSPF**
 - Os routers são distinguidos pelas funções que desempenham:
 - **Routers internos:** apenas encaminha pacotes dentro de uma área.
 - **Border routers de área:** interliga áreas.
 - **Routers de backbone:** da área de backbone.
 - **AS boundary routers:** routers ligados a um router fora do AS.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

- **OSPF - Open Shortest Path First (continuação)**
 - **Métrica**
 - Custo aplicado nos links.
 - Número positivo de 16-bit (1 a 65535).
 - As decisões de encaminhamento são realizadas com base no custo total do caminho, que é normalmente calculado através da fórmula $10^8 / \text{largura de banda}$.

Ligação série 56 Kbits	1785
T1 (1544 Kbits)	64
E1 (2048 Kbits)	48
Ethernet (10 Mbits)	10
Fast Ethernet (100 Mbits)	1
Gigabit Ethernet (1000 Mbits)	?
10 Gigabit Ethernet (10 Gbits)	?

- Questão: então e qual é a métrica para gigabit e 10 gigabit?

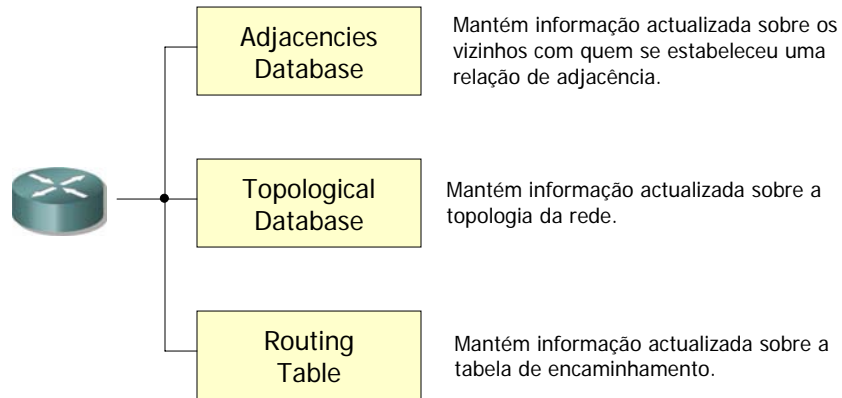


Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

■ OSPF - Open Shortest Path First (continuação)

■ Informação mantida pelos routers



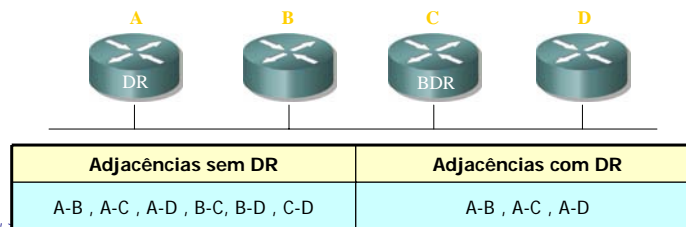
Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

■ OSPF - Open Shortest Path First (continuação)

■ Designated router

- Em ambientes BMA (*Broadcast Multi Access*), e de forma a reduzir a quantidade de adjacências e respectivo tráfego, é eleito um router (DR - *Designated Router*) para servir de ponto focal para as adjacências.
- Por questões de segurança também é eleito um backup (BDR - *Backup Designated Router*) para substituir o DR em caso de falha deste.
- Nos routers Cisco, o DR é o router com o menor "router ID", que é o menor endereço IP de entre as suas interfaces. O administrador pode criar interfaces loopback e atribuir-lhe endereços IP privados baixos (10.x.x.x) para ser ele a determinar qual será o DR e BDR.





Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

- **OSPF - Open Shortest Path First (continuação)**
 - **Exemplo de configuração I – caso simples de uma única área**



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.5.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

interface serial 0
ip address 193.11.11.2 255.255.255.0
no shutdown
exit

router ospf 50
network 193.10.5.0 0.0.0.255 area 0
```

```
interface ethernet 0
ip address 193.10.9.254 255.255.255.0
no shutdown
exit

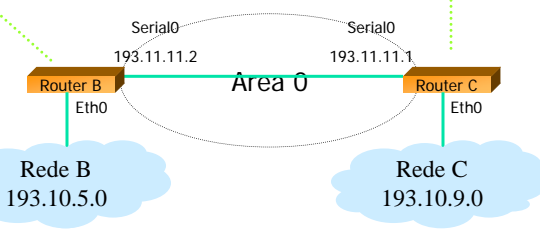
interface serial 0
ip address 193.11.11.1 255.255.255.0
no shutdown
exit

router ospf 35
network 193.10.9.0 0.0.0.255 area 0
```

O '50' não é o número da área, é o número do processo OSPF a correr no router. Um router pode correr vários processos OSPF em simultâneo.

Em OSPF, são usadas máscaras 'wildcards-mask', onde o '0' significa que tem que haver coincidência, e o '1' significa que não interessa

O número da área tem que ser o mesmo em todos os routers que pertençam à mesma área





Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: OSPF

- **OSPF - Open Shortest Path First (continuação)**
 - **Exemplo de configuração II**

```
interface loopback 0
ip address 10.0.0.1 255.255.255.255

interface serial 0
ip address 193.11.11.2 255.255.255.0
no shutdown
bandwidth 128
exit

interface serial 1
ip address 193.99.99.1 255.255.255.0
no shutdown
ospf cost 25
exit
```

Router X

Define uma interface loopback com um endereço baixo, para tornar este router o designated router.

Define, para efeitos de métrica, que a interface funciona a uma taxa de transmissão de 128 Kbps.

Passa por cima do cálculo automático do custo, e define manualmente o custo da ligação.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior: IS-IS

- **Encaminhamento interior (continuação)**
 - **IS-IS - Intermediate System to Intermediate System**
 - Originado no âmbito das redes OSI.
 - Na notação OSI existem:
 - *End System*: Ex. Computador
 - *Intermediate System*: Router
 - Muito parecido com o OSPF. Também particiona o domínio.
 - Utilizado na rede DEC-NET fase V, da Digital.
 - Também pode operar em redes TCP/IP.
 - Métricas:
 - Por defeito (suportada por todos os routers)
 - Atraso
 - Custo monetário do link
 - Probabilidade de erros
 - Usa também o algoritmo de Dijkstra.



Encaminhamento IP

Protocolos de encaminhamento interior

■ Encaminhamento interior (continuação)

■ Resumo dos protocolos

Distance-Vector	Link-State
RIP v1 e v2 IGRP e EIGRP	OSPF IS-IS
<ul style="list-style-type: none">■ Envia a tabela de encaminhamento para os vizinhos.■ Envia a informação periodicamente.■ Têm uma visão parcial da rede, através dos vizinhos.■ Susceptíveis à ocorrência de loops.■ Lentos a convergir.■ Consomem muita largura de banda.■ Exigem pouca memória e poder de processamento.■ Fáceis de configurar.	<ul style="list-style-type: none">■ Envia LSAs (topologia) para os vizinhos.■ Envia a informação quando existem eventos.■ Têm uma visão completa da topologia da rede.■ Menos susceptíveis à ocorrência de loops.■ Mais rápidos a convergir.■ Consomem pouca largura de banda.■ Exigem bastante memória e poder de processamento.■ Mais complexos de configurar.