

Redes de Dados II

3º Ano

**Licenciatura em
Engenharia Informática**

acunha@utad.pt

1

Protocolos de encaminhamento

Vetor distância

2



Ex: Conceito de Vector Distância

Router A

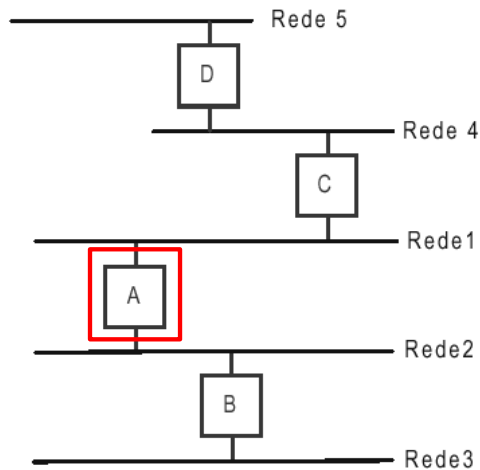
Destino	Distância	Rota
Rede1	0	direta
Rede2	0	direta

Recebe de B: (3,0)

Recebe de C: (4,0)

Router A

Destino	Distância	Rota
Rede1	0	direta
Rede2	0	direta
Rede3	1	B
Rede4	1	C



Redes de Computadores

5

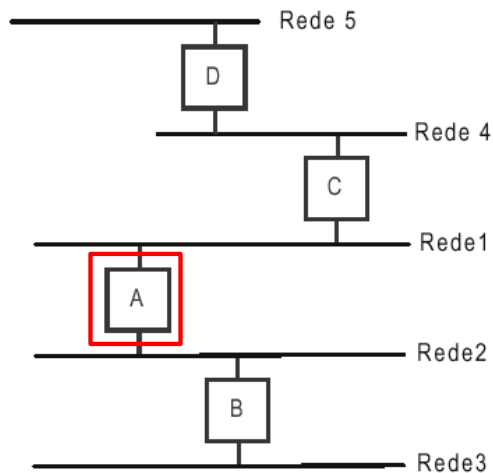


Ex: Conceito de Vector Distância

Recebe de C: (5,)

Router A

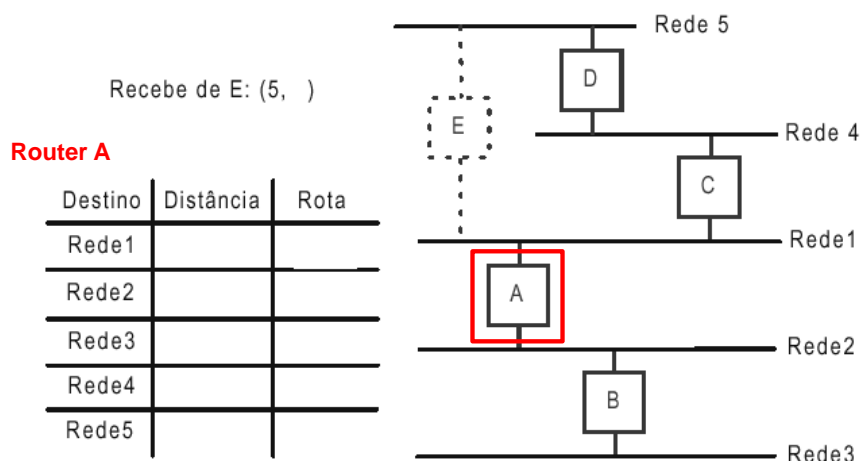
Destino	Distância	Rota
Rede1		
Rede2		
Rede3		
Rede4		
Rede5		



Redes de Computadores

6

Ex: Conceito de Vector Distância



Redes de Computadores

7

Protocolo RIP

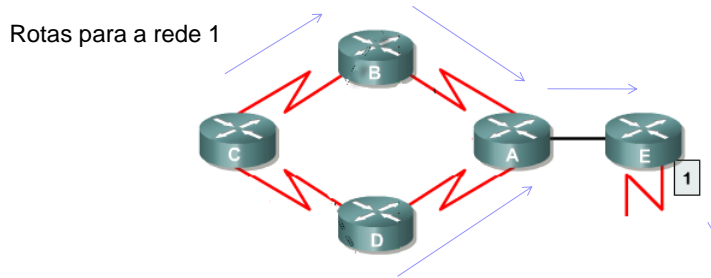
- **Convergência lenta** => Pode criar **inconsistências**
 - Quando uma melhor rota é anunciada todos os routers actualizam a sua tabela
 - Se um router pára de anunciar uma rota é necessário esperar a temporização para que os outros considerem a rota inalcançável
 - Conclusão
 - As boas notícias espalham-se depressa, e
 - As más notícias nem sempre!
 - Esta situação causa **inconsistências**

Redes de Computadores

8

Protocolo RIP - **PROBLEMA**

- 1 Antes da rede 1 falhar, todas as redes estavam estáveis (tinham convergido).

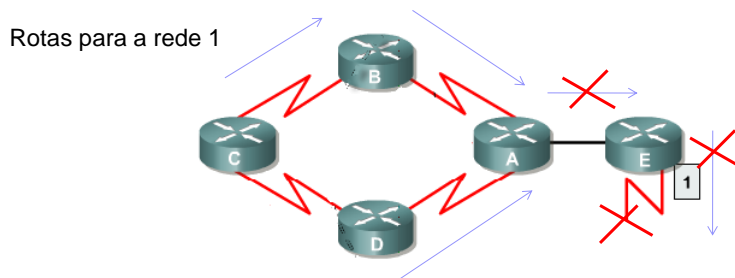


Redes de Computadores

9

Protocolo RIP - **PROBLEMA**

- 2 Quando a rede 1 falha, o router E envia um *update* ao router A.



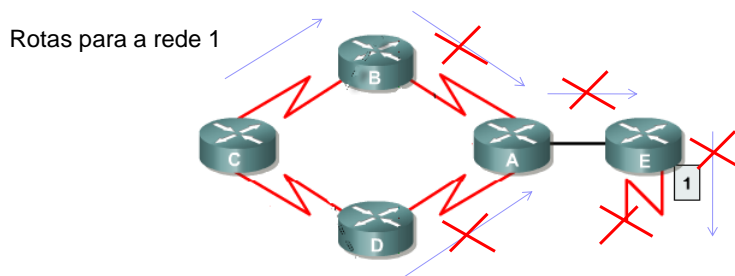
O router A deixa de enviar pacotes para a rede 1 mas os routers B, C e D continuam a enviar uma vez que ainda não foram informados da falha.

Redes de Computadores

10

Protocolo RIP - **PROBLEMA**

- 3** Quando o router A envia a actualização, os router B e D param de enviar pacotes para a rede 1.



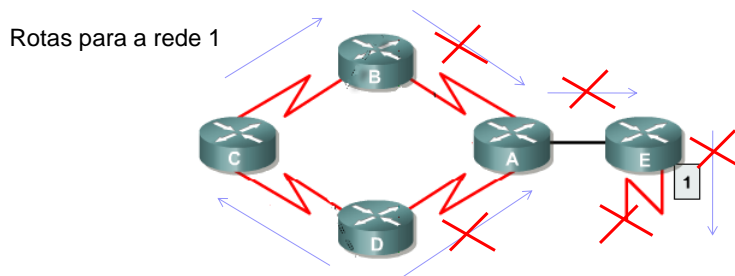
No entanto C não recebeu o *update*.
Para o router C a rede 1 ainda está atingível através de B!

Redes de Computadores

11

Protocolo RIP - **PROBLEMA**

- 4** O router C envia um *update* periódico para D indicando o caminho para a rede1 através de B.



O Router D altera a sua tabela para refletir este novo dado mas **incorrecto**.
(D tinha retirado este caminho aquando do update de A).

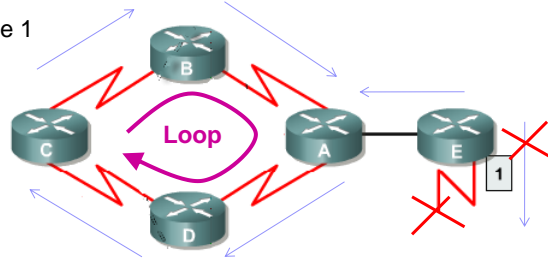
Redes de Computadores

12

Protocolo RIP - PROBLEMA

- 5 Depois o router D propaga esta informação para A que por sua vez propaga para B e E.

Rotas para a rede 1



Como existe um *loop* as distâncias da rede 1 vão ser sempre incrementadas.

Deve existir um nº hops máximo que pare o incremento da distancia até ao infinito - nº hops máximo no RIP é 15.

Quando o pacote excede este número é descartado.

Redes de Computadores

13

Protocolo RIP

- Mecanismos para reduzir o problema da convergência lenta:

- ☐ Split horizon
- ☐ Hold down timers
- ☐ Poison reverse
- ☐ Trigger updates

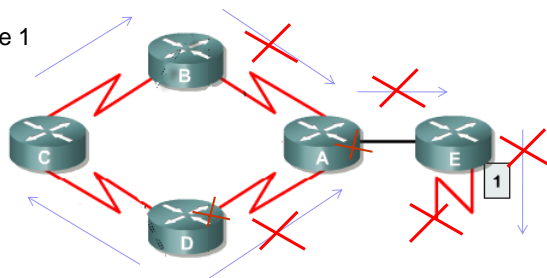
Redes de Computadores

14

Split Horizon

- 4 Não propagar a informação de rota proveniente de uma interface através dessa mesma interface.

Rotas para a rede 1



Assim :

- Router D não pode anunciar rota para rede 1 ao router A
- Router A não pode anunciar rota para rede 1 ao router E

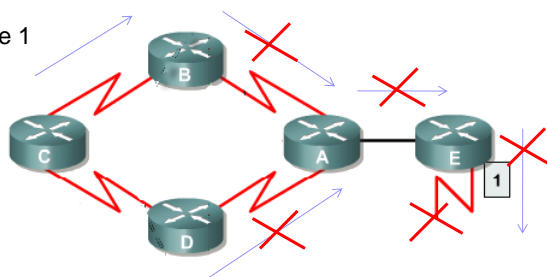
Redes de Computadores

15

Hold down

- 4 Ignorar durante um certo tempo (60 s) informações sobre uma determinada rede, após a detecção de que esta rede está fora de alcance.

Rotas para a rede 1



Assim:

- D ignora durante 60s atualizações sobre rede 1, dando mais tempo ao router C de ser correctamente atualizado.

Redes de Computadores

16



Triggered Updates

Força um router a enviar um broadcast imediato quando recebe uma má notícia.

Não espera pelo próximo período de actualização!

Redes de Computadores

17



Poison reverse

Quando uma conexão desaparece, o router permanece com a entrada correspondente com custo infinito por vários períodos de tempo.

Neste período envia *broadcasts* com custo infinito.

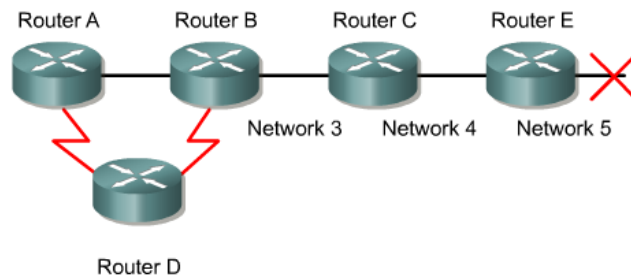
Redes de Computadores

18



Mecanismos para reduzir o problema da convergência lenta

Route Poisoning



When Network 5 goes down, Router E initiates route poisoning by entering a table entry metric of 16 (unreachable).

Redes de Computadores

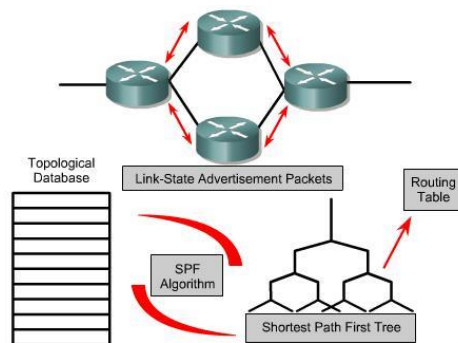
19

Protocolos Links State

20

Link-State: Conceito

Algoritmo Dijkstra's ou Algoritmo shortest path first (SPF).



Routers send LSAs to their neighbors. The LSAs are used to build a topological database. The SPF algorithm is used to calculate the shortest path first tree in which the root is the individual router. A routing table is then created.

- Utiliza
 - ☐ BD topológica
 - ☐ Algoritmo SPF – *Shorter Path First*
 - ☐ Árvore SPF
 - ☐ LSA - A link-state advertisement - pequenos pacotes com informações sobre os links
 - ☐ Requer mais memória + CPU
 - ☐ Manda *updates* quando há alterações

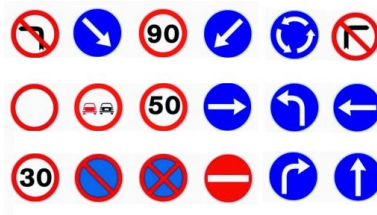
RFC 1583 - Contém a descrição dos conceitos e operações deste algoritmo

Redes de Computadores

21

Analogia

- Roteamento por **vetor de distância**
 - ☐ Funcionam como sinais de estrada que guiam você até seu destino
 - ☐ Apenas com informações sobre distância e direção.
- Roteamento **link-state**
 - ☐ Funcionam como um mapa.
 - ☐ pode consultar todas as rotas possíveis e determinar seu caminho preferido.



Redes de Computadores

22

Estado da Ligação ou SPF (shortest path first) 1/4

■ Funcionamento

- Cada router determina o **custo** associado a cada uma das **suas interfaces**
- Os **routers anunciam** estes custos a todos os routers da topologia,
 - através dos Link-State Advertisements (**LSA**)
- Cada router **monitoriza** o estado dos seus **links**;



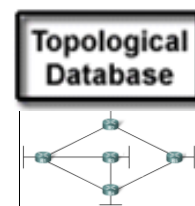
Redes de Computadores

23

Estado da Ligação ou SPF (shortest path first) 2/4

■ Funcionamento

- **Quando existe uma alteração**
 - i.e. alteração do custo do link, novo link, link que desaparece
 - o **router anuncia novamente** o custo dos seus links aos outros routers
- Os algoritmos Link-State **mantêm uma base de dados** topológica da rede
 - e conhecem a forma como os routers remotos se interligam.



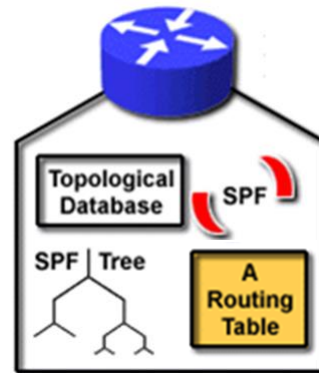
Redes de Computadores

24

Estado da Ligação ou SPF (shortest path first) 3/4

■ Funcionamento

- A partir da **base de dados topológica**
 - elaboram um grafo da rede e calculam o menor caminho para cada uma das redes de destino
 - utilizado por exemplo o algoritmo de Dijkstra;
- O router com esta informação
 - **constrói a sua tabela de routing.**



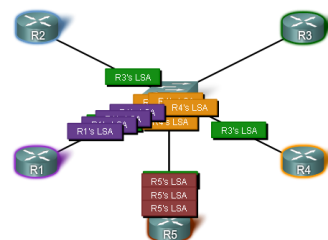
Redes de Computadores

25

Estado da Ligação ou SPF (shortest path first) 4/4

■ Funcionamento

- **Quando uma rede falha**
 - é efetuado o *flooding* por *multicast* de LSAs indicando essa mesma falha
 - cada router utiliza a informação do LSA,
 - atualiza a sua base de dados topológica e
 - faz o forward da LSA para os seus vizinhos.
 - cada router da área
 - irá então proceder de novo ao cálculo da sua tabela de routing.



Redes de Computadores

26

Estado da Ligação ou SPF (shortest path first)

Requisitos:

■ De processamento

- o algoritmo SPF
- proporcional:
 - nº rotas
 - vezes nº routers

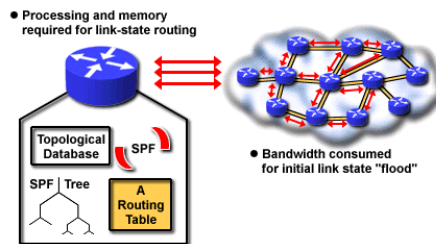
□ e de memória

- as grandes BDs
- o administrador deve tê-lo em conta na escolha dos *routers*

■ De largura de banda

- grande consumo no processo inicial de descoberta: inundação com LSAs
- após este processo: BW mínima
 - pacotes LSA por eventos

Link-State Concerns



Redes de Computadores

27

OSPF Versão 2

■ Protocolo do tipo Link-state

- Definido pela RFC2328 (a mais recente)
- RFCs originais: RFC1331 de 1991

■ Métrica: baseada na largura de banda

■ Algoritmo: Dijkstra

■ Autenticação

- suporta autenticação (opcional)
baseada numa password "plain-text" de 64 bits.

■ IP protocol 89: não usa TCP nem UDP!

■ Atualizações

- Por multicast (AllSPFRouters: 224.0.0.5, AllDRouters: 224.0.0.6)
- Por ocorrência de eventos

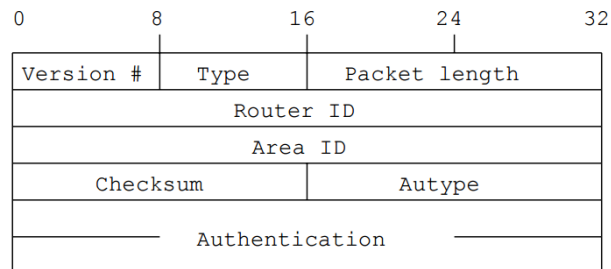
Redes de Computadores

28



OSPF Versão 2

■ Formato das mensagens:



Type	Description
1	Hello
2	Database Description
3	Link State Request
4	Link State Update
5	Link State Acknowledgment

Redes de Computadores

29



OSPF for IPv6 (Versão 3)

- Protocolo do tipo Link-state
 - Definido pela RFC5340
- Métrica:
 - baseada na largura de banda
- Algoritmo
 - Dijkstra
- Autenticação (indirecta)
 - “confia” no processo de autenticação dos pacotes IP.
- IP protocol 89: não usa TCP ou UDP!
- Atualizações
 - Por multicast (AllSPFRouters: FF02::5, AllDRouters: FF02::6)
 - Por ocorrência de eventos

Redes de Computadores

30



OSPF for IPv6 (Versão 3)

■ Formato das mensagens:

0											1											2											3																																				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1																																						
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+																																																																					
										Version #																				Type																				Packet length																			
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+																																																																					
																				Router ID																																																	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+																																																																					
																				Area ID																																																	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+																																																																					
										Checksum																				Instance ID																				0																			
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+																																																																					

Type	Description

1	Hello
2	Database Description
3	Link State Request
4	Link State Update
5	Link State Acknowledgment

Redes de Computadores

31



Características OSPF

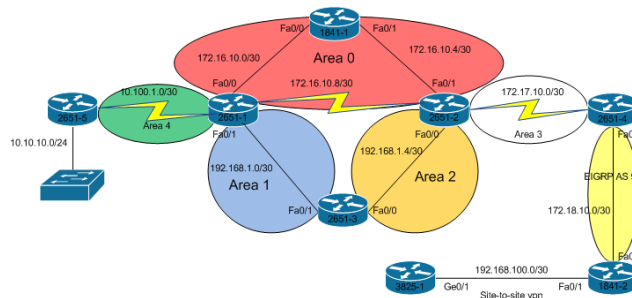
- Não existe limite do número de *hops*
- Utiliza *multicast* para transmitir as atualizações
 - Não interferem com os routers que não estão a correr o OSPF
- As atualizações são enviadas quando ocorrem alterações e não periodicamente
 - utilização mais racional da largura de banda
- Convergência mais rápida (do que o RIP)
 - pois as alterações são propagadas instantaneamente
- Permite o balanceamento de carga mais eficiente
 - comparando com o RIP

Redes de Computadores

32

Características OSPF

- O OSPF permite a definição de redes lógicas, onde os routers são divididos em áreas
 - Evitando que as atualizações se propaguem pela totalidade da rede
 - A definição de áreas permite
 - a agregação de rotas,
 - limitando a propagação desnecessária de informação acerca de sub-redes

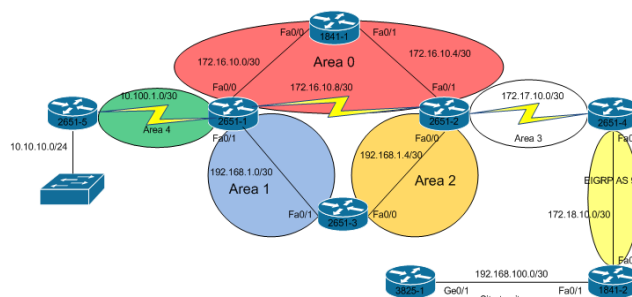


Redes de Computadores

33

Características OSPF

- O OSPF permite
 - a transferência e a marcação de rotas externas injetadas no Sistema Autónomo
 - i.e. permite fazer o seguimento das rotas externas.



Redes de Computadores

34



OSPF

■ Tipo de Pacotes OSPF (LSP - Link State Packets)

Type	Packet Name	Description
1	Hello	Discovers neighbors and builds adjacencies between them
2	Database Description (DBD)	Checks for database synchronization between routers
3	Link-State Request (LSR)	Requests specific link-state records from router to router
4	Link-State Update (LSU)	Sends specifically requested link-state records
5	Link-State Acknowledgement (LSAck)	Acknowledges the other packet types

Redes de Computadores

35



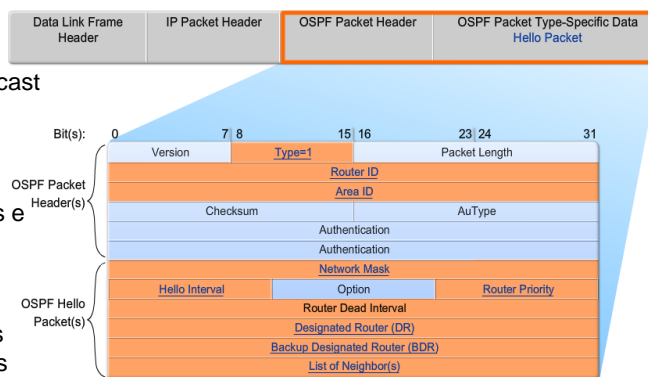
OSPF – Estabelecimento Vizinhos

■ Hello Protocol

- “OSPF Hello Packets” (Multicast – 224.0.0.5)

■ Objetivo:

- Descobrir os routers vizinhos e estabelecer adjacência;
- Anunciar os parâmetros nos quais os routers têm de concordar para se tornarem vizinhos



Formato da mensagem “Hello Protocol”

Redes de Computadores

36

OSPF – Estabelecimento Vizinhos

- OSPF Hello Intervals:

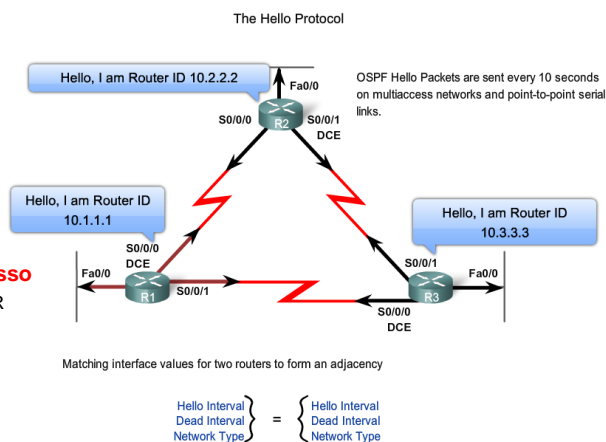
- 30 segundos em NBMA;
- 10 segundos nos outros casos.

- OSPF Dead Intervals

- 4x intervalos de hello

- **Em redes de multi-acesso**

- Eleição do DR e o BDR



NBMA - non-broadcast multi-access
Ex: (Frame Relay, X.25, ATM)

Redes de Computadores

37

Routers vizinhos

- Router torna-se vizinho

- quando o seu endereço aparece nos pacotes de Hello do outro router

- Os routers só se tornam vizinhos se **concordarem** com:

- Area-id
- Autenticação
- Dead Interval
- Hello Interval

- Cada Router tem a sua **tabela de adjacências**

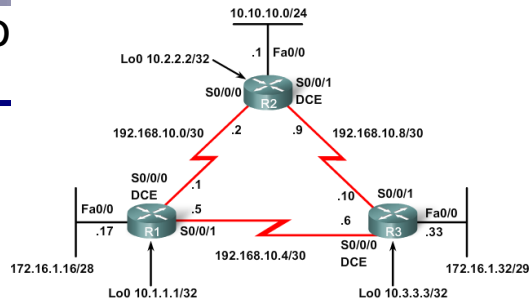
- Que é uma lista de vizinhos com os quais o router já estabeleceu comunicações bidirecionais.

```
R3#show ip ospf neighbor
Neighbor ID  Pri  State   Dead Time  Address    Interface
192.168.0.4    1 Full/DR  00:01:46  116.16.34.4 Serial1/0.1
192.168.0.5    1 Full/BDR 00:01:46  116.16.35.5 Serial2/0.1
R3#
```

Redes de Computadores

38

Verificar vizinho OSPF



R1#show ip ospf neighbor

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
10.3.3.3	1	FULL/	-	192.168.10.6	Serial0/0/1
10.2.2.2	1	FULL/	-	192.168.10.2	Serial0/0/0

R2#show ip ospf neighbor

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
10.3.3.3	1	FULL/	-	192.168.10.10	Serial0/0/1
10.1.1.1	1	FULL/	-	192.168.10.1	Serial0/0/0

R3#show ip ospf neighbor

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
10.2.2.2	1	FULL/	-	192.168.10.9	Serial0/0/1
10.1.1.1	1	FULL/	-	192.168.10.5	Serial0/0/0

39

OSPF: Interface Network Types

```
Router9#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router9(config)#interface FastEthernet0/0
Router9(config-if)#ip ospf network ?
broadcast          Specify OSPF broadcast multi-access network
non-broadcast      Specify OSPF NBMA network
point-to-multipoint Specify OSPF point-to-multipoint network
point-to-point     Specify OSPF point-to-point network
Router9(config-if)#
```

Command to change Network Type

Table 8-3. OSPF default network types for several common media

Media type	Type or layer 2 encapsulation	Default OSPF network
Serial, ISDN, Async, Dialer	HDLC	Point-to-point
	PPP	Point-to-point
	LAPB	Point-to-point
	Frame Relay	Nonbroadcast
	ATM-DXI	Nonbroadcast
	X.25	Nonbroadcast
	SMD5	Nonbroadcast
ATM	N/A	Nonbroadcast
Point-to-point subinterface	Frame Relay, ATM, etc.	Point-to-point
Multipoint subinterface	Frame Relay, ATM, etc.	Nonbroadcast
Ethernet, FastEthernet, GigabitEthernet	N/A	Broadcast
Ethernet VLAN, Subinterface	ISL, dot1Q	Broadcast
Loopback	N/A	Loopback
Tunnel	N/A	Point-to-point

Redes de Computadores

<https://www.oreilly.com/library/view/cisco-ios-cookbook/0596527225/ch08s15.html>

40

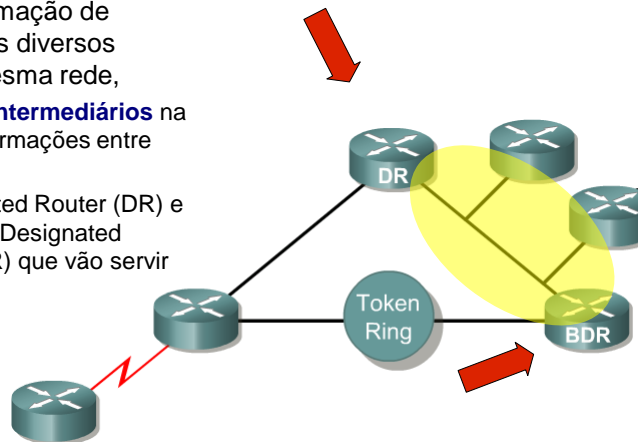


Terminologia

Designated Router & Backup Designated Router

■ Objetivo:

- Para reduzir o número de trocas de informação de routing entre os diversos vizinhos na mesma rede,
 - são eleitos **intermediários** na troca de informações entre routers
 - um Designated Router (DR) e um Backup Designated Router (BDR) que vão servir de.



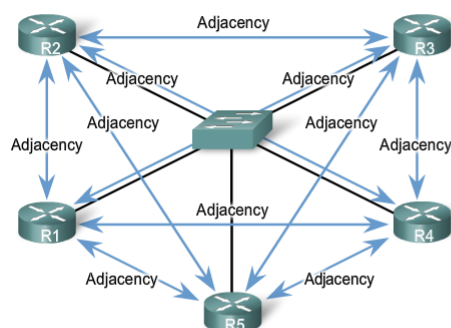
Redes de Computadores

41



OSPF – Problema Redes de Múltiplo acesso

Number of Adjacencies Grows Exponentially



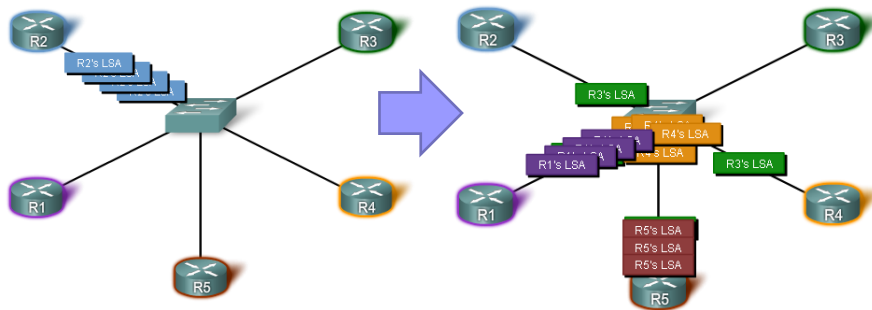
Routers	Adjacencies
n	$\frac{n(n-1)}{2}$
5	10
10	45
20	190
100	4,950

Number of Adjacencies = $\frac{n(n-1)}{2}$
 n = number of routers
Example: 5 routers $(5 - 1)/2 = 10$ adjacencies

Redes de Computadores

42

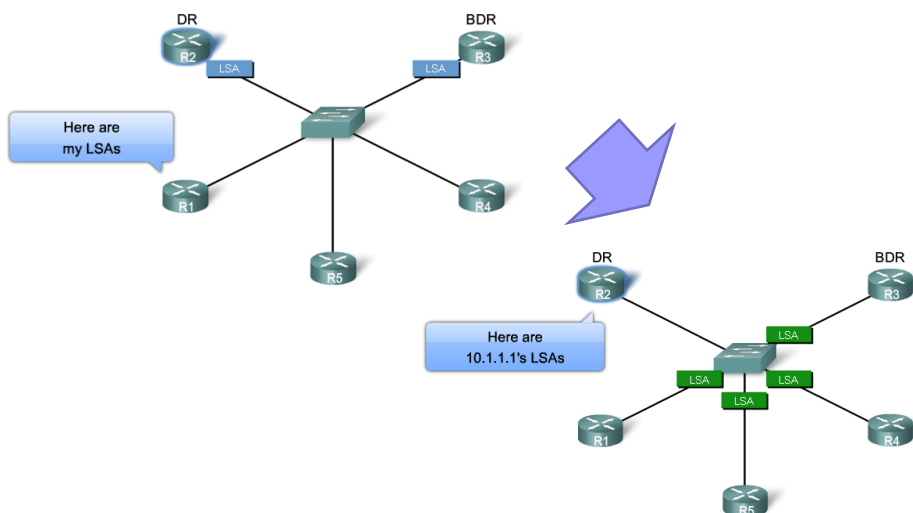
OSPF – Problema Cenário LSA Flooding



Redes de Computadores

43

OSPF – Solução – DR e BDR

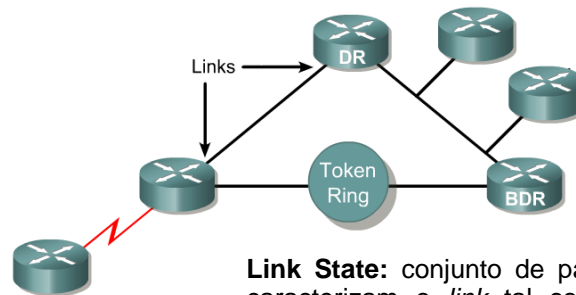


Redes de Computadores

44

Terminologia – Links & Link State

■ Link → Interface do Router



Link State: conjunto de parâmetros que caracterizam o *link* tal como: o estado (ligado desligado), largura de banda, endereço IP,....

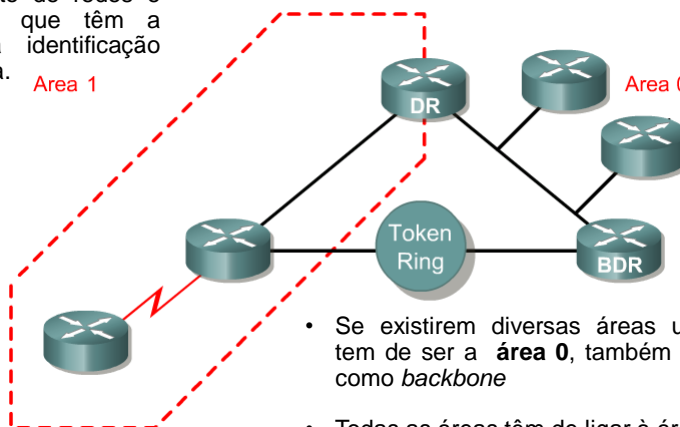
Redes de Computadores

45

Terminologia - Área

Conjunto de redes e routers que têm a mesma identificação de área.

Area 1



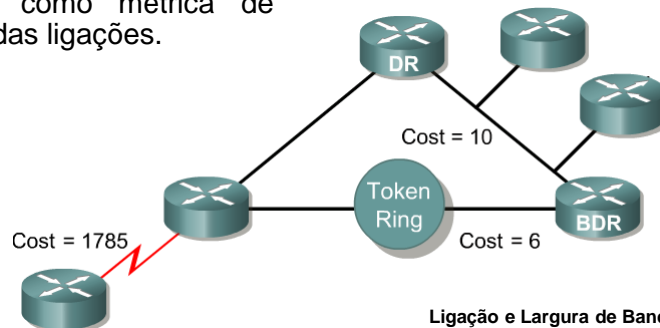
- Se existirem diversas áreas uma delas tem de ser a **área 0**, também conhecida como *backbone*
- Todas as áreas têm de ligar à área 0
- Todos os routers da área têm a mesma informação de *Link State*

Redes de Computadores

46

Terminologia - Custo

O OSPF utiliza a largura de banda como métrica de custo das ligações.



A largura de banda de referência é 100Mbps, no IOS da Cisco pode ser alterado com o comando:

auto-cost reference-bandwidth

Ligação e Largura de Banda - Custo

Linha Série 56kbps.....	1785
T1 (1.544 Mbps).....	64
E1 (2.048Mbps).....	48
4 Mbps(Token Ring).....	25
10Mbps (Ethernet).....	10
16Mbps(Token Ring).....	6
100Mbps(Fast Ethernet).....	1

Redes de Computadores

47

Ver custos num interface

Ver largura de banda assumida (pode ser mal assumida!!)

```
R1#show interface serial 0/0/0
Serial0/0/0 is up, line protocol is up
  Hardware is GT96K Serial
  Description: Link to R2
  Internet address is 192.168.10.1/30
  MTU 1500 bytes, BW 1544 Kbit, DLY 20000 usec,
    reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation HDLC, loopback not set
  ***saída de comando omitida***
```

Ver custo OSPF

```
R1#show ip ospf interface serial 0/0/0
Serial0/0/0 is up, line protocol is up
  Internet Address 192.168.10.1/30, Area 0
  Process ID 1, Router ID 10.1.1.1, Network Type POINT_TO_POINT, Cost: 64
  ***saída de comando omitida***
```

Redes de Computadores

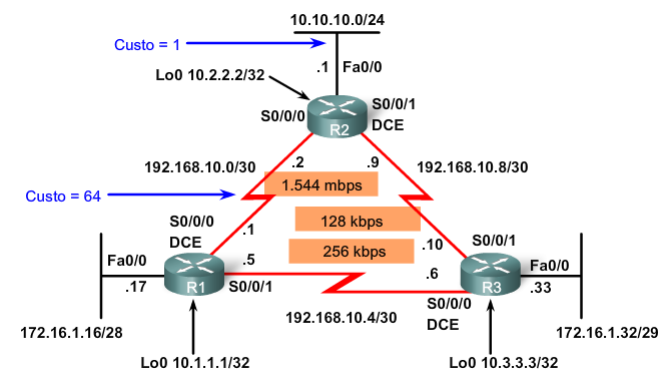
48



Custos OSPF (cisco)

Como calcular?

Tipo de interface	$10^8/\text{bps} = \text{Custo}$
Fast Ethernet e mais rápida	$10^8/100.000.000 \text{ bps} = 1$
Ethernet	$10^8/10.000.000 \text{ bps} = 10$
E1	$10^8/2.048.000 \text{ bps} = 48$
T1	$10^8/1.544.000 \text{ bps} = 64$
128 kbps	$10^8/128.000 \text{ bps} = 781$
64 kbps	$10^8/64.000 \text{ bps} = 1562$
56 kbps	$10^8/56.000 \text{ bps} = 1785$



49



Modificação do custo de um link

Equivalent Commands

bandwidth Commands		ip ospf cost Commands
Router R1 R1(config)#interface serial 0/0/0 R1(config-if)#bandwidth 64	=	Router R1 R1(config)#interface serial 0/0/0 R1(config-if)#ip ospf cost 1562
 R1(config)#interface serial 0/0/1 R1(config-if)#bandwidth 256	=	 R1(config)#interface serial 0/0/1 R1(config-if)#ip ospf cost 390
Router R2 R2(config)#interface serial 0/0/0 R2(config-if)#bandwidth 64	=	Router R2 R2(config)#interface serial 0/0/0 R2(config-if)#ip ospf cost 1562
 R2(config)#interface serial 0/0/1 R2(config-if)#bandwidth 128	=	 R2(config)#interface serial 0/0/1 R2(config-if)#ip ospf cost 781
Router R3 R3(config)#interface serial 0/0/0 R3(config-if)#bandwidth 256	=	Router R3 R3(config)#interface serial 0/0/0 R3(config-if)#ip ospf cost 390
 R3(config)#interface serial 0/0/1 R3(config-if)#bandwidth 128	=	 R3(config)#interface serial 0/0/1 R3(config-if)#ip ospf cost 781

Redes de Computadores

50

Distâncias administrativas por defeito

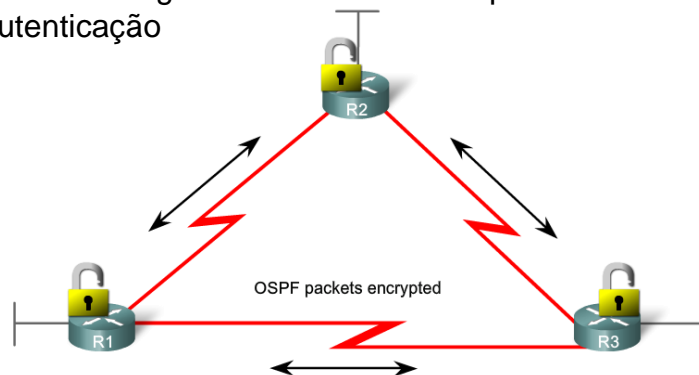
Route Source	Administrative Distance
Connected	0
Static	1
EIGRP summary route	5
External BGP	20
Internal EIGRP	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
External EIGRP	170
Internal BGP	200

Redes de Computadores

51

OSPF - Autenticação

- É uma boa prática utilizar autenticação
 - O router só considerará informação proveniente de routers configurados com a mesma password de autenticação



- Nota: Outros protocolos também suportam: RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS, and BGP

Redes de Computadores

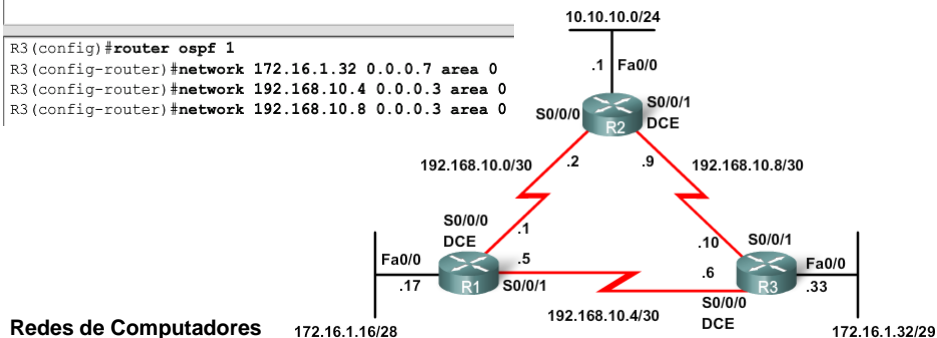
52

OSPF – Configuração

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#network 172.16.1.16 0.0.0.15 area 0
R1(config-router)#network 192.168.10.0 0.0.0.3 area 0
R1(config-router)#network 192.168.10.4 0.0.0.3 area 0
```

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#network 10.10.10.0 0.0.0.255 area 0
R2(config-router)#network 192.168.10.0 0.0.0.3 area 0
R2(config-router)#network 192.168.10.8 0.0.0.3 area 0
```

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#network 172.16.1.32 0.0.0.7 area 0
R3(config-router)#network 192.168.10.4 0.0.0.3 area 0
R3(config-router)#network 192.168.10.8 0.0.0.3 area 0
```



53

OSPF – Router ID

- Critérios para a atribuição do Router ID

1º) Usar o comando **router-id** →

```
switch(config)# router ospf 12
switch(config-router)# router-id 192.0.2.1
switch(config-router)#
```

2º) Se não for usado o comando router ID, o router escolhe o endereço IP mais elevado das suas interfaces de loopback

3º) Se não existirem interfaces de loopback configuradas, então utiliza o endereço IP mais elevado de qualquer outras interface ativa

```
R1#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 192.168.10.5
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa

R2#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 192.168.10.9
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa

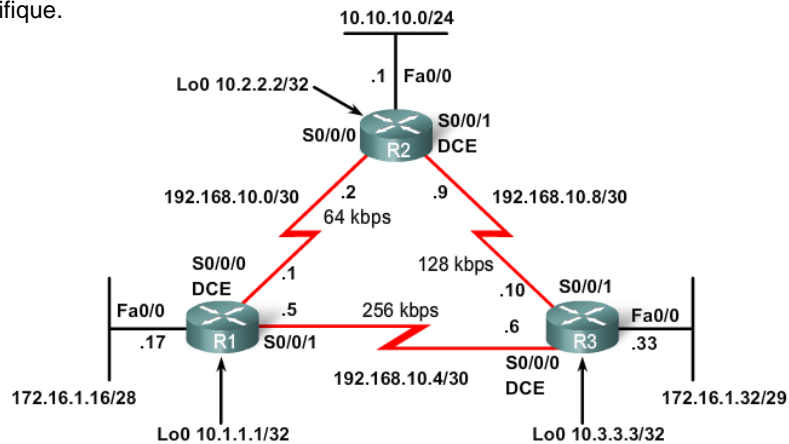
R3#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 192.168.10.10
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
```

Redes de Computadores

54

OSPF – Eleição DR e BDR

Qual será o DR e o BDR desta rede?
Justifique.

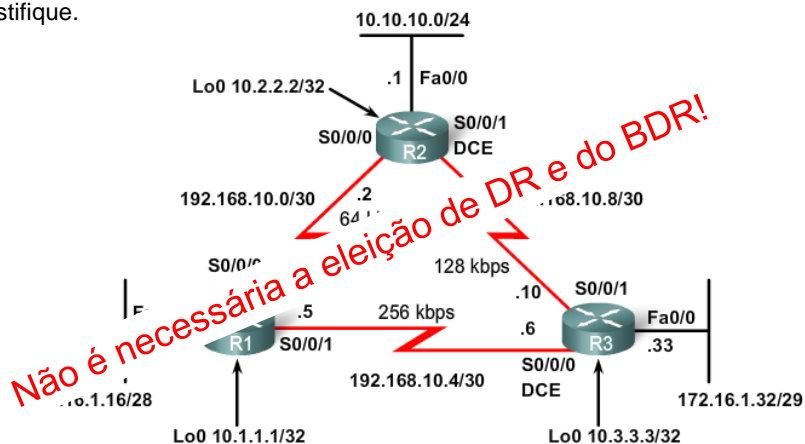


Redes de Computadores

55

OSPF – Eleição DR e BDR

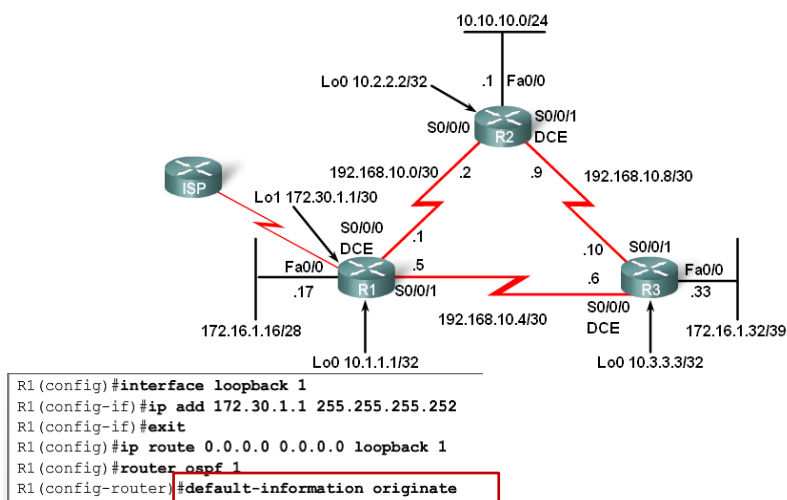
Qual será o DR e o BDR desta rede?
Justifique.



Redes de Computadores

56

OSPF – Propagação rota por defeito



Redes de Computadores

57

OSPF

```
R2#show ip route
Codes:
  D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
  E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

Gateway of last resort is 192.168.10.10 to network 0.0.0.0

192.168.10.0/30 is subnetted, 3 subnets
C    192.168.10.0 is directly connected, Serial0/0/0
O    192.168.10.4 [110/1171] via 192.168.10.10, 00:00:25, Serial0/0/1
C    192.168.10.8 is directly connected, Serial0/0/1
O    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O    172.16.1.32/29 [110/782] via 192.168.10.10, 00:00:25, Serial0/0/1
O    172.16.1.16/28 [110/1172] via 192.168.10.10, 00:00:25, Serial0/0/1
O    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    10.2.2.2/32 is directly connected, Loopback0
C    10.10.10.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O*E2  0.0.0.0/0 [110/1] via 192.168.10.10, 00:00:13, Serial0/0/1
```

Redes de Computadores

58

OSPF

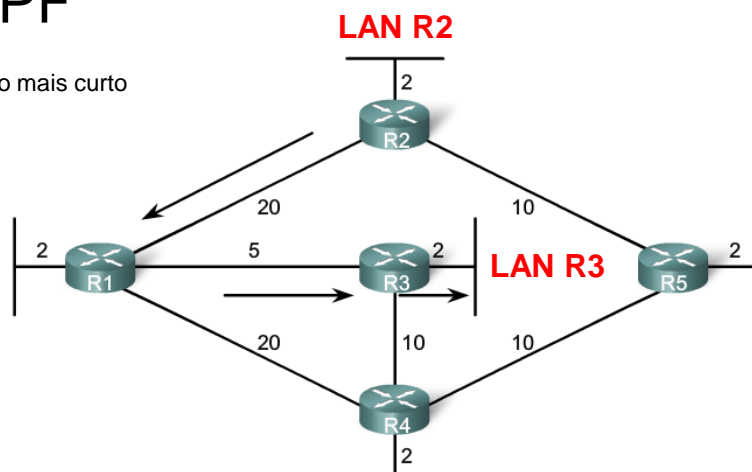
Funcionamento SPF

59

OSPF

Caminho mais curto

Algoritmo de caminho mais curto primeiro de Dijkstra



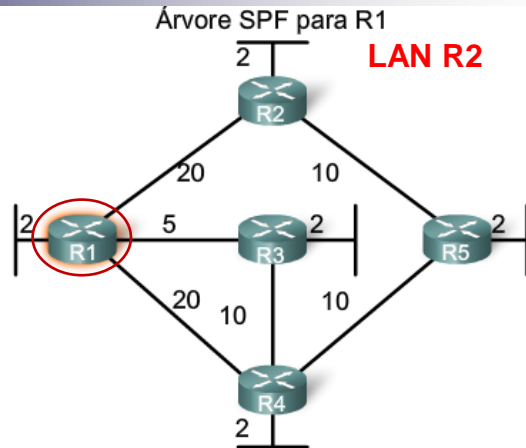
Caminho mais curto para o host na LAN R2 alcançar o host na LAN R3:
 $R2 \text{ para } R1 (20) + R1 \text{ para } R3 (5) + R3 \text{ para LAN } (2) = 27$

Redes de C

60

OSPF

Todos os caminhos mais curtos a começar em R1



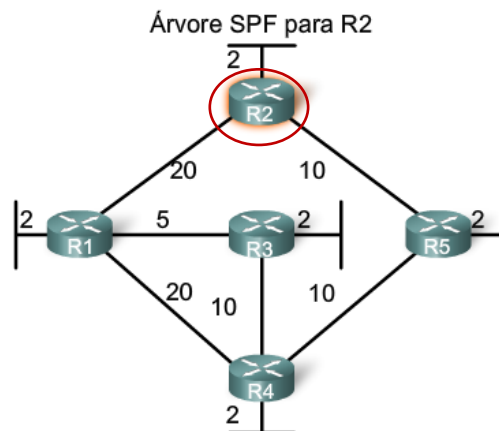
Destino	Caminho mais curto	Custo
LAN R2	R1 para R2	22
LAN R3	R1 para R3	7
LAN R4	R1 para R3 para R4	17
LAN R5	R1 para R3 para R4 para R5	27

Redes de Comput

61

OSPF

Todos os caminhos mais curtos a começar em R1



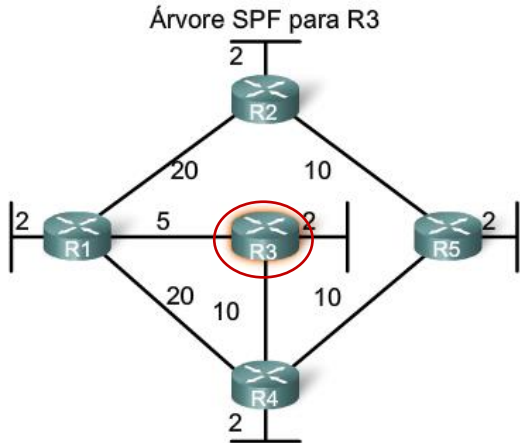
Destino	Caminho mais curto	Custo
LAN R1	R2 para R1	22
LAN R3	R2 para R1 para R3	27
LAN R4	R2 para R5 para R4	22
LAN R5	R2 para R5	12

Redes de Computado

62

OSPF

Todos os caminhos mais curtos a começar em R3



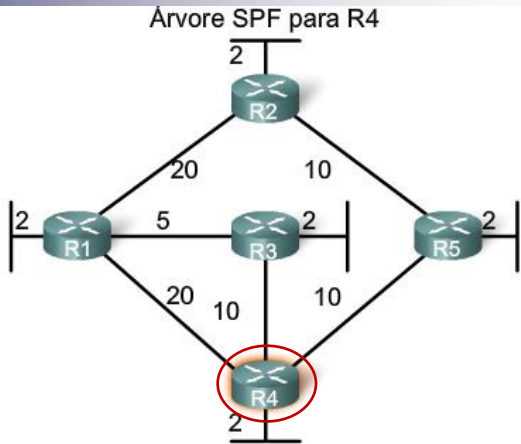
Destino	Caminho mais curto	Custo
LAN R1	R3 para R1	7
LAN R2	R3 para R1 para R2	27
LAN R4	R3 para R4	12
LAN R5	R3 para R4 para R5	22

Redes de Computac

63

OSPF

Todos os caminhos mais curtos a começar em R4



Destino	Caminho mais curto	Custo
LAN R1	R4 para R3 para R1	17
LAN R2	R4 para R5 para R2	22
LAN R3	R4 para R3	12
LAN R5	R4 para R5	12

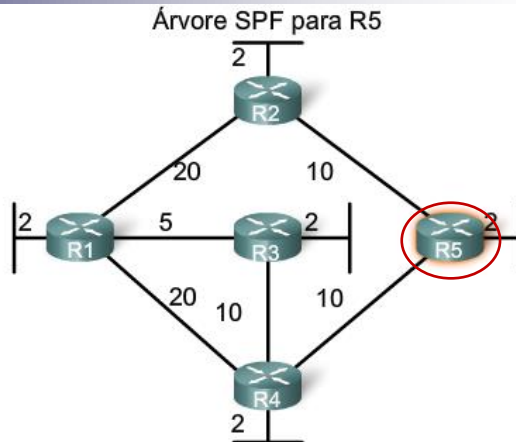
Redes de Computa

64



OSPF

Todos os caminhos mais curtos a começar em R5



Destino	Caminho mais curto	Custo
LAN R1	R5 para R4 para R3 para R1	27
LAN R2	R5 para R2	12
LAN R3	R5 para R4 para R3	22
LAN R4	R5 para R4	12

Redes de Computac

65



Processo de encaminhamento Link-state

Processo de Roteamento Link-State

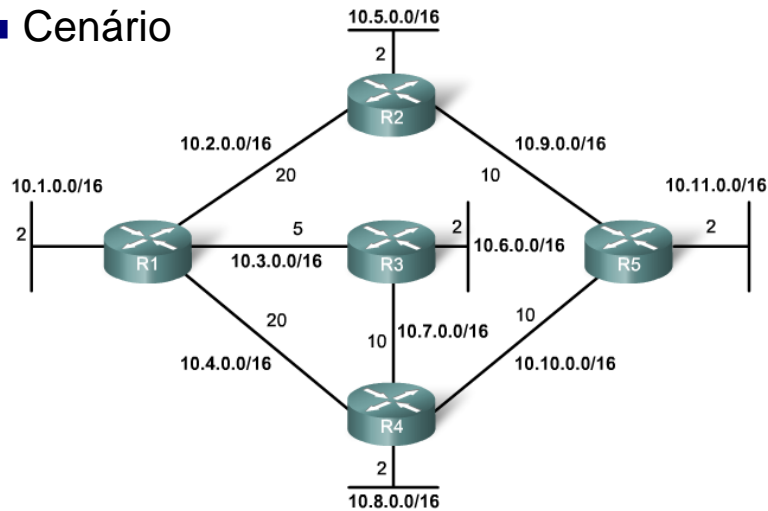
1. Cada roteador obtém informações sobre suas próprias redes diretamente conectadas.

Redes de Computadores

66

Encaminhamento Link-state

■ Cenário

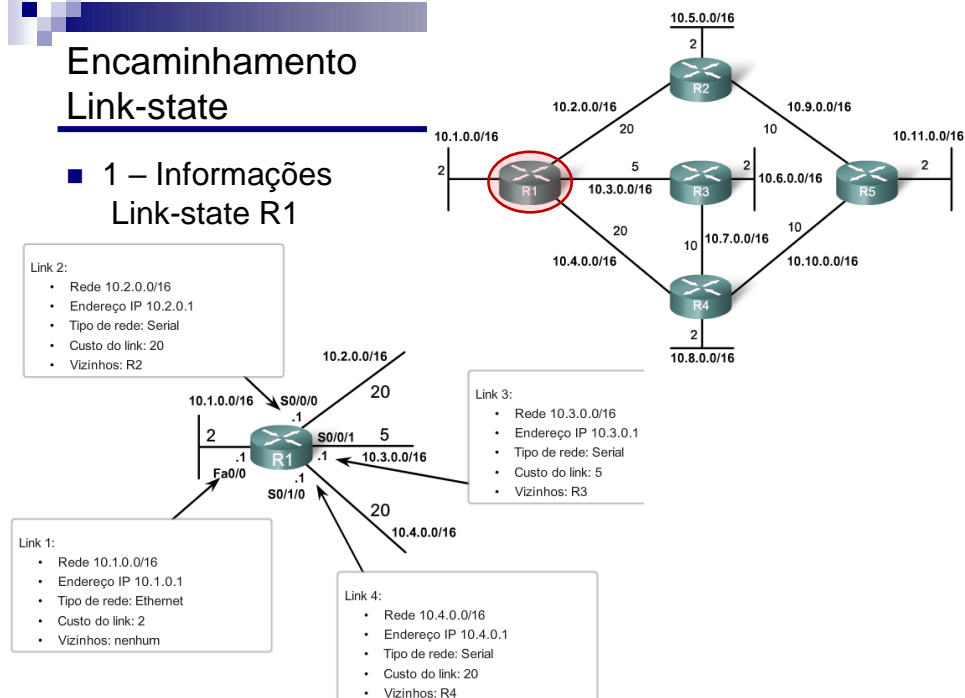


Redes de Computadores

67

Encaminhamento Link-state

■ 1 – Informações Link-state R1

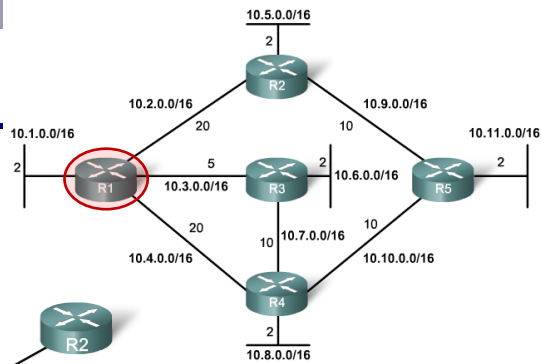
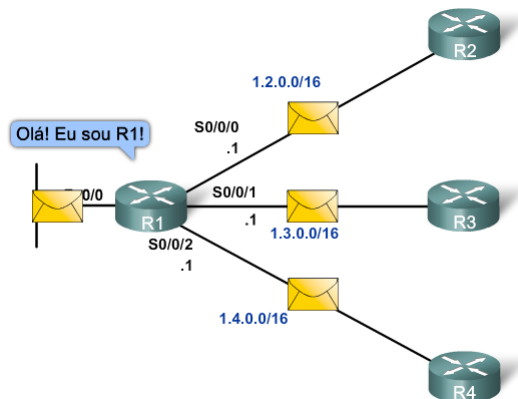


68



Encaminhamento Link-state

- 2 – Descoberta vizinhos - R1 (Pacotes Hello)

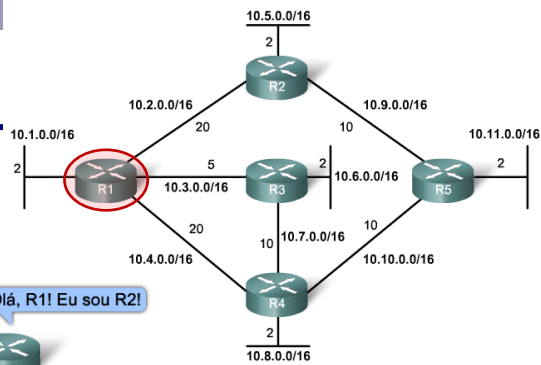
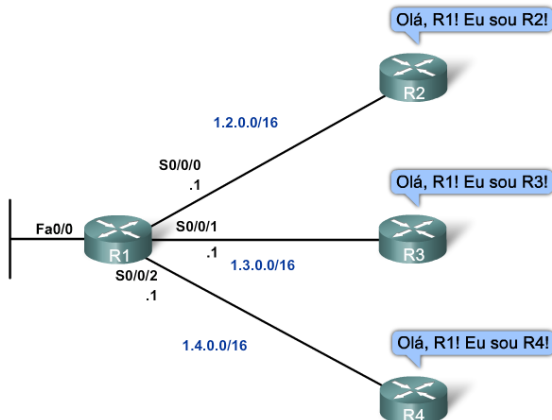


69



Encaminhamento Link-state

- 2 – Descoberta vizinhos Igual para os outros Routers (Pacotes Hello)

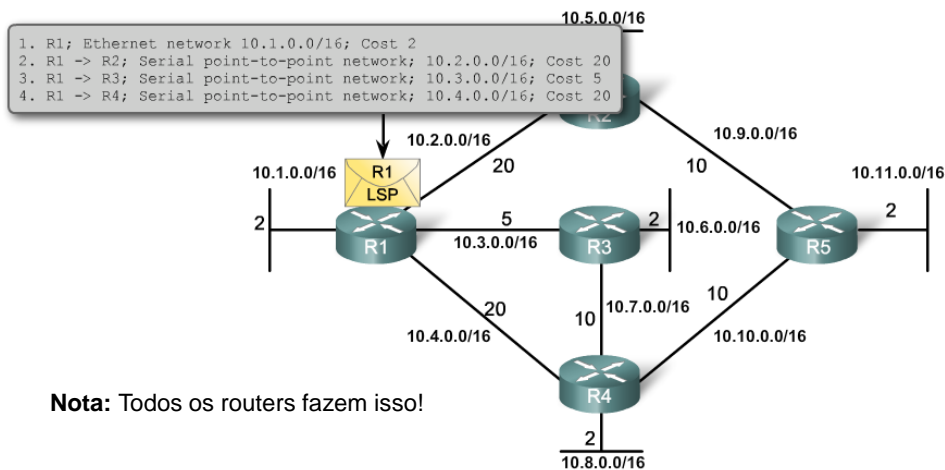


70



Encaminhamento Link-state

- 3 – Cria pacote com informação diretamente ligada
- 4 – Inundação com LSP



Nota: Todos os routers fazem isso!

71



Encaminhamento Link-state

- 5 – Criação da DBs

Banco de Dados Link-State de R1

LSPs de R2:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.5.0.0/16, custo de 2

LSPs de R3:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.6.0.0/16, custo de 2

LSPs de R4:

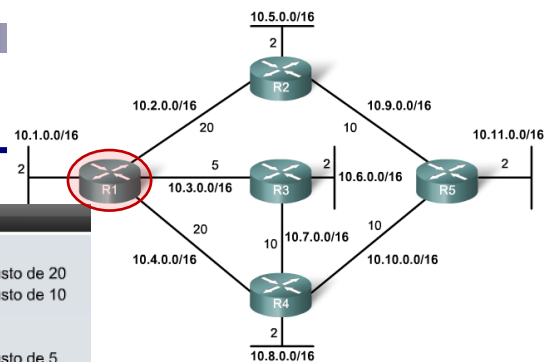
- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.8.0.0/16, custo de 2

LSPs de R5:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.11.0.0/16, custo de 2

Link-states de R1:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.1.0.0/16, custo de 2



Calculo do melhor caminho
para todas as redes

Destino	Caminho mais curto	Custo
LAN R2	R1 -> R2	22
LAN R3	R1 -> R3	7
LAN R4	R1 -> R3 -> R4	17
LAN R5	R1 -> R3 -> R4 -> R5	27

72

Construção da “árvore”

Banco de Dados Link-State de R1

Link-states de R1:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.1.0.0/16, custo de 2

LSPs de R2:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.5.0.0/16, custo de 2

LSPs de R3:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.6.0.0/16, custo de 2

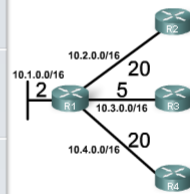
LSPs de R4:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.8.0.0/16, custo de 2

LSPs de R5:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.11.0.0/16, custo de 2

Link-States de R1:



LSPs por R1.

Redes de Computadores

73

Construção da “árvore”

Banco de Dados Link-State de R1

Link-states de R1:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.1.0.0/16, custo de 2

LSPs de R2:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.5.0.0/16, custo de 2

LSPs de R3:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.6.0.0/16, custo de 2

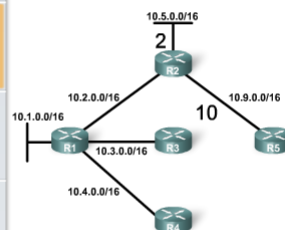
LSPs de R4:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.8.0.0/16, custo de 2

LSPs de R5:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.11.0.0/16, custo de 2

Processando os LSPs de R2



LSPs por R1.

Redes de Computadores

74

Construção da “árvore”

Banco de Dados Link-State de R1

Link-states de R1:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.1.0.0/16, custo de 2

LSPs de R2:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.5.0.0/16, custo de 2

LSPs de R3:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.6.0.0/16, custo de 2

LSPs de R4:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.8.0.0/16, custo de 2

LSPs de R5:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.11.0.0/16, custo de 2

Processando os LSPs de R3



LSPs por R1.

Redes de Computadores

75

Construção da “árvore”

Banco de Dados Link-State de R1

Link-states de R1:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.1.0.0/16, custo de 2

LSPs de R2:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.5.0.0/16, custo de 2

LSPs de R3:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.6.0.0/16, custo de 2

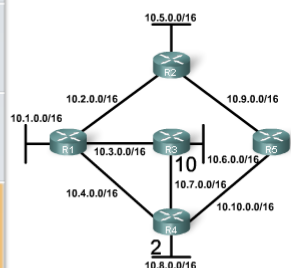
LSPs de R4:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.8.0.0/16, custo de 2

LSPs de R5:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.11.0.0/16, custo de 2

Processando os LSPs de R4



LSPs por R1.

Redes de Computadores

76

Construção da “árvore” – (fim)

Banco de Dados Link-State de R1

Link-states de R1:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.1.0.0/16, custo de 2

LSPs de R2:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.2.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.5.0.0/16, custo de 2

LSPs de R3:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.3.0.0/16, custo de 5
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.6.0.0/16, custo de 2

LSPs de R4:

- Conectado ao vizinho R1 na rede 10.4.0.0/16, custo de 20
- Conectado ao vizinho R3 na rede 10.7.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R5 na rede 10.10.0.0/16, custo de 10
- Tem uma rede 10.8.0.0/16, custo de 2

LSPs de R5:

- Conectado ao vizinho R2 na rede 10.9.0.0/16, custo de 10
- Conectado ao vizinho R4 na rede 10.10.0.0/16, custo de 20
- Tem uma rede 10.11.0.0/16, custo de 2

Processando os LSPs de R5

LSPs por R1.

Redes de Computadores

77

Criação da TE da “árvore” SPF

Informações SPF

- Rede 10.5.0.0/16 via R2 serial 0/0/0 a um custo de 22
- Rede 10.6.0.0/16 via R3 serial 0/0/1 a um custo de 7
- Rede 10.7.0.0/16 via R3 serial 0/0/1 a um custo de 15
- Rede 10.8.0.0/16 via R3 serial 0/0/1 a um custo de 17
- Rede 10.9.0.0/16 via R2 serial 0/0/0 a um custo de 30
- Rede 10.10.0.0/16 via R3 serial 0/0/1 a um custo de 25
- Rede 10.11.0.0/16 via R3 serial 0/0/1 a um custo de 27

↓

Tabela de roteamento R1

Redes diretamente conectadas

- Rede diretamente conectada 10.1.0.0/16
- Rede diretamente conectada 10.2.0.0/16
- Rede diretamente conectada 10.3.0.0/16
- Rede diretamente conectada 10.4.0.0/16

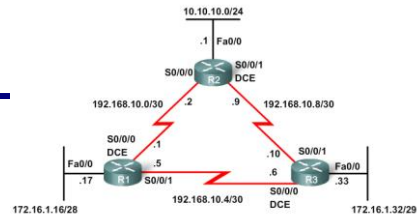
Redes remotas

- 10.5.0.0/16 via R2 serial 0/0/0, custo = 22
- 10.6.0.0/16 via R3 serial 0/0/1, custo = 7
- 10.7.0.0/16 via R3 serial 0/0/1, custo = 15
- 10.8.0.0/16 via R3 serial 0/0/1, custo = 17
- 10.9.0.0/16 via R2 serial 0/0/0, custo = 30
- 10.10.0.0/16 via R3 serial 0/0/1, custo = 25
- 10.11.0.0/16 via R3 serial 0/0/1, custo = 27

78

Config. Interface loopback

Novos IDs routes



```
R1(config)#interface loopback 0
R1(config-if)#ip add 10.1.1.1 255.255.255.255
```

```
R2(config)#interface loopback 0
R2(config-if)#ip add 10.2.2.2 255.255.255.255
```

```
R3(config)#interface loopback 0
R3(config-if)#ip add 10.3.3.3 255.255.255.255
```

```
R1#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 10.1.1.1
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
  ***saída do comando omitida***
```

```
R2#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 10.2.2.2
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
  ***saída do comando omitida***
```

```
R3#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 10.3.3.3
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
  ***saída do comando omitida***
```

79

Verificar OSPF

```
R1#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 10.1.1.1
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
  Maximum path: 4
  Routing for Networks:
    172.16.1.16 0.0.0.15 area 0
    192.168.10.0 0.0.0.3 area 0
    192.168.10.4 0.0.0.3 area 0
  Reference bandwidth unit is 100 mbps
  Routing Information Sources:
    Gateway         Distance      Last Update
    10.2.2.2         110          11:29:29
    10.3.3.3         110          11:29:29
  Distance: (default is 110)
```

Redes de Computadores

80

Verificar OSPF

```
R1#show ip ospf
***saída do comando omitida***
Routing Process "ospf 1" with ID 10.1.1.1
Start time: 00:00:19.540, Time elapsed: 11:31:15.776
Supports only single TOS(TOS0) routes
Supports opaque LSA
Supports Link-local Signaling (LLS)
Supports area transit capability
Router is not originating router-LSAs with maximum metric
Initial SPF schedule delay 5000 msec
Minimum hold time between two consecutive SPF's 10000 msec
Maximum wait time between two consecutive SPF's 10000 msec
Incremental-SPF disabled
Minimum LSA interval 5 secs
Minimum LSA arrival 1000 msec
Area BACKBONE(0)
  Number of interfaces in this area is 3
  Area has no authentication
  SPF algorithm last executed 11:30:31.628 ago
  SPF algorithm executed 5 times
  Area ranges are
***saída do comando omitida***
```

Redes de Computadores

81

Bibliografia

- Curriculum Cisco:
Rede corporativa, segurança e automação v7.02
 - Cap 1 Conceitos OSPF de área única
- Computer Networking with Internet Protocols and Technology, William Stallings
- RFC 1058 - Routing Information Protocol

Redes de Computadores

82