



BELLA

Building the Europe Link to Latin America

Roteamento para Internet: Uma abordagem de dentro da rede para fora

Setembro/2019

Instrutores

Bruno Ramos <brunoramos@pop-ba.rnp.br>

Ibirisol Fontes <ibirisol@pop-ba.rnp.br>

Thiago Bomfim <thiagobomfim@pop-ba.rnp.br>

O Curso

- ✓ Preparar o aluno para projetar e implantar um esquema de roteamento para redes de diversos tamanhos, interligando redes a outras redes, sob administração própria ou de terceiros
- ✓ O programa do curso abrange o protocolo OSPF para roteamento interno e o protocolo BGP para roteamento externo
- ✓ Atividades práticas utilizando emulador de redes, open-source, CORE

Dia 1, manhã - fundamentos

- Introdução
- Resumo TCP/IP e OSI
- Endereçamento IPv4 e IPv6
 - Modelo de Classes
 - CIDR
 - VLSM
- Noções Roteamento
 - IGP x EGP
 - RIB e FIB
 - Roteamento IP na Internet

Dia 1, tarde - OSPF

- Protocolo OSPF
- Conceito de Estado do Enlace (Link State)
- Algoritmo Shortest Path First (SPF)- Dijkstra
- Funcionamento e configuração do protocolo OSPF
- Roteadores de borda e de área
- Área única e Multi-área

Dia 2 - BGP

- Como a Internet funciona
- Sistemas Autônomo
- BGP na Internet
- Protocolo BGP
- Roteamento IP com BGP
- Configuração do BGP
- Um pouco mais de BGP
 - Multihoming
 - Políticas de roteamento
 - Mapas de rotas
 - Route servers
- Pontos de troca de tráfego

OSPF

- ✓ Open Shortest Path First
 - Open por ser um protocolo aberto e interoperável
 - Algoritmo de menor caminho para determinar a melhor rota

- ✓ Protocolo IGP muito utilizado e de rápida convergência (~10ms)
- ✓ Definido na RFC 2328
- ✓ OSPFv2 para IPv4 e OSPFv3 para IPv6 (também chamado OSPF6)
 - OSPF é camada 3, opera diretamente acima do protocolo IP e não usa TCP ou UDP
- ✓ Redes de pequeno a grande porte

OSPF

- ✓ **Open Shortest Path First**
 - ✓ Open por ser um protocolo aberto e interoperável
 - ✓ Algoritmo de menor caminho para determinar a melhor rota
 - ✓ Métrica não é quantidade de saltos, mas sim o custo da interface em cada salto!
- ✓ Calcula o menor caminho e instala rotas automaticamente no roteador

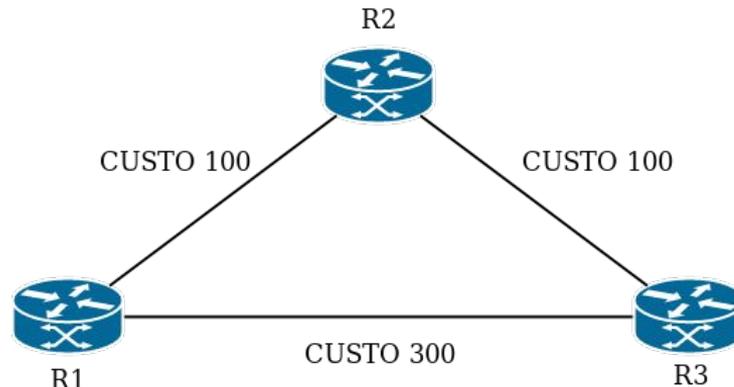


Imagem : Exemplo de área OSPF e custo de enlaces

OSPF - Protocolo de estado de enlace

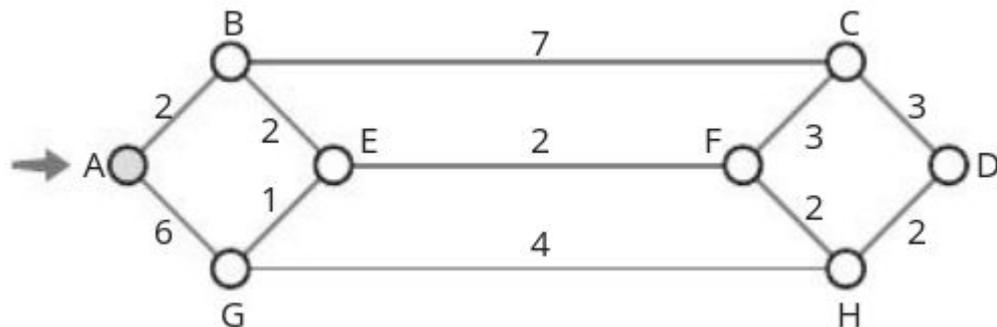
- ✓ Conceito de estado de enlace
 - ✓ **Objetivo:** propagar/receber endereços de rede de roteadores vizinhos
 - ✓ É uma descrição das interfaces do roteador
 - **Enlace:** Interface que liga um roteador com outro
 - **Estado:** Atributos desta interface e de informações sobre roteadores vizinhos
 - IP da interface, mascara de rede, velocidade, área e rede anunciadas, etc
- ✓ Conjunto de informações de estado de enlace servem para cada roteador compor a sua topologia da rede
 - Link State DataBase (LSDB)

OSPF - Topologia da rede

- ✓ A rede converge quando todos os roteadores de uma mesma área sincronizam a LSDB, completamente, entre si
 - ✓ Sincronização via mensagens do tipo LSA
 - ✓ **Link State Advertisement** - Anúncio de Estado de Enlace
- ✓ A medida que os roteadores vão preenchendo sua LSDB, usam o algoritmo SPF para calcular melhor trajetória para cada destino naquele momento
- ✓ Só após o SPF ser executado, são escolhidas as melhores rotas a entrar na tabela de roteamento (FIB) do roteador

OSPF - Algoritmo SPF

- ✓ Suponha uma rede convergida
- ✓ Como chegar do ponto A ao ponto D? Qual o melhor caminho?



- Nó colorido é o nó de 'trabalho'

OSPF - Algoritmo SPF

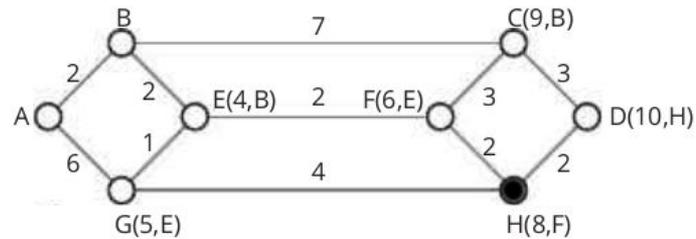
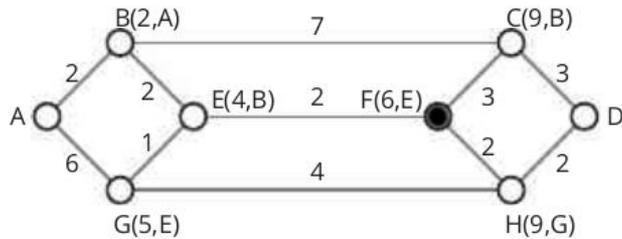
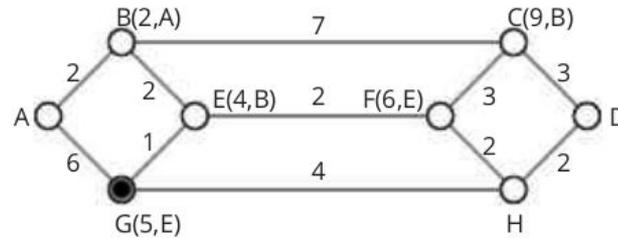
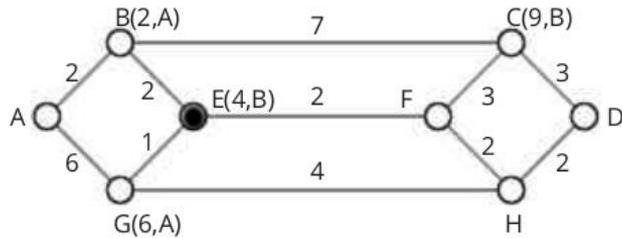
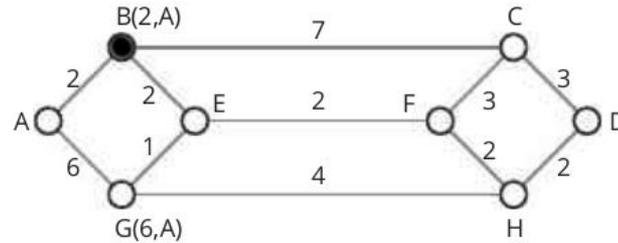
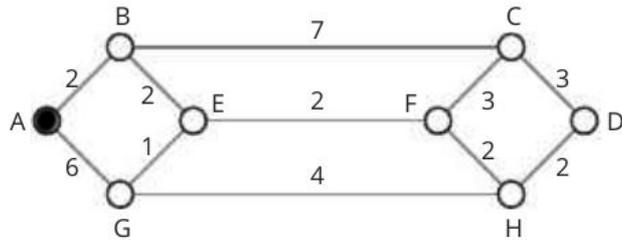


Imagem: Passos do algoritmo SPF. Fonte: ESR (adaptado)

OSPF - Resumo de Convergência

1. Ao se inicializar ou em caso de mudanças na rede, o roteador gera um **anúncio de estado de enlace**
2. Roteadores trocam informações (LSAs) entre si por pacotes Multicast
3. Ao completar o banco de dados de topologia (LSDB), cada roteador calcula o caminho mais curto para os demais (algoritmo SPF)
4. Se nenhuma alteração de topologia ocorrer, nenhuma informação é trocada entre os roteadores; caso contrário, o processo se repete: novas informações serão trocadas e o caminho mais curto será recalculado.

OSPF

Característica	OSPF
Limite de roteadores	Não
Mensagens de controle trocadas por IP multicast	Sim
Tempo de convergência das infos de roteamento	Rápida (depende do tamanho da rede, mas por volta de 10ms)
Decisão de roteamento baseada em múltiplas métricas	Não , apenas custo da interface
Rotas alternativas para o mesmo destino	Sim (rerroteamento automático em falha)
Autenticação das mensagens de controle	Sim (autenticação simples ou MD5)
Comunicação com protocolos externos	Sim (replicação para BGP, EIGRP, etc)

Tabela : Resumo introdutório funcionamento do OSPF

Características Pacote OSPF

- ✓ Pacote é de controle, não altera pacotes de dados dos clientes
- ✓ Contém atributos como:
 - RouterID do roteador OSPF de origem (distinto para cada roteador)
 - ID da área OSPF
 - Autenticação para evitar qualquer roteador entre em uma área
 - Atributo 'Tipo' define pacotes OSPF específicos →

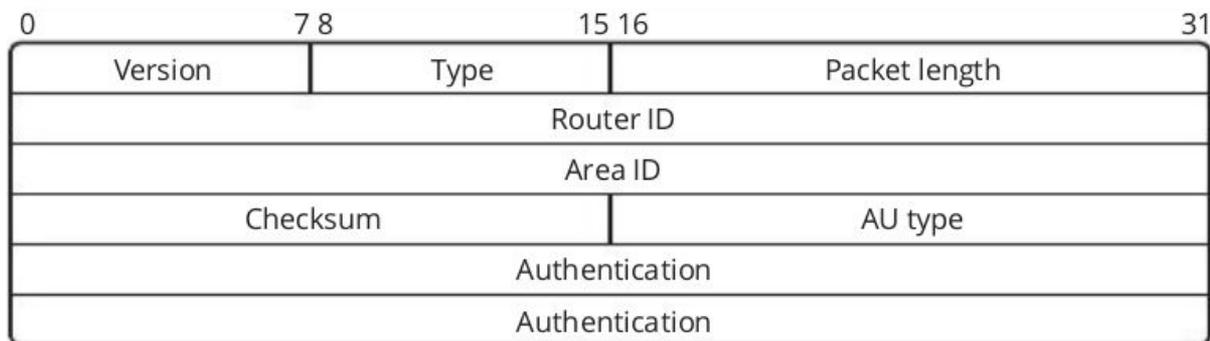


Imagem: Campos do cabeçalho do pacote OSPF Fonte: ESR (adaptado)

Características Pacote OSPF

Nome	Tipo	Função
Hello	1	Descobrir e manter conexão com roteador vizinho
Database description (DD ou DBD)	2	Resumir conteúdo da base de dados do roteador que originou pacote
Link state request (LSR)	3	Requisita que mensagens LSA sejam enviadas para o roteador que envia o LSR.
Link state update (LSU)	4	Contém a lista de LSAs que serão atualizadas no roteador.
Link state acknowledgment (LSAck)	5	Confirmação de recebimento do LSU.

Atributos do pacote Hello

Campos obrigatórios,
senão a vizinhança
não é estabelecida

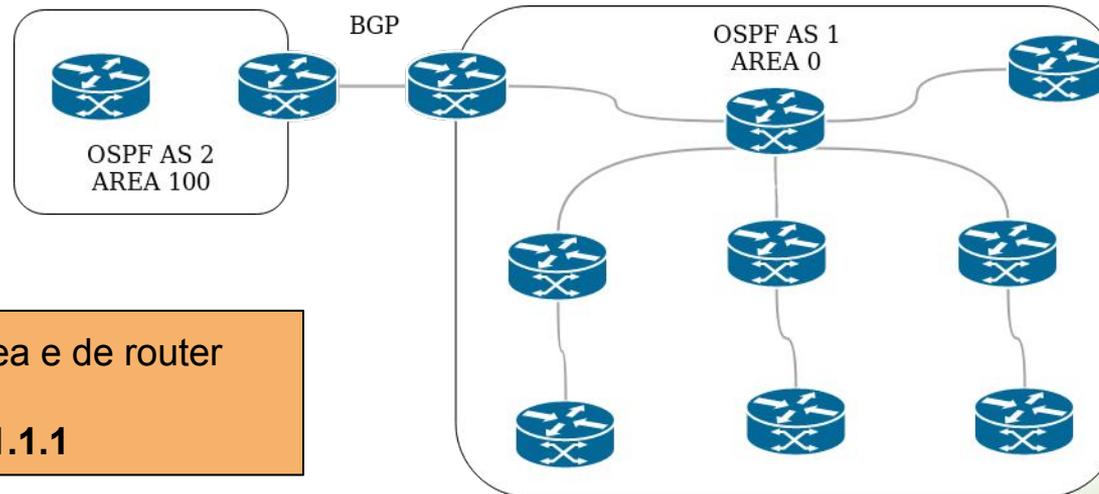
Campo	Devem ser iguais nos dois vizinhos?
RouterID	Não
Intervalos Hello e Dead	Sim
Lista de Vizinhos	Não
Area ID	Sim
Prioridade do roteador	Não
DR IP Address	Não
BDR IP Address	Não
Senha de autenticação	Sim
Flag de Area Stub	Sim

Hierarquia OSPF - Área Única

- ✓ OSPF é um protocolo IGP e roda dentro de um mesmo AS
- ✓ Trabalha com conceito de áreas
 - ✓ Cada área possui um ID e um AS pode ter um ou mais áreas
 - ✓ ID de Área vai de 0.0.0.0 a 255.255.255.255

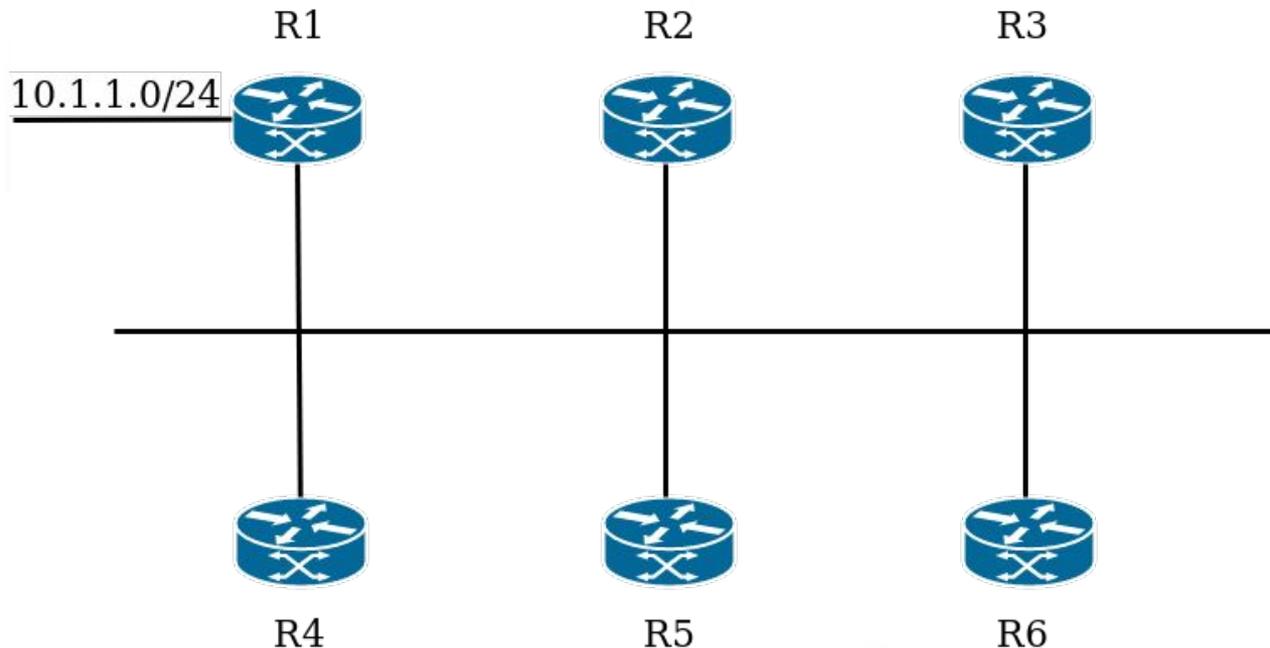
Area ID 100 é o mesmo que 0.0.0.100

Obrigatório definir IDs de área e de router
router ospf ; area 0.0.0.0
router ospf ; router-id 1.1.1.1



Hierarquia OSPF - Área Única

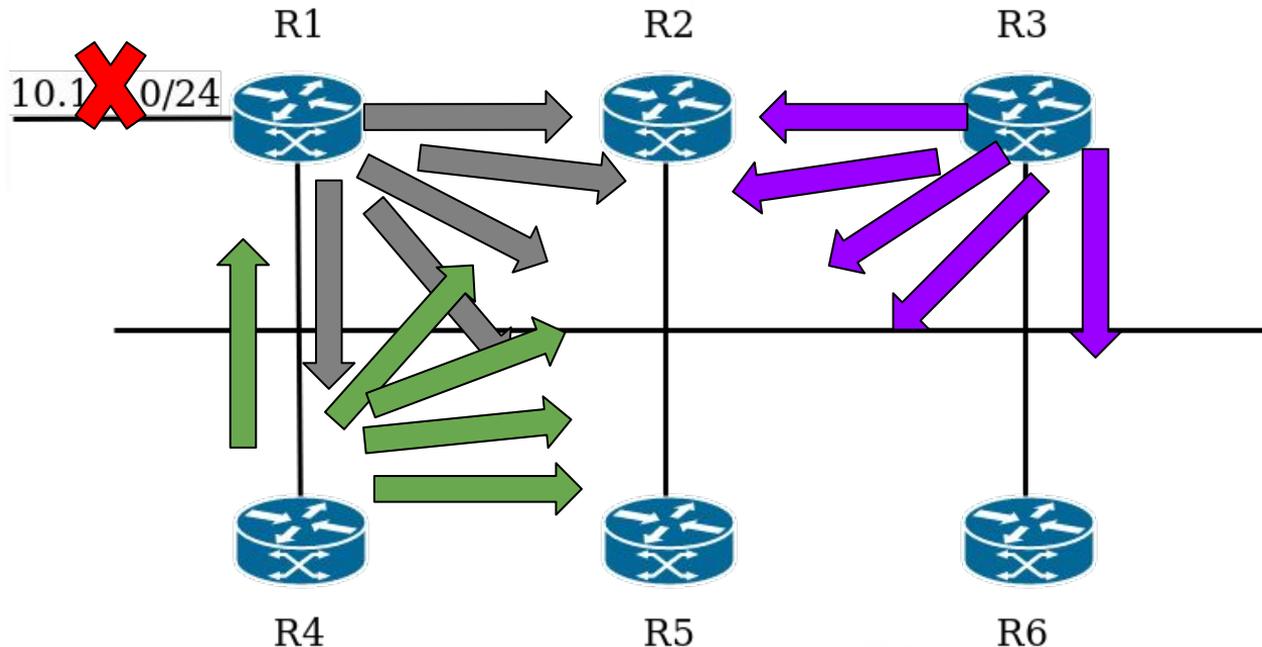
- ✓ Designated Router (DR) e Backup Designated Router (BDR)
- ✓ Objetivo: Redução na quantidade de mensagens de atualização



Ao ocorrer uma mudança na rede, o que aconteceria se não existisse DR?

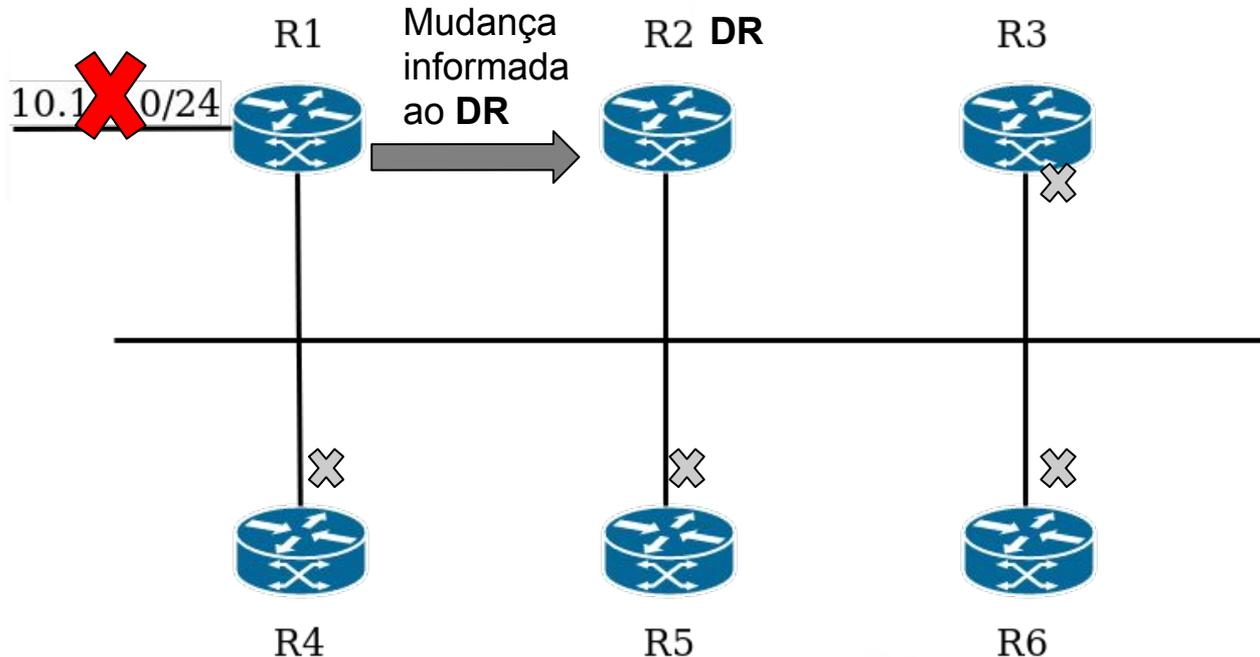
Hierarquia OSPF - Área Única

- ✓ Designated Router (DR) e Backup Designated Router (BDR)
- ✓ Objetivo: Redução na quantidade de mensagens de atualização



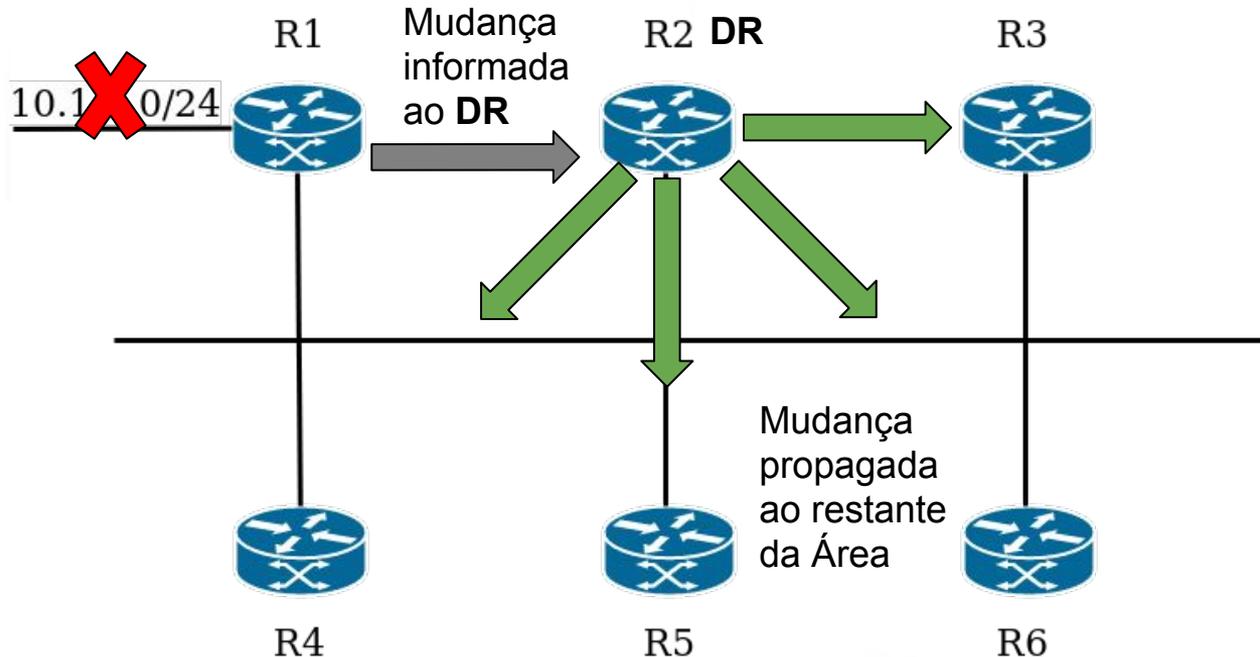
Hierarquia OSPF - Área Única

- ✓ Designated Router (DR) e Backup Designated Router (BDR)
- ✓ Objetivo: Redução na quantidade de mensagens de atualização



Hierarquia OSPF - Área Única

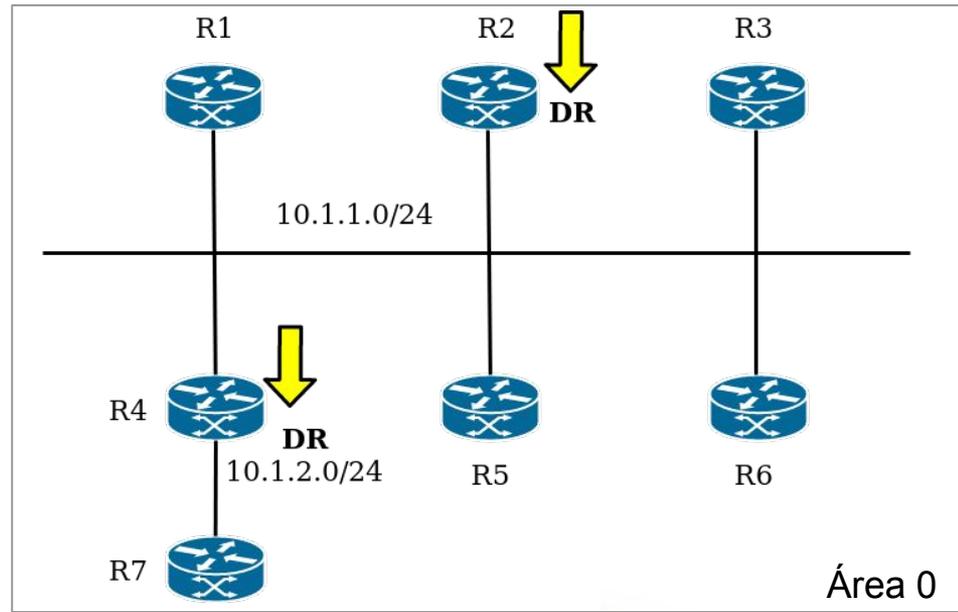
- ✓ Designated Router (DR) e Backup Designated Router (BDR)
- ✓ Objetivo: Redução na quantidade de mensagens de atualização



Com DR
minimiza-se
inundação de
mensagens
de controle
numa Área.

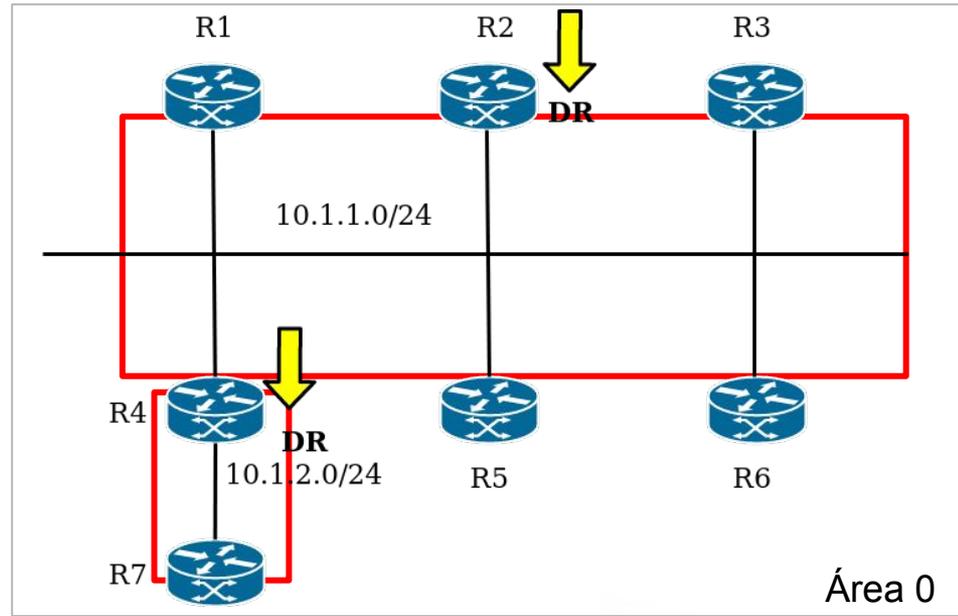
Hierarquia OSPF - Área Única

- ✓ DR e BDR escolhidos em cada segmento (faixa de rede/domínio broadcast)
- ✓ Portanto, podem haver múltiplos DRs e BDRs em uma única Área



Hierarquia OSPF - Área Única

- ✓ DR e BDR escolhidos em cada segmento (faixa de rede/domínio broadcast)
- ✓ Portanto, podem haver múltiplos DRs e BDRs em uma única Área



Eleição de DR e BDR

- ✓ Eleição automática:
 - ✓ 1º Critério: Prioridade definida na Interface
 - Padrão é '1' e '0' significa não virar DR
 - ✓ 2º Critério: maior RouterID
 - Se todos os roteadores tiverem mesma prioridade é eleito o de maior RouterID

- ✓ Backup Designated Router (BDR)
 - Apenas um BDR é eleito para substituir o DR em caso de falha deste
 - Quando o antigo DR volta da falha, ele não toma o lugar do DR atual

```
Alterar prioridade do OSPF numa interface  
# interface X ; ip ospf priority 0-255
```

Eleição de DR e BDR

```
R6#show ip ospf neighbor
```

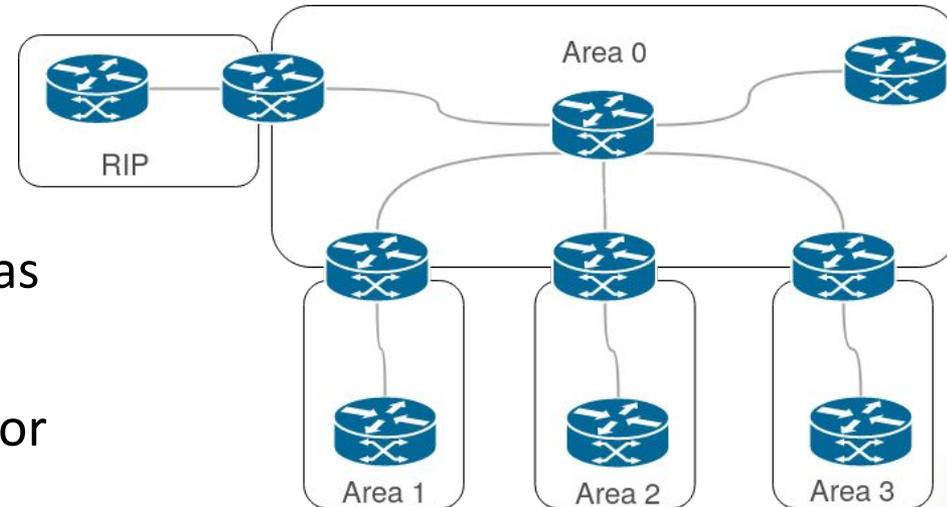
Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
1.1.1.1	45	FULL/DR	00:00:39	192.168.1.1	FastEthernet0/0
2.2.2.2	1	2WAY/DROTHER	00:00:36	192.168.1.2	FastEthernet0/0
3.3.3.3	20	2WAY/DROTHER	00:00:30	192.168.1.3	FastEthernet0/0
4.4.4.4	100	2WAY/DROTHER	00:00:37	192.168.1.4	FastEthernet0/0
5.5.5.5	20	FULL/BDR	00:00:37	192.168.1.5	FastEthernet0/0

Imagem: Possíveis estados de um vizinho OSPF.

Fonte: <https://www.ccnablog.com/ospf-part-iv/>

Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

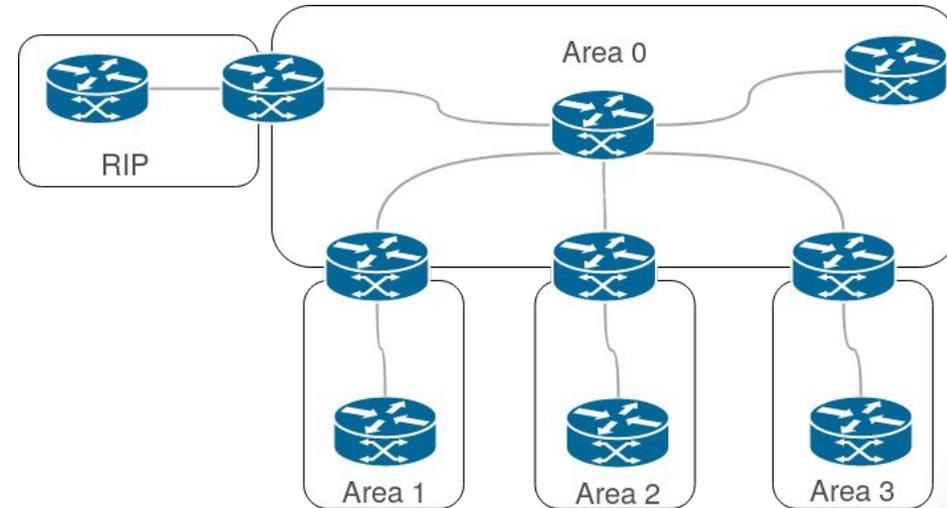
- ✓ Por escalabilidade, área do OSPF pode ser dividida em múltiplas áreas
- ✓ Objetivo: Evitar que tabela de rotas e LSDB cresçam demais
 - Reduzirá LSDB de cada roteador
 - Se IPs distribuídos corretamente: Permite sumarização de rotas entre áreas



Define-se um número máximo em torno de 50 roteadores OSPF numa mesma área

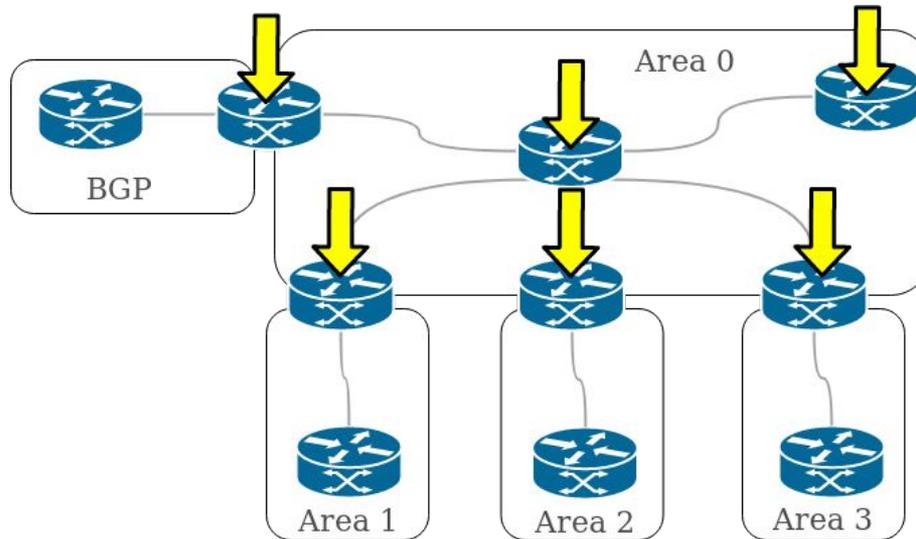
Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

- ✓ Cada roteador tem uma função a depender de sua localização
- Backbone router
 - Area Border Router (ASR)
 - Autonomous System Border Router (ASBR)
 - Internal Router



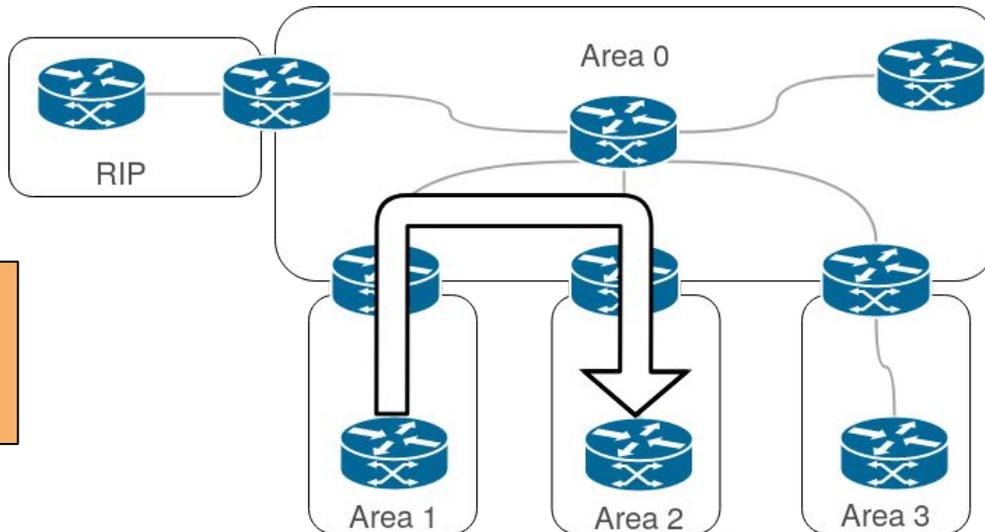
Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

- ✓ Backbone Routers (BRs)
 - Todos os roteadores pertencentes à Area 0 (Área de backbone)
 - Área 0 sempre existe com MA



Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

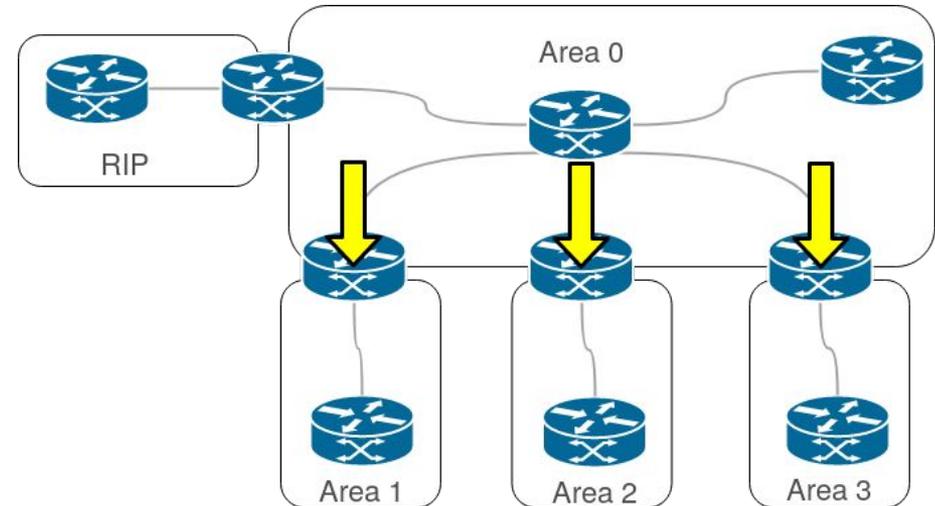
- ✓ Backbone Routers (BRs)
 - ✓ Todos os roteadores pertencentes à Area 0 (Área de backbone)
 - ✓ Área 0 sempre existe com MA
 - Todas as outras áreas para se comunicarem devem passar pela Área 0



Área 0 deve ser sempre a mais 'central' da rede!

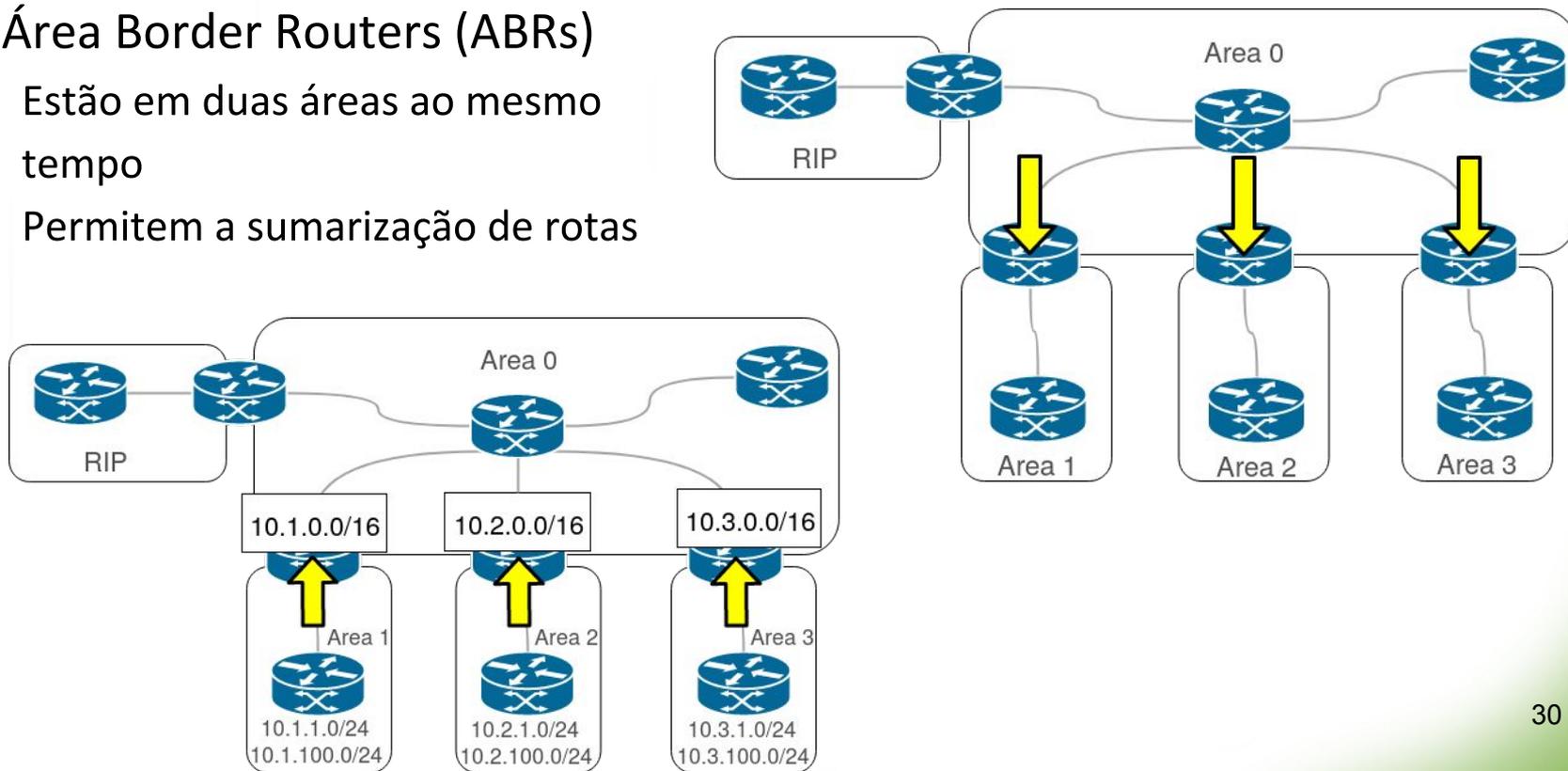
Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

- ✓ Área Border Routers (ABRs)
- ✓ Estão em duas áreas ao mesmo tempo
- ✓ Permitem a sumarização de rotas



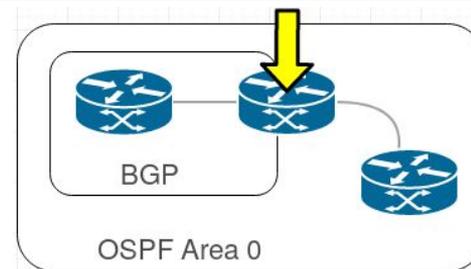
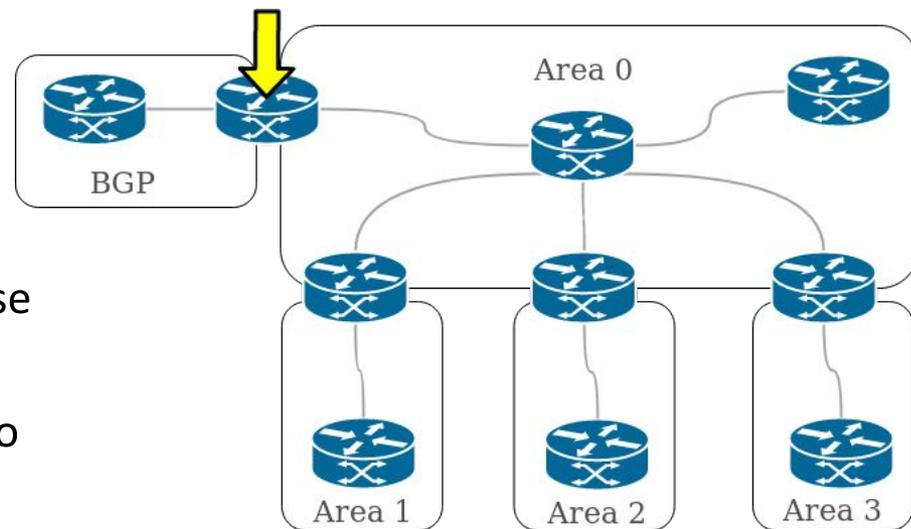
Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

- ✓ Área Border Routers (ABRs)
- ✓ Estão em duas áreas ao mesmo tempo
- ✓ Permitem a sumarização de rotas



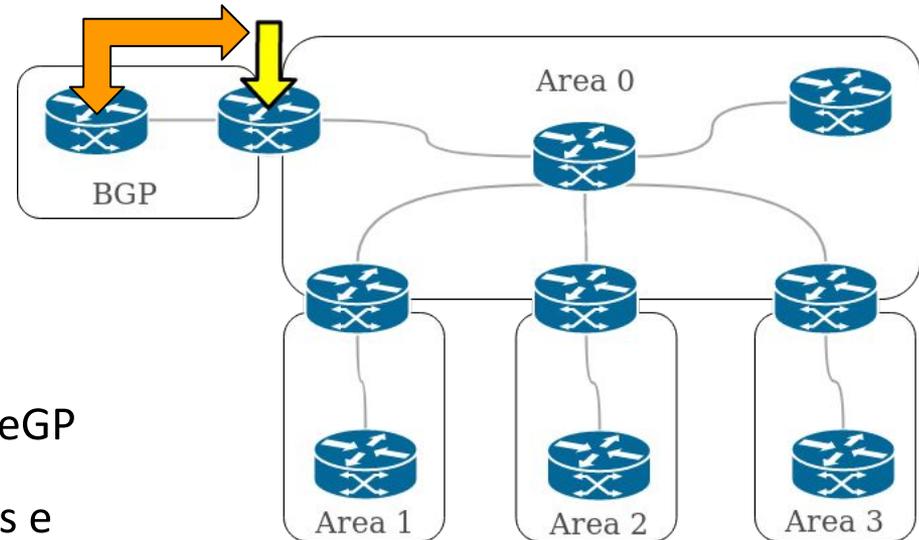
Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

- ✓ Autonomous System Border Router (ASBRs)
 - Está na borda entre dois ASes; ou
 - Mesmo se o roteador BGP estivesse no mesmo AS, o roteador amarelo também seria um ASBR na visão do OSPF
 - Permite replicação de rotas aprendidas via outros protocolos para dentro do OSPF (ex: BGP) e vice-versa



Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

- ✓ Replicação de rotas é importantíssimo para o funcionamento da Internet
 - Importação e exportação de rotas
 - Comunicação entre diferentes protocolos de roteamento iGP ou eGP
 - Também exporta-se rotas estáticas e interfaces diretamente conectadas



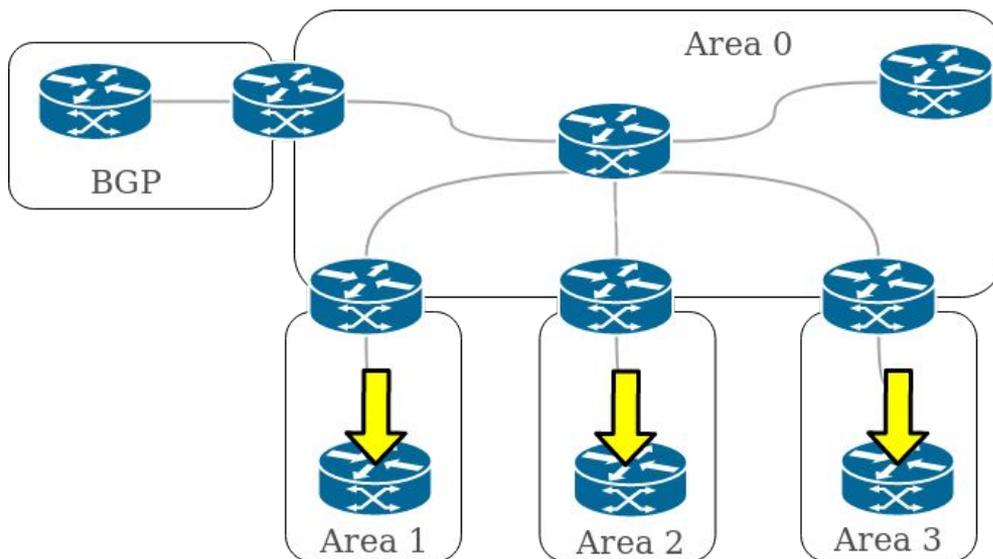
Redistribuições OSPF:

```
# router ospf ; redistribute connected|static|bgp // importar rotas ao OSPF
```

```
# router bgp ; redistribute ospf // importar rotas do OSPF ao BGP
```

Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

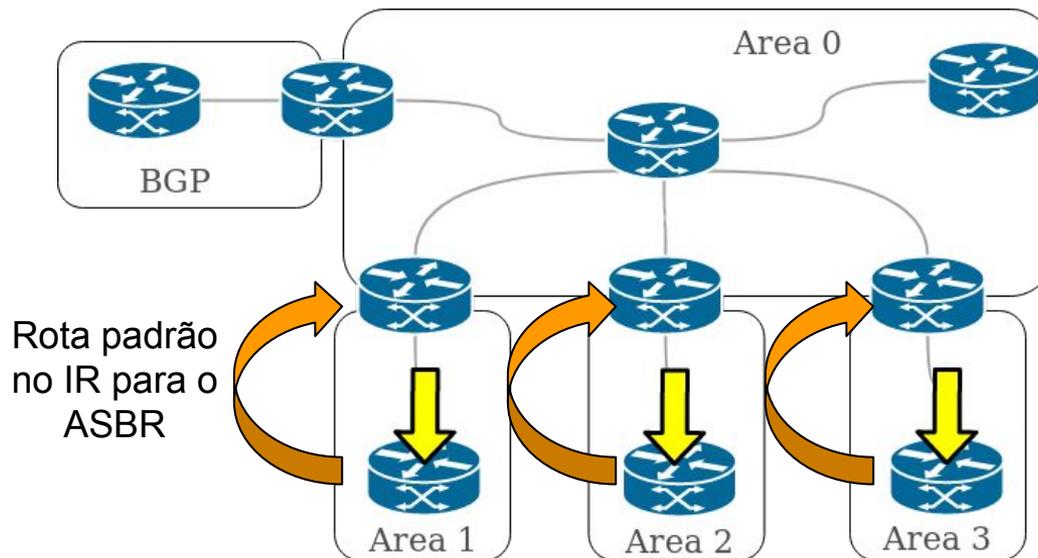
- ✓ Internal Routers (IRs)
 - Roteadores de áreas que não são a de backbone e que não são de borda desta área



Hierarquia OSPF - Múltiplas Áreas (MA)

✓ Área Stub

- Reduzir quantidade de rotas recebidas de outras Áreas
 - Ao invés de conhecer todas as rotas específicas, os Internal Routers recebem uma rota padrão até o ASBR da Área



Stub Area
nao pode:

- Ser Área de trânsito
- Ter ASBR

Stub Area
pára de receber:

- Intra-rotas
- Inter-rotas

Redução na tabela de rotas gera menos utilização de recursos (CPU, banda e memória) e permite economia no momento de investir em equipamentos.

Métrica do OSPF: Custo da interface

- ✓ Relembrando:
 - ✓ Métrica para medir o melhor caminho não é quantidade saltos
 - Custo da interface
- ✓ Cálculo do custo:
 - Velocidade de referência = 100Mbps
 - Interface de 10 Mbps teria custo:
 - 100 Mbps / 10 Mbps = 10
 - 2 saltos por interfaces de 10Mbps teria custo = 20

$$\text{Custo} = \frac{\text{Velocidade de referência}}{\text{Velocidade da interface}}$$

Obs: Necessário alterar o custo padrão nas redes modernas, de 100Mbps para 1/10 ou 100G.
Em uma interface: **# interface X ; ip ospf cost Y**
Geral no roteador: **# router ospf ; auto-cost reference-bandwidth**

Métrica do OSPF: Custo da interface

- ✓ E se para uma rede qualquer o OSPF escolher uma rota (A-B-C) com custo total = 40, mas um destes enlaces estiver com saturação de banda?
- ✓ Por padrão, OSPF não balanceia tráfego por outra rota de maior custo
- ✓ Solução via:
 - Agregação de portas em camada 2
 - Link Aggregation (LAG) utilizando o protocolo LACP
 - Em camada 3 via Equal Cost Multipath (Caminhos múltiplos de mesmo custo)
 - Em caso de existir uma outra para C também com custo 40: (exemplo: A-D-C)
 - » OSPF fará balanceamento round-robin entre as rotas
 - » Garantir que ambos os enlaces possuam atrasos similares para evitar excesso de reordenação de pacotes no destino final

Autenticação

- ✓ Por padrão autenticação nula
 - ✓ Rede vulnerável a informação de rotas falsas
- ✓ Métodos de autenticação:
 - ✓ Autenticação por senha simples
 - Senha compartilhada em texto claro na rede entre roteadores
- ✓ Autenticação por MD5
 - ✓ Método de autenticação criptográfica
 - Maior segurança, pois chave não é trocada entre roteadores e número de sequência adicionado aos pacotes OSPF e evita ataques de repetição (replay)

Exemplo de configuração de autenticação MD5:

```
# router ospf ; area <X> authentication message-digest  
# interface <Y> ; ip ospf message-digest-key <key-id> md5 <password>
```

OSPF para IPv6

- ✓ OSPFv2 funciona apenas com IPv4
 - ✓ OSPFv3 desenvolvido para atender IPv6
- ✓ Mecanismos fundamentais do OSPFv2 permanecem os mesmos
 - ✓ Distribuição de atualizações, eleição de DR, modelo de áreas, SPF, etc
 - ✓ Mudanças principais:
 - Semântica para IPv6
 - Suporta somente autenticação via IPSEC Encapsulating Security Payload (ESP)
 - Processo do OSPF executa sob link ao invés de subrede

Exemplo de comandos modificados:

```
# router ospf6 // acessar o modo de configuração do OSPFv3
# show ipv6 ospf6 neighbor|routes |etc // checar status do OSPFv3
# sh ipv6 route // verificar rotas IPv6 instaladas
```

Duvidas?

¿...?

Vamos ao roteiro de laboratório 2

Referências

- ✓ BEZERRA, Jerônimo; GALIZA, Humberto. **TREINAMENTO EM REDES IP/MPLS MÓDULO 2 – ROTEAMENTO IP COM BGP**, 2013.
- ✓ BARRETO, Luiz; BOMFIM, Thiago. **Administração de Redes e Conectividade ao PoP-BA**, 2012.
- ✓ LOBATO, Luiz. **Protocolos de Roteamento IP**. Rio de Janeiro: RNP/ESR, 2013.
- ✓ BAKER, F. **Requirements for IP version 4 routers**; RFC-1812. Internet Request For Comments, v. 1812, 1995.
- ✓ NETWORK FUN TIMES. **OSPF What is a Stub Area**. <https://www.networkfuntimes.com/ospf-what-is-a-stub-area/>
- ✓ NONGNU. **Quagga OSPF Configuration Examples**. <https://www.nongnu.org/quagga/docs/docs-multi/OSPFv2.html>
- ✓ NETWORK LESSONS. **OSPF LSA Types Explained**. <https://networklessons.com/ospf/ospf-lsa-types-explained>
- ✓ NETWORK WORLD. **My Favorite OSPF Interview Question**.
<https://www.networkworld.com/article/2348778/my-favorite-interview-question.html>
- ✓ MOY, JOHN, **RFC2328 - OSPF version 2**, 1997. URL <https://tools.ietf.org/html/rfc2328>
- ✓ Dennis Ferguson and Acee Lindem and John Moy, **RFC5340 - OSPF for IPv6**, 2008. URL <https://rfc-editor.org/rfc/rfc5340.txt>
- ✓ CISCO. **How Does OSPF Generate Default Routes?** URL <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/13692-21.html>
- ✓ Network Startup Resource Center (NSRC). **BGP Best Current Practices**. 2017. URL <https://nsrc.org/workshops/2017/apricot2017/bgp/bgp/preso/05-BGP-BCP.pdf>