



Instituto Superior de
Tecnologias Avançadas

Licenciatura em Informática
Projeto Global

Protocolo IPv6

Aluno: Luís Alexandre de Lacerda Câmara

Nº 1920

Turma: Pós-Laboral

Ano Letivo 2016/2017

Coordenador: Prof. Dr. Pedro Brandão



Agradecimentos

Dedico este trabalho à minha mãe, Luísa Lacerda e à minha namorada, Joana Mara, pelo Amor, apoio, dedicação e extrema confiança que me deram na execução e conclusão deste projeto final de curso, com o objetivo de evoluir, tanto a nível profissional como a nível pessoal.

Resumo

Este projeto tem como objetivo estudar o protocolo *internet* IPv6. Inicialmente é efetuada uma abordagem teórica do funcionamento do respetivo protocolo, sua evolução, suas vantagens, suas funcionalidades e as diferenças relativamente ao protocolo *internet* IPv4. Será também mencionado neste documento, os seus protocolos associados, como o ICMPv6 – *Internet Control Message Protocol* em IPv6, DHCPv6 – *Dynamic Host Configuration Protocol* em IPv6 e o NDP – *Neighbor Discovery Protocol*.

De seguida é efetuada uma implementação prática, abordando uma perspetiva mais técnica. Será desenvolvido um ambiente de simulação/emulação de uma rede local utilizando o *software* GNS3. Será apresentado um cenário que aborda o protocolo *internet* IPv6, nomeadamente comunicações entre *routers*. Serão demonstradas as diversas formas como são atribuídos endereços de configuração de rede, ou seja, como são distribuídos os endereços IPv6 aos *hosts*. Para efetuar o *routing* será utilizado o protocolo de *routing* dinâmico BGP.

Palavras-chave: IPv6, DHCPv6, ICMPv6, NDP.



Abstract

This project aims to study the internet protocol IPv6. Initially, a theoretical approach is taken on how this protocol works, its evolution, its advantages, its functionality and the differences regarding IPv4 internet protocol. Also mentioned in this document are other associated protocols, such as ICMPv6 - Internet Control Message Protocol on IPv6, DHCPv6 - Dynamic Host Configuration Protocol on IPv6 and NDP - Neighbor Discovery Protocol. Then a practical implementation is carried out, approaching a more technical perspective. A simulation / emulation environment of a local area network will be developed using the GNS3 software. It will be presented a scenario that addresses the Internet protocol IPv6, particularly communications between routers. It will be demonstrated the various ways in which network configuration addresses are assigned, namely, how IPv6 addresses are distributed to hosts. To perform the routing will be used the dynamic routing protocol BGP.

Keywords: IPv6, DHCPv6, ICMPv6, NDP.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xi
Acrónimos.....	xiii
Capítulo 1.....	1
Introdução	1
1.1 Objetivos	1
Capítulo 2.....	3
Estado da Arte.....	3
2.1 Protocolo IPv6.....	3
2.1.1 História e motivação.....	3
2.1.2 Evolução.....	5
2.1.3 Vantagens e funcionalidades.....	6
2.1.4 Endereçamento	6
2.1.5 Formas de Representação.....	7
2.1.6 Distribuição de Endereços.....	9
2.1.7 Prefixos e Subnetting	10
2.1.8 Tipos de Endereços IPv6	11
2.2 ICMPv6.....	13
2.2.1 Neighbor Discovery Protocol (NDP).....	13
2.3 DHCPv6.....	17
2.3.1 DHCPv6 Stateless	17
2.3.2 DHCPv6 Stateful.....	19
Capítulo 3.....	21
Implementação do Ambiente de Simulação.....	21
3.1 Topologia de Rede	21

3.1.1	Equipamentos utilizados	22
3.1.2	Endereçamento lógico da Rede	23
3.2	Configuração do Protocolo IPv6	26
3.2.1	Configuração dos <i>routers</i> em IPv6.....	26
3.2.2	Testes de demonstração do protocolo BGP em IPv6	29
3.2.3	Demonstração do serviço DHCPv6 <i>Stateless</i>	31
3.2.4	Demonstração do serviço DHCPv6 <i>Stateful</i>	34
3.2.5	Demonstração de testes de conectividade em IPv6.....	36
	Conclusão.....	39
	Bibliografia	41
	Anexos.....	43
	Configuração do <i>router</i> RT1-DHCPv6	44
	Configuração do <i>router</i> RT2-DHCPv6	47
	Configuração do <i>router</i> RT3-Stateless.....	50
	Configuração do <i>router</i> RT4-Stateful	53

Índice de Figuras

Figura 1 - Gráfico referente à evolução de adoção de utilizadores ao IPv6 no mundo.....	5
Figura 2 - Gráfico referente à evolução de adoção de utilizadores ao IPv6 em Portugal	5
Figura 3 - Mapa com distribuição das RIR	9
Figura 4 - Demonstração de subnetting em IPv6	11
Figura 5 - Fluxo do Router Solicitation e Router Advertisement	14
Figura 6 - Fluxo do Neighbor Solicitation e Neighbor Advertisement	15
Figura 7 - Fluxo do Redirect	16
Figura 8 - Modelo DHCPv6 Stateless	17
Figura 9 - Norma EUI-64	18
Figura 10 - Imagem global da topologia de Rede completa em IPv6	22
Figura 11 - Imagem parcial da rede 2001:db8:17:a::/64 em IPv6.....	23
Figura 12 - Imagem parcial da rede 2001:db8:17:7::/64 em IPv6.....	24
Figura 13 - Imagem parcial da rede 2001:db8:17:8::/64 em IPv6.....	24
Figura 14 - Imagem das entradas BGP em IPv6	30
Figura 15 - Imagem parcial da informação BGP em IPv6 com os neighbors	30
Figura 16 - Imagem referente ao status das ligações BGP em IPv6	31
Figura 17 - Imagem referente ao endereçamento das interfaces IPv6 do servidor DHCPv6 Stateless.....	32
Figura 18 - Imagem referente à pool de DHCPv6 Stateless do servidor RT1-DHCPv6.....	32
Figura 19 - Demonstração da autoconfiguração para o cliente DHCPv6	32
Figura 20 - Imagem a demonstrar a autoconfiguração no cliente DHCPv6 através da norma EUI-64.....	33
Figura 21 - Parâmetros recebidos do servidor de DHCPv6 Stateless	33
Figura 22 - Imagem referente ao endereçamento das interfaces IPv6 do servidor DHCPv6 Stateful	34
Figura 23 - Imagem referente à pool de DHCPv6 Stateful do servidor RT2-DHCPv6	34
Figura 24 - Demonstração da atribuição de endereço IPv6 para o cliente DHCPv6 Stateful	35
Figura 25 - Imagem a demonstrar o endereço IPv6 recebido na interface do router cliente Stateful	35
Figura 26 - Parâmetros recebidos no router cliente Stateful do servidor de DHCPv6 Stateful ..	36
Figura 27 - Testes de conectividade entre o router cliente Stateless e o router cliente Stateful..	37
Figura 28 - Testes de conectividade entre o router cliente Stateful e o router cliente Stateless..	37

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Áreas geográficas das RIR	9
Tabela 2 - IPv6 tamanho do prefixo e host	10
Tabela 3 - Equipamentos utilizados no ambiente de rede IPv6.....	22
Tabela 4 - Endereçamento utilizado no ambiente de rede em IPv6	23
Tabela 5 - Endereçamento utilizado nos interfaces dos equipamentos em IPv6 Global Address e respectivas ligações.....	25
Tabela 6 - Endereçamento utilizado nos interfaces de IPv6 Link-Local Address.....	25
Tabela 7 - Configuração do router RT1-DHCPv6	27
Tabela 8 - Configuração do router RT2-DHCPv6	28
Tabela 9 - Configuração do router RT3-STATELESS	29
Tabela 10 - Configuração do router RT3-STATEFUL	29

Acrónimos

ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
AS	<i>Autonomous System</i>
BGP	<i>Border Gateway Protocol</i>
CDIR	<i>Classless InterDomain Routing</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DNS	<i>Domain Name System</i>
DUID	<i>DHCP Unique Identifier</i>
EUI	<i>Extended Unique Identifier</i>
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPSec	<i>IP Security Protocol</i>
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i>
NAT	<i>Network Address Translation</i>
NA	<i>Neighbor Advertisement</i>
NDP	<i>Neighbor Discovery Protocol</i>
NS	<i>Neighbor Solicitation</i>
RA	<i>Router Advertisement</i>
RIR	<i>Regional Internet Registry</i>
RS	<i>Router Solicitation</i>
SLAAC	<i>Stateless Address Autoconfiguration</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>

Capítulo 1

Introdução

Ao longo dos últimos anos, a Internet demonstrou uma alta taxa de crescimento, que superou as expectativas de uma década atrás. Isto trouxe problemas, que não estavam previstos. Com o grande número de *hosts* ligados à rede, os endereços IP começaram a ser escassos, principalmente pela maneira ineficiente como foram divididos em classes, o que acabou por gerar desperdício. Estes dois factos contribuíram para gerar um crescimento das tabelas utilizadas para encaminhamento de pacotes, o que tornou esta situação lenta e nada eficiente. Com o amadurecimento da Internet, há cada vez mais interesse em qualquer dispositivo estar ligado à rede, não só portáteis ou *smartphones*, mas também outro género de dispositivos, quer para fins domésticos, quer para fins empresariais e comerciais. Sendo assim, a exaustão de endereços do protocolo IPv4, forçou ao desenvolvimento de uma nova versão, o protocolo IPv6. A versão IPv6 começa a ser uma realidade nos dias de hoje.

No quesito de motivação, escolhi este tema, uma vez que é um assunto fascinante e desafiante e perante as empresas e organizações tem havido alguma resistência relativamente à sua implementação. Porque mais cedo ou mais tarde qualquer administrador de redes de uma organização terá de dominar os conceitos da nova versão do protocolo para efeitos de transição de IPv4 para IPv6.

1.1 Objetivos

O objetivo deste projeto é desenvolver um ambiente de simulação em IPv6 utilizando o protocolo DHCPv6. Para o ambiente de simulação será utilizado o emulador GNS3 para configuração em rede local. Serão configurados equipamentos em DHCPv6 para demonstrar os diferentes modos de distribuição de IPs para os clientes e mostrar a diferenciação como o DHCPv4. Será usado o protocolo de *routing* dinâmico BGP para encaminhamento de redes IPv6.



Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 Protocolo IPv6

2.1.1 História e motivação

Desde que surgiu a internet e desde que foi desenvolvida a primeira versão de protocolo IP, o IPv4, jamais se imaginava que este protocolo iria dar suporte a uma rede de escala universal com milhões de *hosts* ligados à rede. Em 1990 a IETF¹ começou a chegar à conclusão que o crescimento exponencial da rede iria levar à exaustão dos endereços IP até ao final do ano de 1994 (Hagen, 2014). Em 1994 a IETF formou uma equipa de trabalho, IP nova geração para definir o protocolo IPv6 com o objetivo de haver um largo espaço de endereçamento (Graziani, 2012). Além de começar a desenvolver um sucessor do IPv4, a IETF começou a discutir uma estratégia relativamente ao IPv4, porque enquanto não fosse desenvolvido o novo protocolo, tinha que se solucionar algo, para evitar o esgotamento dos endereços de uma forma tão rápida. Sendo assim, foi desenvolvido o CDIR² com o objetivo de terminar com o uso de classes de endereços e sim usar máscaras de rede de tamanho variável. Mas o CDIR não seria uma solução muito duradoura. Um novo protocolo precisava de ser desenvolvido em substituição do IPv4.

¹ IETF – *Internet Engineering Task Force* – É uma Comunidade de investigadores, engenheiros e técnicos que operam a internet. Esta comunidade foi criada com a missão de solucionar problemas ou questões relacionadas com o uso da Internet e com o objetivo de padronizarem tecnologias e protocolos envolvidos.

² CDIR – *Classless InterDomain Routing* – repartir o espaço de endereços IP ainda livres em blocos de endereços.

Outra solução para colmatar, foi o protocolo DHCP³ que permite a atribuição de endereços IP temporários aos utilizadores que estão ligados à rede. Assim, não existe necessidade de atribuir um IP a cada utilizador, sendo atribuídos endereços de forma dinâmica. Mas com o evoluir da tecnologia, nomeadamente com o IoT⁴ em que se pode conectar à internet qualquer dispositivo eletrónico utilizado no dia-a-dia, como portáteis, smartphones, eletrodomésticos, máquinas industriais, mais uma vez um novo protocolo precisava de ser desenvolvido para substituir o IPv4. O DHCP da versão IPv4 começava a ter também as suas limitações.

O NAT⁵ foi outra técnica que foi desenvolvida com o objetivo de retardar o fim do endereçamento IPv4. A utilização de NAT mostrou-se eficiente uma vez que se poupava muitos IPs. Foi feita a diferenciação de IPs públicos e privados. No entanto esta tecnologia apresentava muitas desvantagens, quebra a ligação ponto a ponto via internet, pouca escalabilidade, uma vez que várias ligações em simultâneo são limitadas. Mais uma vez, o IPv4 estava a precisar de ser substituído urgentemente.

No ano 2000, chegou-se à conclusão que o endereçamento IPv4 já tinha sido esgotado. Em 2003 dois terços dos endereços já se encontravam em utilização. A utilização de endereços IPv4 acompanhou o crescimento da internet o que levou a um rápido consumo dos mesmos. Em 2011 a distribuição de endereços IPv4 chegou ao limite (Veiga, 2011). É inevitável a implementação do protocolo IPv6.

³ DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol – distribuir automaticamente endereços de IP diferentes a todos os computadores à medida que eles fazem a solicitação de conexão com a rede.

⁴ IoT – Internet of Things – É o conceito de ligar vários objetos eletrónicos à internet.

⁵ NAT – Network Address Translation – Permite que uma rede de IPs privados tenham acesso à internet através de um IP público.

2.1.2 Evolução

A evolução do protocolo IPv6 tem tido uma evolução lenta. Mediante as estatísticas mencionadas pela Google, em Dezembro de 2016, cerca de 16% da população mundial utiliza IPv6, como demonstra o gráfico baseado em (Cisco, 2017).

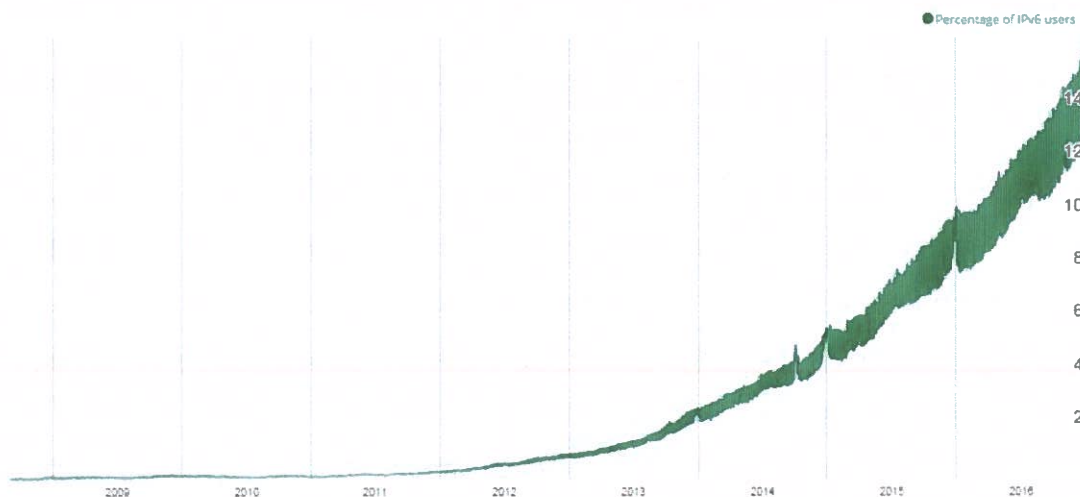


Figura 1 - Gráfico referente à evolução de adoção de utilizadores ao IPv6 no mundo
(Cisco, 2017)

O IPv6 em Portugal tem tido uma evolução modesta. A taxa de adoção do protocolo IPv6 em dezembro 2016 ronda aproximadamente os 17% (Cisco, 2017).

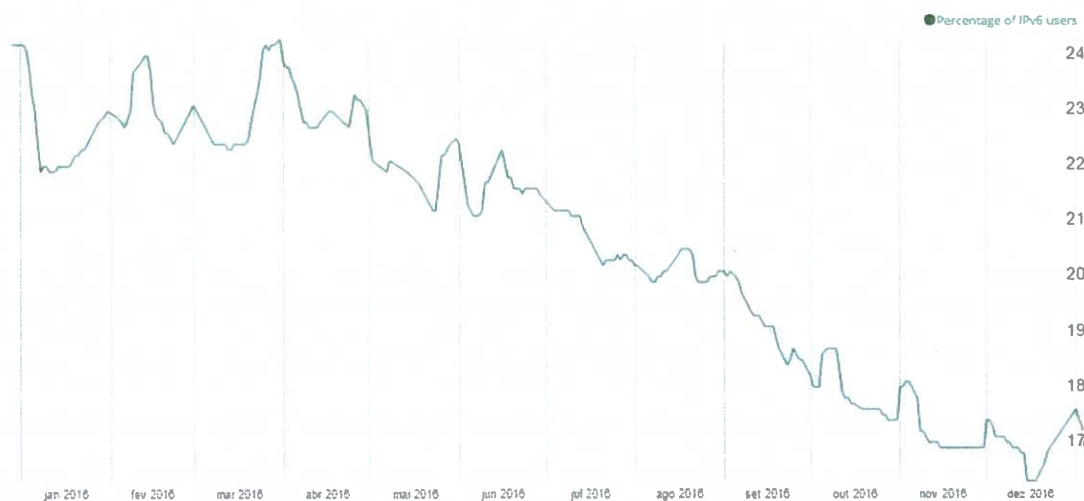


Figura 2 - Gráfico referente à evolução de adoção de utilizadores ao IPv6 em Portugal
(Cisco, 2017)

2.1.3 Vantagens e funcionalidades

Com o intuito de substituir o IPv4, o protocolo IPv6 traz imensas melhorias e vantagens relativamente ao seu antecessor. Esta versão tem como objetivo manter-se útil durante muitos anos. Assim sendo, foram melhoradas e adicionadas funcionalidades, conforme mencionadas abaixo:

- Largo espaço de endereçamento e escalabilidade (Cisco, 2002, p. 11);
- Formato de cabeçalho simplificado para otimização de entrega de pacote (Cisco, 2002, p. 11);
- Arquitetura hierárquica de rede para *Routing* mais eficiente (Cisco, 2002, p. 11);
- Serviços de configuração automática (Cisco, 2002, p. 11);
- Sem necessidade de utilizar NAT. Deixa de haver diferenciação entre endereços públicos e privados (Cisco, 2002, p. 11);
- IPSec – protocolo de autenticação e confidencialidade integrado (Cisco, 2002, p. 11).

2.1.4 Endereçamento

Como o IPv4, o IPv6 é um protocolo que funciona na camada de internet para encaminhamento de pacotes entre múltiplas redes IP. Enquanto o IPv4 tem 32 bits de endereço o que permite gerar até 2^{32} endereços distintos, ou seja, 4.294.967.296 endereços. Um endereço IPv6 é constituído por 128 bits que permite gerar 2^{128} endereços distintos, ou seja 3.4×10^{38} endereços (Ali, 2002). Com o IPv6 teremos uma distribuição global de endereços aos utilizadores finais da internet que torna mais simples as tabelas de encaminhamento dos equipamentos e facilita a distribuição de endereços pelos operadores de telecomunicações. O NAT em IPv6 deixa de ser necessário, deixa de haver tradução de endereços e passamos a ter comunicações ponto a ponto (Véstias, 2009).

Um endereço IPv4 tem 32 bits que são divididos em quatro grupos de 8 bits cada, separados por “.”, escritos com dígitos decimais. Exemplo:

192.168.10.1

Relativamente ao endereço IPv6 a sua representação é dividida em oito grupos de 16 bits, separados por “:” representados com dígitos hexadecimais. Exemplo:

2001:0DB8:AD1F:25E2:DFA1:F0C4:5311:84C1

BIN	0010	0000	0000	0001	0000	1101	1011	1000
HEX	2	0	0	1	0	D	B	8

Como a representação é em Hexadecimal cada número pode ser representado de 0 a F [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F]

Em hexadecimal:

2001:0DB8:0000:2F3B:02AA:00FF:FE28:9C5A

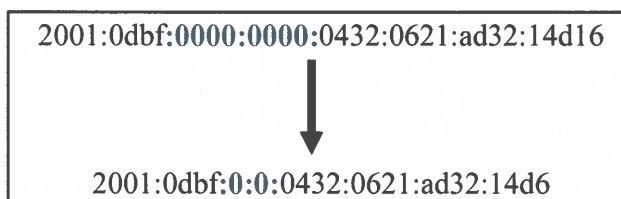


0010 (Cada número hexadecimal representa 4 bits, num total de 128 bits)

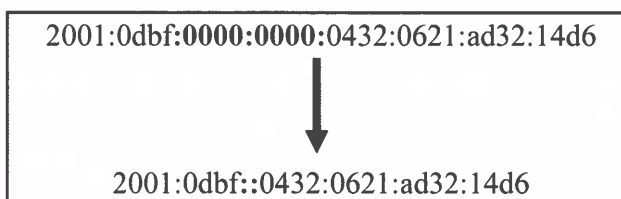
2.1.5 Formas de Representação

Existem várias possibilidades de representação de em endereço IPv6 (Kawashima, 2010).

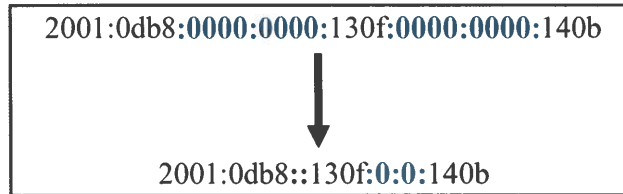
- Um bloco de 16 bits, ou seja, **0000** pode ser representado por um único **0**;



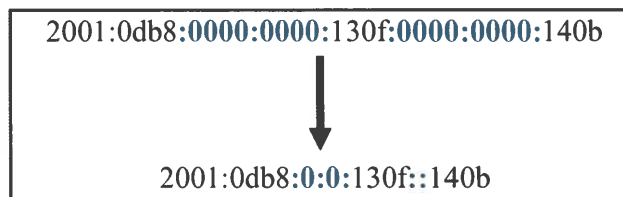
- Em lugar da maior sequência de blocos a 0, o “::” só pode aparecer uma vez por endereço;



- No caso de existirem duas sequências de blocos a **0** com o mesmo tamanho, só uma deverá ser representada por “:””, ficando os restantes blocos, com um **0**, por cada bloco;



ou



- É conveniente usar sempre letra minúscula, a, b, c, d, e, f

2.1.6 Distribuição de Endereços

A IANA⁶ é a entidade responsável de distribuição de endereços IP no mundo, bem com os números de sistemas automátatos para encaminhamento protocolo BGP. No sentido de haver uma melhor gestão de endereços IP foram criadas 5 entidades responsáveis para atribuir endereços mediante a área geográfica. Essas entidades têm o nome de RIR⁷. A distribuição de endereços está presente em baixo mediante a área geográfica (IANA).



Figura 3 - Mapa com distribuição das RIR (APNIC)

Sendo assim, como mencionado (IANA) segue como está distribuído os endereços a nível geográfico mediante os RIR.

Entidade/RIR	Área Geográfica Correspondente
AFRINIC	África
APNIC	Ásia e Austrália
ARIN	América do Norte e partes do Caribe
LACNIC	América Latina e parte do Caribe
RIPE NCC	Europa, Médio Oriente e Ásia Central

Tabela 1 - Áreas geográficas das RIR (IANA)

⁶ IANA – *Internet Assigned Numbers Authority* – Entidade responsável de todo o endereçamento IP e os sistemas numéricos automáticos de encaminhamento BGP. Tem a função de delegar aos RIR.

⁷ RIR – *Regional Internet Registry* – Organização que gere, distribui e controla os endereçamentos internet de uma determinada zona geográfica que são delegados pela IANA.

2.1.7 Prefixos e Subnetting

A sintaxe para representação em IPv6 de um endereço mediante o seu prefixo é **Endereço IPv6/Tamanho do Prefixo** onde o valor decimal que representa o número de bits contínuos à esquerda do endereço é o tamanho do prefixo (Graziani, 2012, p. 73).

Exemplo:

2001:0db8:ad1f:25e2:0000:0000:0000:0000/64

Como os primeiros bits do endereço dizem respeito ao prefixo, o mesmo é constituído por uma parametrização como mostra a tabela 2 baseado em (Graziani, 2012, p. 74).

128 bits (Endereço Total)	
64 Bits (Prefixo de Rede)	64 bits (Host)
2001:0db8:ad1f:25e2	0000:0000:0000:0000

Tabela 2 - IPv6 tamanho do prefixo e host
(Graziani, 2012, p. 74)

A IANA reserva a rede 2000::/3. O RIR recebe da IANA endereçamentos /12. O RIR, como vimos na Europa, é o RIPE NCC. Por sua vez é recebido pelos operadores de telecomunicações (ISP) blocos de endereços /32. De seguida determinada empresa solicita ao ISP um bloco de endereços /48 onde é criado o seu próprio site. Com os 48 bits fica completo o endereço que é fornecido pelo ISP. Posteriormente os restantes 16 bits são para subnet das redes internas (RIPE NCC, 2016).

Existem boas práticas para alocação de endereços IPv6. Seguem alguns exemplos (RIPE NCC, 2014)

- Toda a subnet deverá ser uma /64
- As subnets para sites devem ser entre:
 - /64 (1 subnet)
 - /48 (65.536 subnets)

- Mínima alocação deverá ser uma /32
 - 65.536 subnets /48
 - 16.777.216 subnets /56

O que é demonstrado em baixo na figura 2 mostra de forma mais explícita com é feito a subnetting em IPv6 segundo (RIPE NCC, 2016)

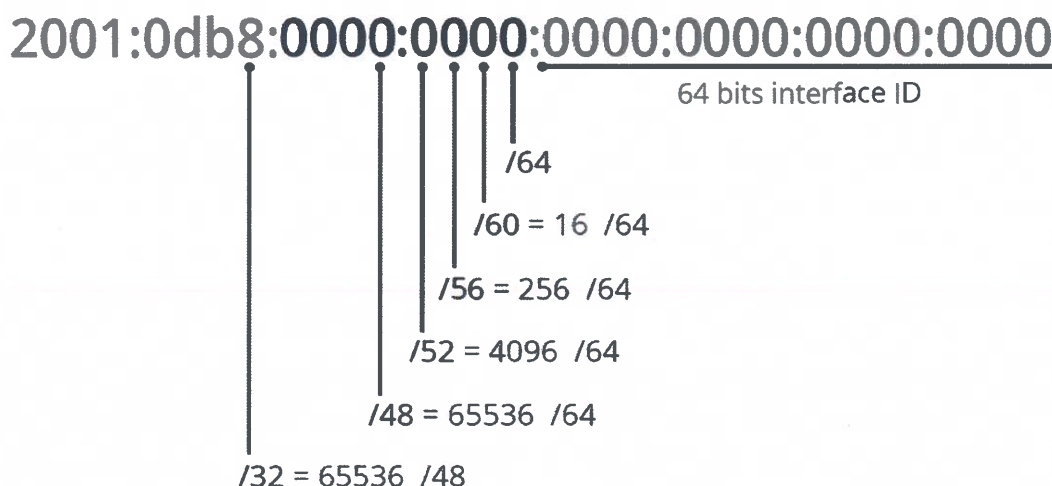


Figura 4 - Demonstração de subnetting em IPv6 (RIPE NCC, 2016)

2.1.8 Tipos de Endereços IPv6

No protocolo IPv6 existem três tipos de endereços, (Davies, 2012, p. 61). O unicast, multicast e anycast.

- **Unicast** – Um endereço unicast identifica apenas uma interface. O tráfego enviado para um endereço unicast é encaminhado apenas para uma única interface. Dentro dos endereços unicast existem outros tipos de endereços referidos abaixo (Cisco Systems, Inc., 2010) (Davies, 2012).
 - **Endereço Global unicast** – Endereçamento acessível pela internet. Equivalente ao endereçamento público em IPv4. Exemplo: **2000::/3**;
 - **Endereço Link-local** – Endereço atribuído automaticamente a partir do momento que o IPv6 é activado na interface. Estes endereços são válidos apenas na mesma rede. O prefixo é sempre representado com **FE80::/64**;

- **Endereço Único local** – Usado para comunicações VPN. Não tem encaminhamento na internet. O prefixo de representação deste endereço unicast é **FD00::/7**;
- **Endereço não especificado** – Representado com **0:0:0:0:0:0:0** ou **::0**. É utilizado apenas para indicar ausência de endereço. Equivalente a 0.0.0.0 em IPv4;
- **Endereço de Loopback** – Representado com **0:0:0:0:0:0:1** ou **::1**. Utilizado para identificar a própria interface. Equivalente ao endereço 127.0.0.1 em IPv4.
- **Multicast** – O Endereço multicast identifica um conjunto de interfaces. O tráfego enviado a um endereço multicast é entregue a todas as interfaces associadas a esse endereço. Uma nota é que os endereços de multicast começam sempre com **FF**. Alguns exemplos de endereços multicast (Cisco Systems, Inc., 2010)
 - **FF02::1** – Identifica todos os nós da rede local. Equivalente ao broadcast em IPv4 (255.255.255.255);
 - **FF02::2** – Identifica todos os routers da rede local. Equivalente em IPv4 ao endereçamento 224.0.0.2;
 - **FF05::1:3** – Identifica os servidores DHCP na rede local.
- **Anycast** – Um endereço anycast identifica um conjunto de interfaces. O tráfego enviado para um endereço anycast é entregue na interface mais próxima. Em IPv6 não existe endereço de broadcast como no IPv4. Essa função é substituída por endereços multicast.

2.2 ICMPv6

O ICMPv6, para o IPv6, tem basicamente as mesmas funções do ICMP, para o IPv4, ou seja, reportar erros no processamento de pacotes, realizar diagnósticos e enviar mensagens sobre as características da rede, mas o ICMPv6 possui algumas diferenças significativas referente ao ICMP do IPv4 (Davies, 2012, p. 117).

2.2.1 Neighbor Discovery Protocol (NDP)

O protocolo NDP foi construído com base nas mensagens do protocolo ICMPv6 para realização das suas tarefas. Este protocolo, segundo (Davies, 2012), foi desenvolvido com a finalidade de resolver problemas de interação entre nós vizinhos numa rede. Este protocolo vem substituir o *Address Resolution Protocol (ARP) Internet Control Message Protocol (ICMP)* e o *ICMP Redirect message* utilizado em IPv4. Além disso (Davies, 2012, p. 132), foram adicionadas outras funcionalidades como:

- Os *hosts* podem descobrir *routers* que estejam no mesmo segmento de rede
- Os *hosts* podem descobrir prefixos que estejam ao seu alcance
- Os *hosts* podem descobrir parâmetros do *link*, como o MTU ou o limite de saltos
- Autoconfiguração de endereços
- Resolução de endereço IP através do endereço físico. Equivalente ao ARP em IPv4.
- Detecção de endereços duplicados
- Os *hosts* podem determinar qual o próximo salto com destino a um endereço específico
- Determina que o nó não é mais alcançável na rede

O protocolo NDP foi construído com base nas mensagens do protocolo ICMPv6 para a realização de suas tarefas. Para isso foram reservadas cinco tipos de mensagens (Davies, 2012, p. 133):

- **Router Solicitation (RS)** – Este tipo de mensagem ICMPv6 com o número 133 é uma mensagem enviada por um host para solicitar aos routers mensagens router advertisement. Um host tenta descobrir informações de rotas, MTU, limite de saltos e outras informações que estão no router.
- **Router Advertisement (RA)** – Este tipo de mensagem ICMPv6 com o número 134 é uma mensagem que é enviada periodicamente a uma mensagem Router Solicitation por um router para anunciar a sua presença num segmento de rede. Tem como função atribuir prefixos, MTU, DNS para que os nós realizem a autoconfiguração de endereços.

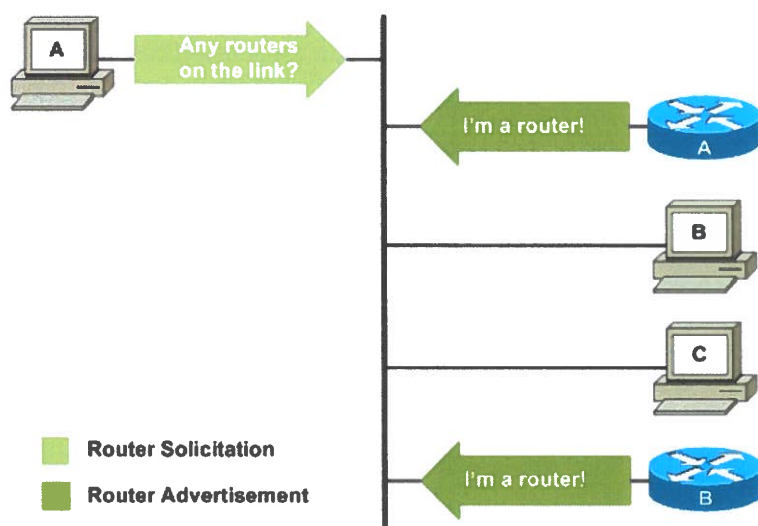


Figura 5 - Fluxo do *Router Solicitation* e *Router Advertisement*
(Stretch, 2008)

- **Neighbor Solicitation (NS)** – Este tipo de mensagem ICMPv6 com o número 135 é uma mensagem enviada por um host para um determinado vizinho o envio de mensagens Neighbor Advertisement. A ideia é descobrir o endereço IP associado a um endereço lógico. Esta função no IPv4 é feita pelo protocolo ARP. Esta mensagem serve também para testes de acessibilidade de nós no mesmo segmento de rede e além disso, esta mensagem também tem a função de detetar endereços duplicados.
- **Neighbor Advertisement (NA)** – Este tipo de mensagem ICMPv6 com o número 136 é como resposta a uma mensagem Neighbor Solicitation, ou seja, é usada para resolução de endereços físicos, teste de acesso a nós vizinhos e deteção de endereços duplicados.

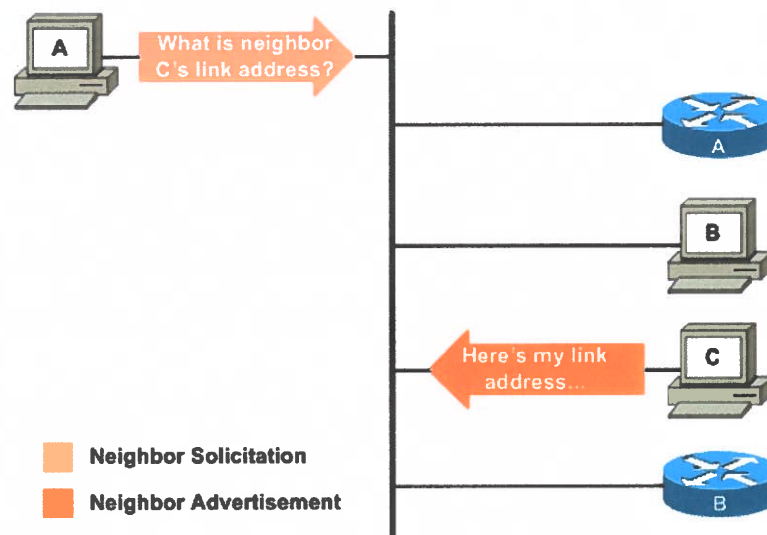


Figura 6 - Fluxo do *Neighbor Solicitation* e *Neighbor Advertisement* (Stretch, 2008)

- **Redirect, ICMPv6** – Utilizado pelo router para indicar o melhor caminho, ou seja, o router informa o host do endereço do próximo salto para ser usado para encaminhar pacotes.

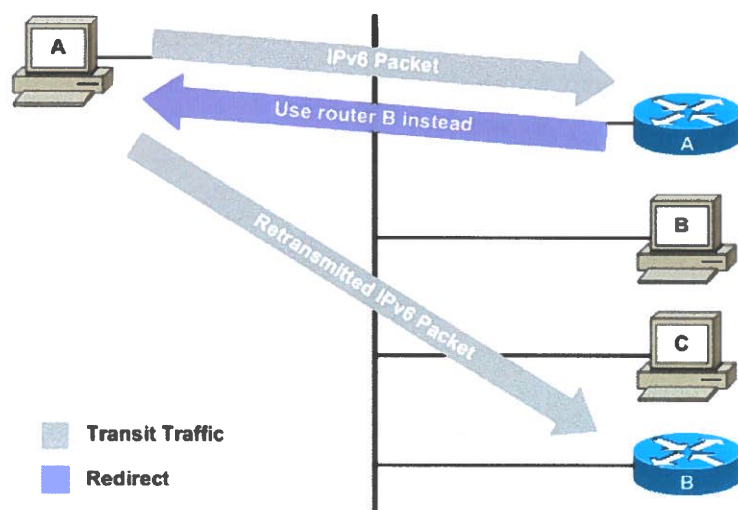


Figura 7 - Fluxo do *Redirect*
(Stretch, 2008)

2.3 DHCPv6

O protocolo DHCP para o IPv6 ou DHCPv6 funciona num modelo cliente/servidor assim como era no IPv4, permitindo aos servidores DHCP atribuir endereços IPv6 e outros parâmetros de configuração aos host IPv6. Com o IPv6 os equipamentos de rede podem ser configurados automaticamente sem um servidor DHCPv6, desde que estes estejam configurados para tal. O DHCPv6 permite as modalidades de *stateless* e *statefull*. A comunicação é nas portas 546/UDP e 547/UDP (Hagen, 2014).

2.3.1 DHCPv6 Stateless

O mecanismo **stateless (SLAAC)**, *Stateless Address Autoconfiguration*, ou seja, autoconfiguração de endereços, permite que endereços unicast sejam atribuídos aos *hosts* sem a necessidade de configurações manuais, sem servidores adicionais, apenas com configurações mínimas. A partir de informações enviadas pelos *routers*, em mensagens *Router Advertisement*, o host aprende o prefixo através de mensagens ICMPv6 tipo 134. Depois o sufixo é criado através do endereço MAC das interfaces, onde os hosts IPv6 criam automaticamente endereços link-local únicos (Hagen, 2014).

- Os endereços link-local são gerados utilizando o prefixo FE80::/64
- Baseados na norma EUI-64

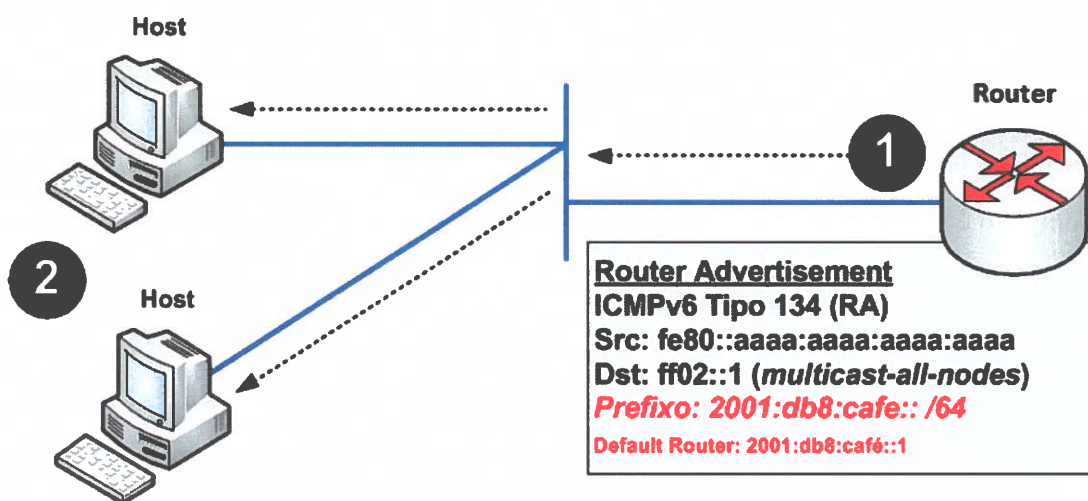


Figura 8 - Modelo DHCPv6 *Stateless*
(Brito, 2013)

A norma EUI-64 especificada na figura abaixo mostra como é criado o endereço link-local baseado em (Cisco Systems, Inc., 2010).

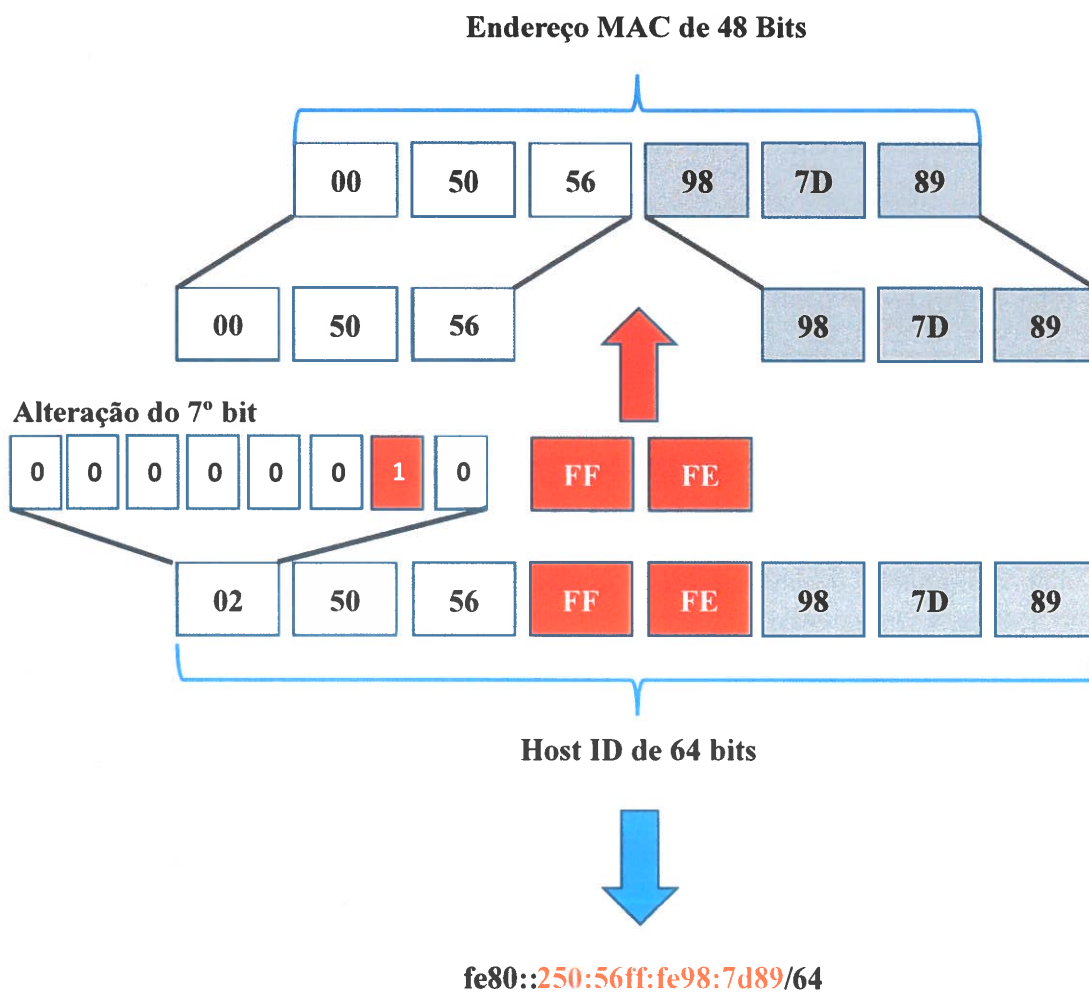


Figura 9 - Norma EUI-64
(Brito, 2013)

Se repararmos na figura 6 que o router envia o prefixo 2001:db8:cafe::/64 e o endereço completo é feito **2001:db8:cafe:250:56ff:fe98:7d89/64**.

2.3.2 DHCPv6 Stateful

A modalidade de Statefull é precisamente o mesmo método que é efetuado em IPv4, ou seja, o servidor define e armazena qual o IP que está atribuído a cada interface dos utilizadores. No contexto IPv4 para reserva de um IP a ação era realizada através da associação de um IPv4 com o endereço físico (MAC) do cliente, mas no IPv6 essa associação mudou. Agora a reserva é feita através da associação do endereço IPv6 com o **DUID** (DHCP Unique Identifier) do cliente DHCP (ipv6friday.org, 2011) (J. Bound, 2003)

Gateway no IPv6

- Em redes IPv6 o gateway de rede é descoberto pelo protocolo NDP (*Neighbor Discovery Protocol*) e pelos pacotes **RA** (*Router Advertisement*) enviados pelos routers ou *firewalls*.
- Por este motivo um servidor DHCPv6 não oferece a configuração do *gateway* (campo *Default Router*)
- Um host puramente IPv6 descobre o *gateway* de rede através de pacotes **ICMPv6** do NDP.

Capítulo 3

Implementação do Ambiente de Simulação

Neste capítulo iremos demonstrar um ambiente de rede em IPv6. O foco da demonstração irá ser o protocolo IPv6, de forma a mostrar o seu funcionamento e seus resultados, nomeadamente o DHCPv6 que tem uma vertente bastante diferenciada e evolutiva em relação ao DHCP em IPv4. Iremos demonstrar como funcionam os métodos *Stateless* e o *Stateful* em IPv6. Como foi mencionado anteriormente, o *software* de simulação será o GNS3, versão 2.0.0. Este software permite utilizar imagens de sistema operativo IOS da Cisco que são utilizadas em routers físicos. Para realização da simulação foi utilizado um Router Cisco 7206VXR NPE-400 com 512 MB RAM.

3.1 Topologia de Rede

A nível de topologia física de rede, iremos ter dois *routers* ligados entre si, que por sua vez cada um liga a um switch. Ligados a esses *switchs* temos um *router* a funcionar como *endpoint*. A nível de topologia lógica de rede, os *routers* têm uma rede de interligação e cada um está a executar o protocolo de *routing* dinâmico BGP em IPv6. Os dois *routers* estão no mesmo AS⁸, ou seja, será executado iBGP. Cada *router* propaga a sua rede em IPv6 que está exposta para os clientes. Cada *router* será servidor de DHCPv6. Um *router* será servidor de DHCPv6 *Stateless* e o outro *router* será servidor de DHCPv6 *Stateful*. O *router* que fornece endereçamento *Stateless* terá como *endpoint* um outro *router*. O *router* que fornece o endereçamento *Stateful* terá como *endpoint* um outro *router* também. No ambiente de rede foi definido um site com o endereçamento 2001:db8:17::/48 que por sua vez foi dividido em redes de prefixo /64. Convém realçar que este ambiente é totalmente em IPv6 e não tem qualquer configuração em IPv4.

⁸ AS – *Autonomous System* – Conjunto de redes, que se encontram na mesma área de gestão e além disso, possuem políticas de *routing* em comum.

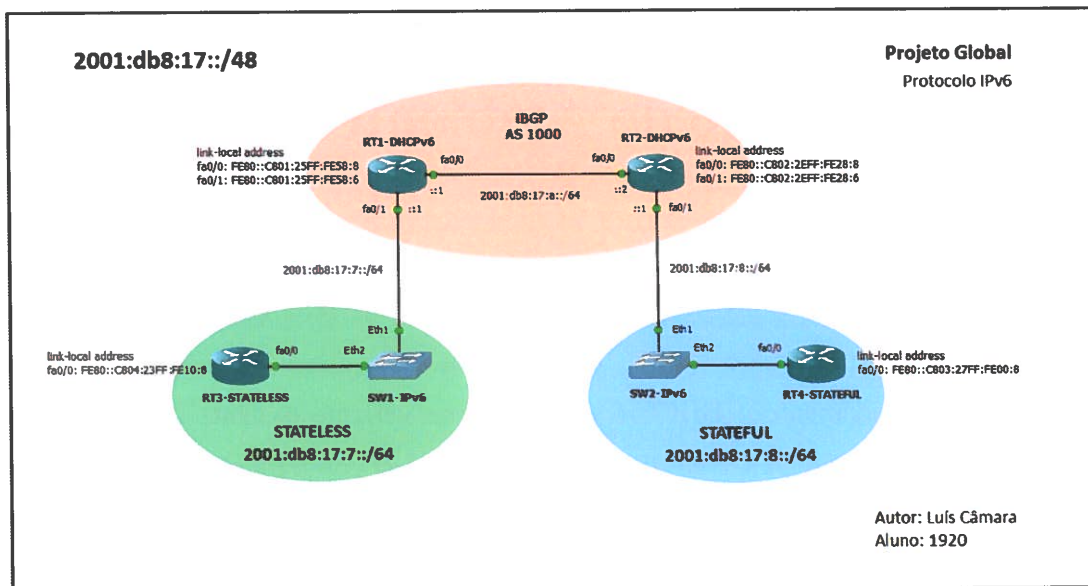


Figura 10 - Imagem global da topologia de Rede completa em IPv6
Fonte: A autoria própria

3.1.1 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados e respetivas versões de sistema operativo estão mencionados na tabela abaixo.

Equipamento	Sistema Operativo	Objetivo
2 x Router Cisco 7206VXR (NPE400)	c7200-adventerprisek9-mz.152-4.M7	Routing Dinâmico e Servidor DHCPv6
Router Cisco 7206VXR (NPE400)	c7200-adventerprisek9-mz.152-4.M7	Endpoint Stateful
Router Cisco 7206VXR (NPE400)	c7200-adventerprisek9-mz.152-4.M7	Endpoint Stateless

Tabela 3 - Equipamentos utilizados no ambiente de rede IPv6

3.1.2 Endereçamento lógico da Rede

Relativamente ao endereçamento que será utilizado no ambiente de simulação, será utilizada a rede 2001:db8:17::/48 que será a rede atribuída ao site. Essa rede por sua vez será dividida em prefixos /64, conforme é mencionada abaixo na tabela 4.

Site	Endereçamento IPv6	Objetivo
2001:db8:17::/48	2001:db8:17:7::/64	Rede DHCPv6 STATELESS
	2001:db8:17:8::/64	Rede DHCPv6 STATEFUL
	2001:db8:17:a::/64	Interligação entre <i>Routers</i>

Tabela 4 - Endereçamento utilizado no ambiente de rede em IPv6

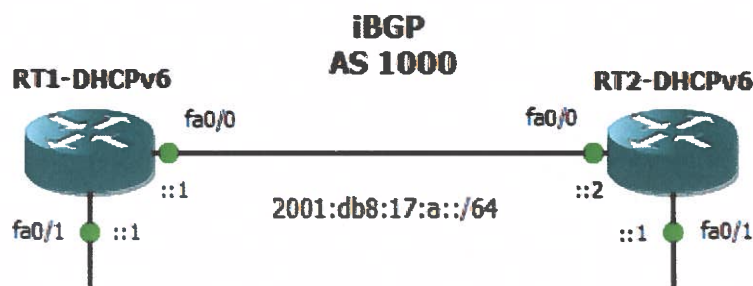


Figura 11 - Imagem parcial da rede 2001:db8:17:a::/64 em IPv6
Fonte: Autoria própria

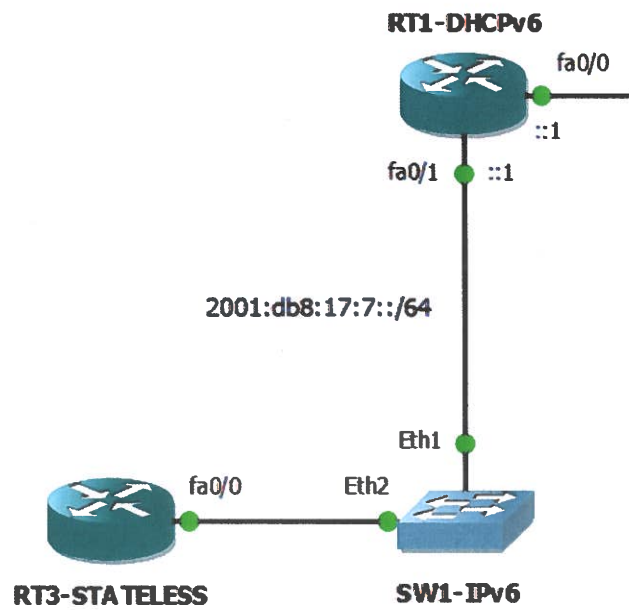


Figura 12 - Imagem parcial da rede 2001:db8:17:7::/64 em IPv6
Fonte: Autoria própria

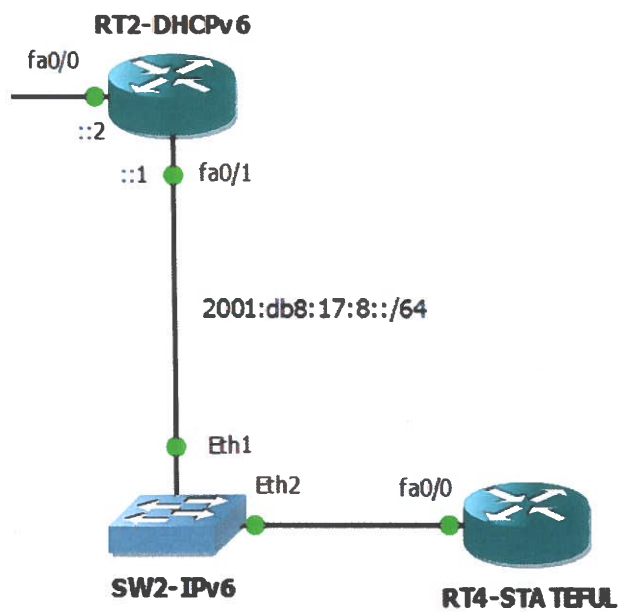


Figura 13 - Imagem parcial da rede 2001:db8:17:8::/64 em IPv6
Fonte: Autoria própria

Em baixo na tabela 5 estão mencionados os endereços IPv6 Global Address mediante a interface de cada equipamento e respetivas ligações.

Equipamento	Interface	IPv6 Global Address	Gateway	Ligações
RT1-DHCPv6	fa0/0	2001:db8:17:a::1/64	2001:db8:17:a::2	Interliga RT2-DHCPv6 (Fa0/0)
	fa0/1	2001:db8:17:7::1/64	N/A	Gateway da Rede STATELESS
RT2-DHCPv6	fa0/0	2001:db8:17:a::2/64	2001:db8:17:a::1	Interliga RT1-DHCPv6 (Fa0/0)
	fa0/1	2001:db8:17:8::1/64	N/A	Gateway da Rede STATEFUL
SW1-IPv6	eth1	N/A	N/A	Interliga RT1-DHCPv6 (fa0/1)
	eth2	N/A	N/A	Interliga RT3-STATELESS (FA0/0)
SW2-IPv6	eth1	N/A	N/A	Interliga RT2-DHCPv6 (fa0/1)
	eth2	N/A	N/A	Interliga RT4-STATEFUL (FA0/0)
RT3-STATELESS	fa0/0	DHCPv6 <i>Stateless</i>	2001:db8:17:7::1	Interliga SW1-IPv6 (eth1)
RT4-STATEFUL	fa0/0	DHCPv6 <i>Stateful</i>	2001:db8:17:8::1	Interliga SW2-IPv6 (eth1)

Tabela 5 - Endereçamento utilizado nos interfaces dos equipamentos em IPv6 *Global Address* e respetivas ligações.

Em baixo na tabela 6 estão mencionados os endereços IPv6 de *link-local address* associados a cada interface.

Equipamento	Interface	IPv6 Link-Local Address
RT1-DHCPv6	fa0/0	FE80::C801:25FF:FE58:8
	fa0/1	FE80::C801:25FF:FE58:6
RT2-DHCPv6	fa0/0	FE80::C802:2EFF:FE28:8
	fa0/1	FE80::C802:2EFF:FE28:6
RT3-STATELESS	fa0/0	FE80::C804:23FF:FE10:8
RT4-STATEFUL	fa0/0	FE80::C803:27FF:FE00:8

Tabela 6 - Endereçamento utilizado nos interfaces de IPv6 *Link-Local Address*

3.2 Configuração do Protocolo IPv6

Aqui serão demonstradas todas as configurações que foram efetuadas nos equipamentos. Como foi referido anteriormente, todas as configurações são unicamente em IPv6.

3.2.1 Configuração dos *routers* em IPv6

De seguida vai ser demonstrado a configuração dos *routers*. Em baixo encontra-se discriminado o que cada *router* tem configurado mediante o seu objetivo. Mais a baixo irá ser discriminado as configurações dos equipamentos.

- **RT1-DHCPv6** – Configuração do serviço de DHCP6 *Stateless*, *routing* dinâmico em BGP e respetivas interfaces.
- **RT2-DHCPv6** – Configuração do serviço de DHCP6 *Stateful*, *routing* dinâmico em BGP e respetivas interfaces.
- **RT3-STATELESS** – Configuração de Cliente DHCPv6 *Stateless*. Apenas configuração da interface.
- **RT4-STATEFUL** – Configuração do cliente DHCPv6 *Stateful*. Apenas configuração da interface.

RT1-DHCPv6	
Configurações	Descrição
<pre> ipv6 unicast-routing ipv6 cef </pre>	Ativa o protocolo IPv6 no equipamento
<pre> ipv6 dhcp pool IPv6POOL-STATELESS dns-server 2001:DB8:17:8::10 domain-name istec.local </pre>	Configuração da POOL DHCPv6 <i>stateless</i> . Nota: O domínio <i>istec.local</i> e o IP de DNS é fictício. É apenas para demonstrar o protocolo
<pre> interface FastEthernet0/0 description ** Interliga RT2-DHCPv6 - int fa0/0 ** no ip address duplex full speed auto ipv6 address 2001:DB8:17:A::1/64 ipv6 enable ipv6 nd ra suppress all </pre>	Configuração da interface fa0/0. Interligação com RT2-DHCPv6 com velocidade auto a full duplex. Não tem ipv4 configurado e tem ipv6 da rede de interligação. Está ativado na interface o IPv6.
<pre> interface FastEthernet0/1 description ** Ligacao SW1-IPv6 - Eth1 ** no ip address duplex full speed auto ipv6 address 2001:DB8:17:7::1/64 ipv6 enable ipv6 nd other-config-flag ipv6 dhcp server IPv6POOL-STATELESS </pre>	Configuração da interface fa0/1. Interligação com SW1-IPv6 com velocidade auto a full duplex. Configurado interface ipv6 que é o interface gateway da rede 2001:db8:17:7::/64. Está ativado na interface o IPv6. De seguida os comandos são relativamente ao DHCPv6. Está mencionada a pool STATELESS para o DHCPv6 desta rede e por sua vez o comando "ipv6 nd other-config-flag" faz com que o cliente apenas recebe o DNS e o ip seja gerado de forma automática.
<pre> router bgp 1000 bgp router-id 1.1.1.1 bgp log-neighbor-changes no bgp default ipv4-unicast neighbor 2001:DB8:17:A::2 remote-as 1000 address-family ipv4 exit-address-family address-family ipv6 network 2001:DB8:17:7::/64 neighbor 2001:DB8:17:A::2 activate exit-address-family </pre>	Configuração de <i>routing</i> dinâmico BGP com protocolo IPv6. O <i>router</i> tem o AS <i>autonomous system</i> com identificação 1000. O <i>router</i> tem o id 1.1.1.1. O <i>neighbor</i> será o router RT2-DHCPv6 com o mesmo AS uma vez que é iBGP. Será anunciada para o <i>router</i> RT2-DHCPv6 a rede 2001:DB8:17:7::/64. Não existe propagação de redes em IPv4.

Tabela 7 - Configuração do *router* RT1-DHCPv6
Fonte: Autoria própria

RT2-DHCPv6	
Configurações	Descrição
<pre>ipv6 unicast-routing ipv6 cef</pre>	Ativa o protocolo IPv6 no equipamento
<pre>ipv6 dhcp pool IPv6POOL-STATEFUL address prefix 2001:DB8:17:8::/64 lifetime infinite infinite dns-server 2001:DB8:17:8::10 domain-name istec.local</pre>	Configuração da POOL DHCPv6 <i>stateful</i> . Anuncia a rede para distribuição de IPv6 da rede 2001:DB8:17:8::/64.
<pre>interface FastEthernet0/0 description ** Interliga RT1-DHCPv6 - int fa0/0 ** no ip address duplex full speed auto ipv6 address 2001:DB8:17:A::2/64 ipv6 enable ipv6 nd ra suppress all</pre>	Configuração da interface fa0/0. Interligação com RT1-DHCPv6 com velocidade auto a full duplex. Não tem ipv4 configurado e tem ipv6 da rede de interligação. Está ativado na interface o IPv6.
<pre>interface FastEthernet0/1 description ** Ligacao SW2-IPv6 - Eth1 ** no ip address duplex full speed auto ipv6 address 2001:DB8:17:8::1/64 ipv6 enable ipv6 nd prefix 2001:DB8:17:8::/64 14400 14400 no- autoconfig ipv6 nd managed-config-flag ipv6 dhcp server IPv6POOL-STATEFUL</pre>	Configuração da interface fa0/1. Interligação com SW2-IPv6 com velocidade auto a full duplex. Configurado interface ipv6 que é o interface gateway da rede 2001:db8:17:8::/64. Está ativado na interface o IPv6. De seguida os comandos são relativamente ao DHCPv6. Está mencionada a pool STATEFUL para o DHCPv6 desta rede e por sua vez o comando " ipv6 nd managed-config-flag " faz com que o cliente apenas recebe o DNS e o IP é gerado pelo prefixo sem autoconfiguração.
<pre>router bgp 1000 bgp router-id 2.2.2.2 bgp log-neighbor-changes no bgp default ipv4-unicast neighbor 2001:DB8:17:A::1 remote-as 1000 address-family ipv4 exit-address-family address-family ipv6 network 2001:DB8:17:8::/64 neighbor 2001:DB8:17:A::1 activate exit-address-family</pre>	Configuração de <i>routing</i> dinâmico BGP com protocolo IPv6. O <i>router</i> tem o AS <i>autonomous system</i> com identificação 1000. O <i>router</i> tem o id 2.2.2.2. O <i>neighbor</i> será o router RT1-DHCPv6 com o mesmo AS uma vez que é iBGP. Será anunciada para o router RT1-DHCPv6 a rede 2001:DB8:17:8::/64. Não existe propagação de redes em IPv4.

Tabela 8 - Configuração do *router* RT2-DHCPv6
Fonte: Autoria própria

RT3-STATELESS	
Configurações	Descrição
ipv6 unicast-routing ipv6 cef	Ativa o protocolo IPv6 no equipamento
interface FastEthernet0/0 description ** Interliga SW1-IPv6 – Eth2 ** no ip address duplex full speed auto ipv6 address autoconfig ipv6 enable	Configuração da interface fa0/0. Interligação com SW1-IPv6 com velocidade auto a full duplex. Não tem ipv4 e o IPv6 gerado de forma automática derivado o RT1-DHCPv6.
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/0 2001:DB8:17:7::1	Rota estática por defeito que tem como <i>next hop</i> o IPv6 2001:DB8:17:7::1 e interface de saída FastEthernet0/0.

Tabela 9 - Configuração do *router* RT3-STATELESS
Fonte: Autoria própria

RT4-STATEFUL	
Configurações	Descrição
ipv6 unicast-routing ipv6 cef	Ativa o protocolo IPv6 no equipamento
interface FastEthernet0/0 description ** Interliga SW2-IPv6 – Eth2 ** no ip address duplex full speed auto ipv6 address dhcp ipv6 enable	Configuração da interface fa0/0. Interligação com SW2-IPv6 com velocidade auto a full duplex. Não tem ipv4 e o IPv6 gerado pelo DHCPv6 derivado do RT1-DHCPv6.
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/0 2001:DB8:17:8::1	Rota estática por defeito que tem como <i>next hop</i> o IPv6 2001:DB8:17:8::1 e interface de saída FastEthernet0/0.

Tabela 10 - Configuração do *router* RT3-STATEFUL
Fonte: Autoria própria

3.2.2 Testes de demonstração do protocolo BGP em IPv6

Aqui será mostrado o protocolo BGP a funcionar com IPv6. Será feita a demonstração de alguns comandos úteis.

show bgp ipv6 unicast → Mostra as entradas BGP na tabela de *routing*.

```
RT1-DHCPv6#sh bgp ipv6 unicast
BGP table version is 3, local router ID is 1.1.1.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, m multipath, b backup-path, f RT-Filter,
               x best-external, a additional-path, c RIB-compressed,
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
RPKI validation codes: V valid, I invalid, N Not found

   Network          Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
*> 2001:DB8:17:7::/64
    ::              0             32768 i
*>i 2001:DB8:17:8::/64
    2001:DB8:17:A::2 0             100   0 1
RT1-DHCPv6#
```

Figura 14 - Imagem das entradas BGP em IPv6
Fonte: Autoria própria

show bgp ipv6 unicast neighbors → Mostra informação sobre BGP e as ligações TCP com os *neighbors*. Como podemos verificar na figura 15, a ligação está “Established” e “Up” à 23 minutos e 57 segundos com o router ID 2.2.2.2 que é o *router* RT2-DHCPv6.

```
RT1-DHCPv6#sh bgp ipv6 unicast neighbors
BGP neighbor is 2001:DB8:17:A::2, remote AS 1000, internal link
BGP version 4, remote router ID 2.2.2.2
BGP state = Established, up for 00:23:57
Last reset: 00:00:00, last write error: 00, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
Neighbor address:
  1 active, is not multiseession capable (disabled)
Neighbor capabilities:
  Route refresh: advertised and received (new)
  Four octets ASN Capability: advertised and received
  Address family IPv6 Unicast: advertised and received
  Enhanced Refresh Capability: advertised and received
  Multiseession Capability:
    Successful switchover support enabled: NO for session 1
Message statistics:
  InQ depth is 0
  OutQ depth is 0

          Sent          Rcvd
Opens:          1          1
Notifications: 0          0
Updates:         2          2
Keepalives:     27         27
Route Refresh:  0          0
Total:          30         30
Default minimum time between advertisement runs is 0 seconds

For Address Family: IPv6 Unicast
Session: 2001:DB8:17:A::2
BGP table version 3, neighbor version 3/0
Output queue size: 0
Index 1, Advertise bit 0
1 update-group member
Slow-peer detection is disabled
Slow-peer split-update-group dynamic is disabled

          Sent          Rcvd
Prefix activity:
-----
Prefixes Current: 1          1 (Consumes 80 bytes)
Prefixes Total:   1          1
Implicit Withdraw: 0          0
Explicit Withdraw: 0          0
Used as bestpath: n/a        1
Used as multipath: n/a        0
```

Figura 15 - Imagem parcial da informação BGP em IPv6 com os *neighbors*
Fonte: Autoria própria

show bgp ipv6 summary → Mostra o status de todas as ligações BGP em IPv6. Como podemos verificar na figura 16, é identificado o ID do *router* local com o respectivo AS. Também é mostrado o IP do *neighbor*, o respectivo AS do *neighbor*, o tempo que está em dar serviço e quantos prefixos está a anunciar.

```

RT1-DHCPv6#sh bgp ipv6 unicast summary
BGP router identifier 1.1.1.1, local AS number 1000
BGP table version is 3, main routing table version 3
3 network entries using 344 bytes of memory
3 path entries using 176 bytes of memory
2/3 BGP path/bestpath attribute entries using 372 bytes of memory
0 BGP route-map cache entries using 0 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
BGP using 784 total bytes of memory
BGP activity 2/0 prefixes, 2/0 paths, scan interval 60 secs

Neighbor        V    AS MsgRcvd MsgSent  TblVer  InQ OutQ  Up/Down   State/PfxRcd
2001:DB8:17:A::2 4    1000    39     39      3     0    0:00:32:15 1
RT1-DHCPv6#

```

Figura 16 - Imagem referente ao *status* das ligações BGP em IPv6
Fonte: Autoria própria

3.2.3 Demonstração do serviço DHCPv6 *Stateless*

Aqui será demonstrado o serviço DHCPv6 *Stateless*, sendo o *router* RT1-DHCPv6 como servidor e o *router* RT3-STATELESS como cliente. Assim sendo:

- RT1-DHCPv6 está ligado a RT3-STATELESS através da interface fa0/1 e RT3-STATELESS está ligado a RT1-DHCPv6 através da interface fa0/0.
- RT1-DHCPv6 tem uma *pool* DHCPv6 com o nome IPv6POOL-STATELESS apenas com a definição DNS. Nesta *pool* não é definido qualquer prefixo.
- Uma vez que não é definido qualquer prefixo na *pool*, a configuração será do lado do cliente RT3-STATELESS uma vez que estará a usar o sistema de endereçamento *Stateless Address Autoconfiguration* (SLAAC), ou seja, é obtido o prefixo através da interface fa0/0 e o mesmo será preenchido através da norma EUI-64.

Os comandos que foram executados do lado do servidor DHCPv6 *Stateless* (RT1-DHCPv6) foram os seguintes:

sh ipv6 int brief → Mostra as configurações das interfaces incluindo o global unicast address e o link-local address. Podemos verificar na figura 17 o endereçamento da interface fa0/1 que é a interface que está ligada ao *router* cliente.

```
RT1-DHCPv6#sh ipv6 int brief
FastEthernet0/0 [up/up]
FE80::C001:25FF:FE58:6
2001:DB8:17:8::1
FastEthernet0/1 [up/up]
FE80::C001:25FF:FE58:6
2001:DB8:17:7::1
RT1-DHCPv6#
```

Figura 17 - Imagem referente ao endereçamento das interfaces IPv6 do servidor DHCPv6 *Stateless*
Fonte: Autoria própria

show ipv6 dhcp pool → Mostra a *pool* DHCPv6. Aqui verifica-se que não existem clientes ativos, uma vez que o router cliente gera o seu IPv6 através da norma EUI-64 e é apenas facultado o DNS.

```
RT1-DHCPv6#sh ipv6 dhcp pool
DHCPv6 pool: IPV6POOL-STATELESS
DNS server: 2001:DB8:17:8::10
Domain name: isccc.local
Active clients: 0
RT1-DHCPv6#
```

Figura 18 - Imagem referente à *pool* de DHCPv6 *Stateless* do servidor RT1-DHCPv6
Fonte: Autoria própria

sh ipv6 int fa0/1 → Descrição da interface que está ligado ao *router* cliente. Aqui verifica-se nas linhas assinaladas a **vermelho**, que os hosts utilizam o DHCP como “other configuration” e em *stateless autoconfig*. Isto é derivado do comando “*ipv6 nd other-config-flag*” que se encontra na interface fa0/1.

```
RT1-DHCPv6#sh ipv6 int fa0/1
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C001:25FF:FE58:6
No Virtual link-local address(es):
Description: ** Ligacao SW1-IPv6 - Eth1 **
Global unicast address(es):
2001:DB8:17:7::1, subnet is 2001:DB8:17:7::/64
Joined group address(es):
FE02::1
FE02::2
FE02::1:3
FE02::1:FE00:1
FE02::1:FE58:6
FE08::1:3
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ICMP unreachable are sent
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds (using 30000)
ND advertised reachable time is 0 (unspecified)
ND advertised retransmit interval is 0 (unspecified)
ND router advertisements are sent every 200 seconds
ND router advertisements live for 1800 seconds
ND advertised default router preference is Medium
Hosts use stateless autoconfig for addresses.
Hosts use DHCP to obtain other configuration.
RT1-DHCPv6#
```

Figura 19 - Demonstração da autoconfiguração para o cliente DHCPv6
Fonte: Autoria própria

Os comandos que foram executados do lado do cliente DHCPv6 *Stateless* (RT3-STATELESS) foram os seguintes:

sh ipv6 int fa0/0 → Descrição da interface que está ligado ao *router* Servidor. Aqui verifica-se nas linhas assinaladas a **vermelho** que o router está a obter endereço IPv6

por autoconfiguração utilizando a norma EUI-64, ou seja, o router tem o link-local address **FE80::C804:23FF:FE10:8** e é gerado o endereço global unicast address **2001:DB8:17:7:C804:23FF:FE10:8**.

```
RT3-STATELESS#sh ipv6 int fa0/0
FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C804:23FF:FE10:8
No Virtual link-local address(es):
Description: DHCPv6_STATELESS_CLIENT
Stateless address autoconfig enabled
Global unicast address(es):
  2001:DB8:17:7:C804:23FF:FE10:8, subnet is 2001:DB8:17:7::/64 [EUI/CAL/FE8]
  valid lifetime 35915M preferred lifetime 604793
Joined group address(es):
  FF02::1
  FF02::2
  FF02::1:FE10:8
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ICMP unreachable are sent
ND DND is enabled, number of DND attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds (using 30000)
ND advertised reachable time is 0 (unspecified)
ND advertised retransmit interval is 0 (unspecified)
ND router advertisements are sent every 200 seconds
ND router advertisements live for 1800 seconds
ND advertised default router preference is Medium
Hosts use stateless autoconfig for addresses.
RT3-STATELESS#
```

Figura 20 - Imagem a demonstrar a autoconfiguração no cliente DHCPv6 através da norma EUI-64
Fonte: Autoria própria

sh ipv6 dhcp interface fa0/0 → Mostra os parâmetros que são recebidos por dhcp em IPv6. Como se pode observar na figura 21, na linha a **vermelho** é fornecido ao cliente apenas os parâmetros de DNS. Não existe aqui qualquer IP mencionado.

```
RT3-STATELESS#sh ipv6 dhcp interface fa0/0
FastEthernet0/0 is in client mode
Prefix State is IDLE
Address State is IDLE
List of known servers:
  Reachable via address: FE80::C804:23FF:FE10:8
  DEID: 00030001C80423FFFE1008
  Preference: 0
Configuration parameters:
  DNS server: 2001:DB8:17:8::10
  Domain name: istec.local
  Information refresh time: 0
Prefix Rapid-Commit: disabled
Address Rapid-Commit: disabled
RT3-STATELESS#
```

Figura 21 - Parâmetros recebidos do servidor de DHCPv6 *Stateless*
Fonte: Autoria própria

3.2.4 Demonstração do serviço DHCPv6 *Stateful*

Aqui será demonstrado o serviço DHCPv6 *Stateful*, sendo o *router* **RT2-DHCPv6** como servidor e o *router* **RT4-STATEFUL** como cliente. Assim sendo:

- **RT2-DHCPv6** está ligado a **RT4-STATEFUL** através da interface fa0/1 e **RT4-STATEFUL** está ligado a **RT2-DHCPv6** através da interface fa0/0.
- **RT2-DHCPv6** tem uma *pool* DHCPv6 com o nome **IPv6POOL-STATEFUL** com o prefixo IPv6 a ser atribuído ao *host* e DNS.
- O cliente **RT4-STATEFUL** receberá um endereço IPv6 uma vez que foi definido um prefixo na *pool* de DHCP.

Os comandos que foram executados do lado do servidor DHCPv6 *Stateful* (**RT2-DHCPv6**) foram os seguintes:

sh ipv6 int brief → Mostra as configurações das interfaces incluindo o global unicast address e o link-local address. Podemos verificar na figura 22 o endereçamento da interface fa0/1 que é a interface que está ligada ao *router* cliente.

```
RT2-DHCPv6#sh ipv6 int brief
FastEthernet0/0    [up/up]
 FE80::C002:2EFF:FE2B:B
 2001:DB8:17:8::12
FastEthernet0/1    [up/up]
 FE80::C002:2EFF:FE2B:0
 2001:DB8:17:8::1
RT2-DHCPv6#
```

Figura 22 - Imagem referente ao endereçamento das interfaces IPv6 do servidor DHCPv6 *Stateful*
Fonte: Autoria própria

show ipv6 dhcp pool → Mostra a *pool* DHCPv6. Aqui verifica-se logo uma diferença relativamente à *pool* de IPv6POOL-STALESS referente ao RT1-DHCPv6. Aqui existe um cliente com IP atribuído referente ao prefixo mencionado na figura 23.

```
RT2-DHCPv6#show ipv6 dhcp pool
DHCPv6 pool: IPv6POOL-STATEFUL
 Address allocation prefix: 2001:DB8:17:8::/64 valid 4294967295 preferred 4294967295 (1 in use, 0 conflicts)
 DNS server: 2001:DB8:17:8::10
 Domain name: iscc.local
 Active clients: 1
RT2-DHCPv6#
```

Figura 23 - Imagem referente à *pool* de DHCPv6 *Stateful* do servidor RT2-DHCPv6
Fonte: Autoria própria

sh ipv6 int fa0/1 → Descrição da interface que está ligado ao *router* cliente. Aqui verifica-se nas linhas assinaladas a **vermelho**, que os hosts utilizam o DHCP como “obtain routable addresses”, ou seja, será atribuído um endereço IPv6 mediante o prefixo que foi definido na *pool*. Isto é derivado do comando “ipv6 nd managed-config-flag” que se encontra na interface fa0/1.

```
RT2-DHCPv6#sh ipv6 int fa0/1
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C802:2EFF:FE28:6
No Virtual link-local address(es):
Description: ** Ligacao SW2-IPv6 - Eth1 **
Global unicast address(es):
  2001:DB8:17:8::1, subnet is 2001:DB8:17:8::/64
Joined group address(es):
  FE02::1
  FE02::2
  FE02::1:2
  FE02::1:FE00:1
  FE02::1:FFF8:6
  FE05::1:3
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ICMP unreachable are sent
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds (using 30000)
ND advertised reachable time is 0 (unspecified)
ND advertised retransmit interval is 0 (unspecified)
ND router advertisements are sent every 200 seconds
ND router advertisements live for 1800 seconds
ND advertised default router preference is Medium
Hosts use DHCP to obtain routable addresses.
RT2-DHCPv6#
```

Figura 24 - Demonstração da atribuição de endereço IPv6 para o cliente DHCPv6 *Stateful*
Fonte: Autoria própria

Os comandos que foram executados do lado do cliente DHCPv6 *Stateful* (RT4-STATEFUL) foram os seguintes:

sh ipv6 int fa0/0 → Descrição da interface que está ligado ao *router* Servidor. Aqui verifica-se nas linhas assinaladas a **vermelho** que o router está a obter endereço IPv6 pelo prefixo que foi definido pela *pool* IPv6POOL-STATEFUL. Mediante isto a norma EUI-64 aqui não se aplica.

```
RT4-STATEFUL#sh ipv6 int fa0/0
FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C803:27FF:FE00:8
No Virtual link-local address(es):
Description: DHCPv6 STATEFUL CLIENT
Global unicast address(es):
  2001:DB8:17:8:70B3:1AD4:1174:A5A4, subnet is 2001:DB8:17:8:70B3:1AD4:1174:A5A4/128
Joined group address(es):
  FE02::1
  FE02::2
  FE02::1:FE00:8
  FE02::1:FF74:A5A4
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ICMP unreachable are sent
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds (using 30000)
ND advertised reachable time is 0 (unspecified)
ND advertised retransmit interval is 0 (unspecified)
ND router advertisements are sent every 200 seconds
ND router advertisements live for 1800 seconds
ND advertised default router preference is Medium
Hosts use stateless autoconfig for addresses.
RT4-STATEFUL#
```

Figura 25 - Imagem a demonstrar o endereço IPv6 recebido na interface do *router* cliente *Stateful*
Fonte: Autoria própria

sh ipv6 dhcp int fa0/0 → Mostra os parâmetros que são recebidos por dhcp em IPv6. Como se pode observar na figura 26, na linha a **vermelho** é fornecido ao cliente o respectivo IP mais o DNS.

```
RT1-STATEFUL#sh ipv6 dhcp int fa0/0
FastEthernet0/0 is in client mode
Prefix State is IDLE
Address State is OPEN
Renew for address will be sent in 09:03:57
List of known servers:
Reachable via address: FE80::C002:2EFF:FE2B::0
DUID: 00030001CA02E28000B
Preference: 0
Configuration parameters:
IA NA: IA ID 0x00030001, T1 43200, T2 69120
Address: 2001:DB8:17:8:70B3:1AD4:1174:45A9/128
preferred lifetime INFINITY, valid lifetime INFINITY
DNS server: 2001:DB8:17:8::10
Domain name: statec.local
Information refresh time: 0
Prefix Rapid-Commit: disabled
Address Rapid-Commit: disabled
RT1-STATEFUL#
```

Figura 26 - Parâmetros recebidos no *router* cliente *Stateful* do servidor de DHCPv6 *Stateful*
Fonte: Autoria própria

3.2.5 Demonstração de testes de conectividade em IPv6

Aqui é demonstrado testes de conectividade em IPv6 entre os dois *endpoints* do cenário em questão. Será verificada a conectividade entre o ambiente de rede *stateless* e o ambiente de rede *stateful*.

ping ipv6 → Recorre ao protocolo ICMPv6 enviando um pacote específico para a máquina de destino e espera pela resposta.

traceroute ipv6 → Recorre ao protocolo ICMPv6 e permite verificar o caminho feito pelos pacotes desde a sua origem até ao equipamento de destino.

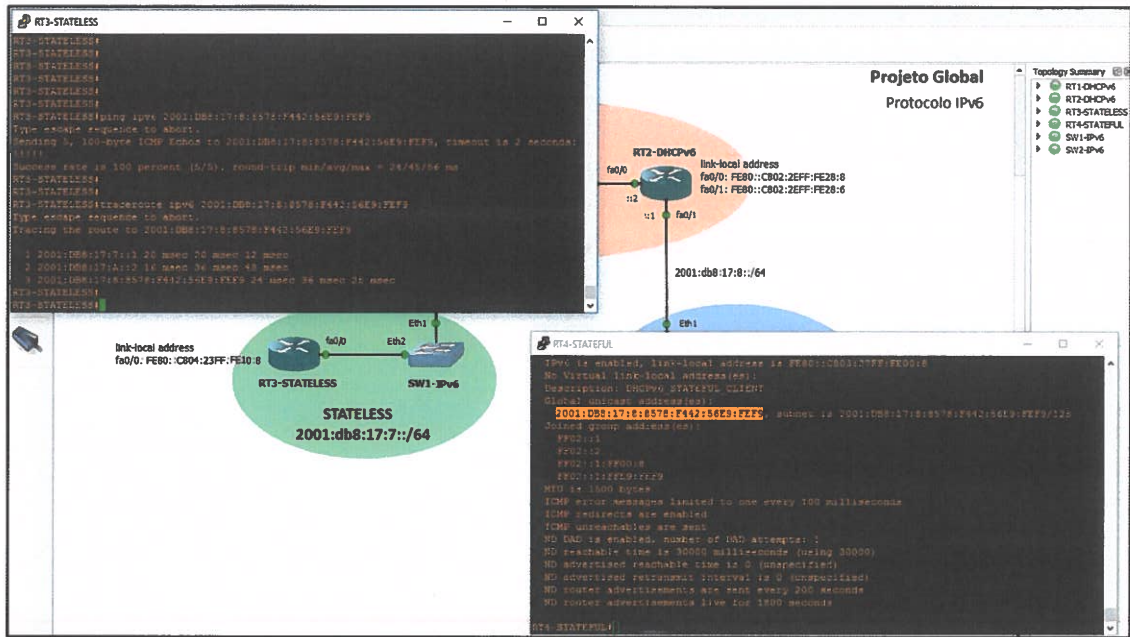


Figura 27 - Testes de conectividade entre o *router* cliente *Stateless* e o *router* cliente *Stateful*
 Fonte: Autoria Própria

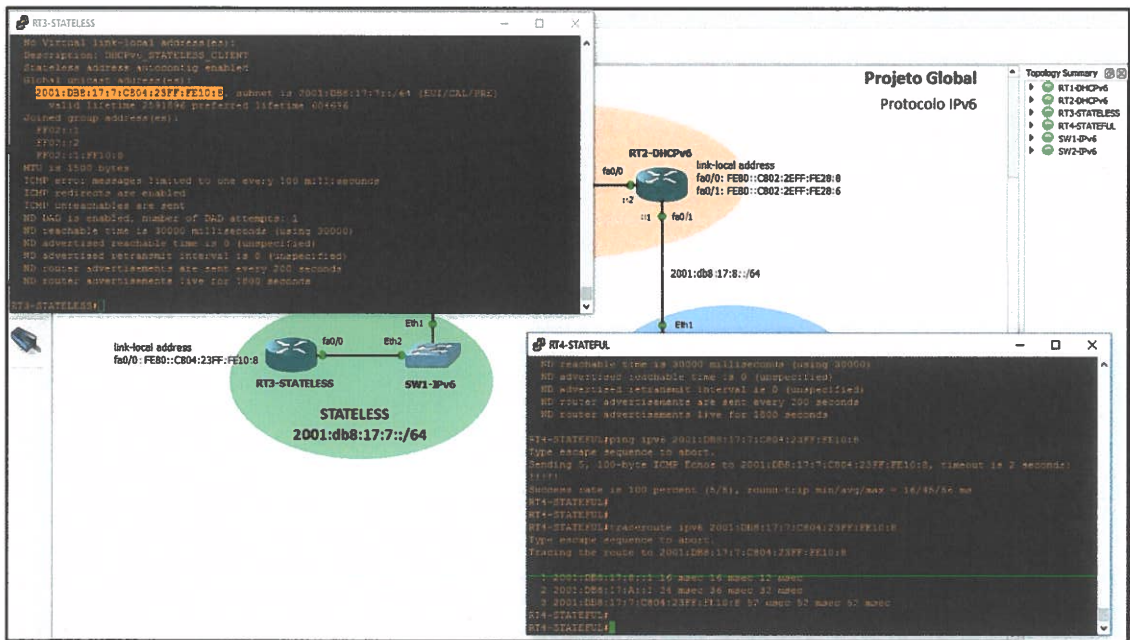


Figura 28 - Testes de conectividade entre o *router* cliente *Stateful* e o *router* cliente *Stateless*
 Fonte: Autoria Própria

Conclusão

Este projeto teve como objetivo evidenciar a importância do protocolo IPv6 e a sua adoção por parte dos utilizadores da internet, frisando os principais problemas existentes do protocolo IPv4, nomeadamente a limitação de endereços. Mediante a investigação que foi feita, verifica-se que o protocolo IPv6 é totalmente diferente do protocolo IPv4. O protocolo IPv6 tem várias características, para além do largo espaço de endereçamento, a organização hierárquica de endereços torna uma maior flexibilidade e eficiência nas tabelas de *routing*. Começa claramente a existir a necessidade de os utilizadores adotarem o protocolo IPv6 num futuro próximo.

Verificou a nível prático os protocolos associados ao IPv6, nomeadamente o DHCPv6 e o ICMPv6. Ficaram evidentes as notórias vantagens que este protocolo traz para o mundo das comunicações, tanto a nível doméstico, como empresarial. O aumento de endereços disponíveis, a autoconfiguração de endereços, a deteção de endereços duplicados, são características do protocolo que são adaptadas à realidade atual, uma vez que, atualmente qualquer equipamento pode estar ligado à internet.

Nota-se que a implementação de IPv6 não obriga à descontinuação do IPv4. A transição deverá ser de forma gradual, nomeadamente em sistema de *dual-stack*, ou seja, protocolo IPv4 e IPv6 a funcionarem em simultâneo.

Num futuro próximo, deverá haver um esforço por parte das organizações, empresas e operadores de telecomunicações, de incentivarem e motivarem equipas técnicas a aprender sobre o respetivo protocolo e colocarem o mesmo em prática. Deverá haver alguma sensibilização pelos responsáveis pela gestão de TI, uma vez que o protocolo tem uma mentalidade diferente e mais cedo ou mais tarde terá que ser implementado devido ao avanço tecnológico da *internet* que se tem sentido nos últimos anos.

Bibliografia

- Ali, A. N. (2002). Comparison study between IPV4 & IPV6. Em *Comparison study between IPV4 & IPV6* (pp. 314-317). Philadelphia: IJCSI International Journal of Computer Science Issues.
- APNIC. (s.d.). *About APNIC: apnic*. Obtido em 13 de 01 de 2017, de APNIC: <https://www.apnic.net>
- Brito, S. H. (2013). *labcisco.blogspot.pt*. (S. H. Brito, Editor) Obtido de [labcisco.blogspot.pt](http://labcisco.blogspot.pt/2013/05/autoconfiguracao-de-enderecos-ipv6-slaac.html): <http://labcisco.blogspot.pt/2013/05/autoconfiguracao-de-enderecos-ipv6-slaac.html>
- Cisco. (2002). The ABCs of IP Version 6. *The ABCs of IP Version 6 – Cisco IOS Learning Services . Understanding the Essentials Series*.
- Cisco. (09 de 01 de 2017). *6lab - The place to monitor IPv6 adoption*. Obtido em 09 de 01 de 2017, de <http://6lab.cisco.com/stats/cible.php?country=world&option=users>.
- Cisco. (09 de 01 de 2017). *6lab - The place to monitor IPv6 adoption*. Obtido em 09 de 01 de 2017, de <http://6lab.cisco.com/stats/cible.php?country=PT&option=all>.
- Cisco Systems, Inc. (2010). Deploying IPv6 in Unified Communications Networks with Cisco Unified Communications Manager 8.0(x). Em I. Cisco Systems, *Deploying IPv6 in Unified Communications Networks with Cisco Unified Communications Manager 8.0(x)* (p. 144). Obtido de http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/voice_ip_comm/cucm/srnd/ipv6/ipv6srnd.pdf
- Davies, J. (2012). *Understanding IPv6* (3th ed.). O'Reilly Media, Inc. Obtido em 25 de 01 de 2017
- Google. (25 de 12 de 2016). *Google*. Obtido de Google IPv6 Statistics: www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html
- Graziani, R. (2012). *IPv6 Fundamentals: A Straightforward Approach to Understanding IPv6*. Cisco Press.
- Hagen, S. (2014). *IPv6 Essencials* (Third Edition ed.). (M. L. Blanchette, Ed.) O'Reilly Media.
- IANA. (s.d.). *Number Resources: internetassignednumbersauthority*. Obtido em 13 de 01 de 2017, de [internetassignednumbersauthority](http://www.internetassignednumbersauthority.org): <http://www.internetassignednumbersauthority.org>
- ipv6friday.org. (12 de 2011). *ipv6friday.org*. Obtido de <http://ipv6friday.org/blog/2011/12/dhcpv6/>
- J. Bound, B. V. (07 de 2003). [RFC 3315] Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6.
- Kawashima, K. &. (August de 2010). *IPv6 Text Representation (RFC5952)*. Internet Engineering Task Force (IETF). Obtido em 01-12 de January de 2017, de <https://tools.ietf.org/html/rfc5952#page-10>
- Reddy, P., Ali, K., Byrapuneni, S., & Ravi, T. (12 de 2012). *Importance and Benefits of IPV6 over IPV4: A Study*. Obtido de <http://www.ijsrc.org/research-paper-1212/ijsrc-p1288.pdf>.

- RIPE NCC. (04 de 2014). RIPE NCC. *IPv6 for LIRs*. Obtido em 19 de 01 de 2017, de RIPE Network Coordination Center: <https://www.ripe.net/support/training/material/IPv6-for-LIRs-Training-Course/IPv6-for-LIRs-Training-Slides.pdf>
- RIPE NCC. (04 de 2016). RIPE NCC. *Basic IPv6 Training Course*. Obtido de RIPE NCC: <https://www.ripe.net/support/training/material/basic-ipv6-training-course/Basic-IPv6-Training-Slides.pdf>
- Séneca, H. (04 de 01 de 2016). *Exame Informática*. Obtido de exameinformatica.sapo.pt: http://exameinformatica.sapo.pt/noticias/internet/2016-01-04-Portugal-e-o-quarto-pais-com-maior-uso-de-IPv6?utm_source=newsletter&utm_medium=mail&utm_campaign=newsletter&utm_content=2016-01-04
- Stretch, J. (28 de 08 de 2008). *packetlife.net*. Obtido em 29 de 01 de 2017, de packetlife.net: <http://packetlife.net/blog/2008/aug/28/ipv6-neighbor-discovery/>
- Veiga, P. (08 de 06 de 2011). *Computerworld*. Obtido de [computerworld](http://www.computerworld.com.pt): <http://www.computerworld.com.pt/2011/06/08/o-world-ipv6-day/>
- Véstias, M. (2009). *Redes Cisco para Profissionais* (6 ed.). FCA.

Anexos

Configuração do *router* RT1-DHCPv6

```
!  
!  
! Last configuration change at 17:50:19 UTC Mon Jun 26 2017  
upgrade fpd auto  
version 15.2  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
service password-encryption  
!  
hostname RT1-DHCPv6  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
!  
no aaa new-model  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
!  
!  
!  
no ip domain lookup  
ip domain name istec.local  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
ipv6 dhcp pool IPv6POOL-STATELESS  
  dns-server 2001:DB8:17:8::10  
  domain-name istec.local  
!  
!  
multilink bundle-name authenticated  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
redundancy
```

```

!
!
ip tcp synwait-time 5
!
!
!
!
!
!
!
!
!
!
interface FastEthernet0/0
description ** Interliga RT2-DHCPv6 - int fa0/0 **
no ip address
duplex full
speed auto
ipv6 address 2001:DB8:17:A::1/64
ipv6 enable
ipv6 nd ra suppress all
!
interface FastEthernet0/1
description ** Ligacao SW1-IPv6 - Eth1 **
no ip address
duplex full
speed auto
ipv6 address 2001:DB8:17:7::1/64
ipv6 enable
ipv6 nd other-config-flag
ipv6 dhcp server IPV6POOL-STATELESS
!
router bgp 1000
bgp router-id 1.1.1.1
bgp log-neighbor-changes
no bgp default ipv4-unicast
neighbor 2001:DB8:17:A::2 remote-as 1000
!
address-family ipv4
exit-address-family
!
address-family ipv6
network 2001:DB8:17:7::/64
neighbor 2001:DB8:17:A::2 activate
exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
no ip http server

```

```
no ip http secure-server
!  
!  
!  
no cdp log mismatch duplex
!  
!  
!  
control-plane
!  
!  
!  
mgcp profile default
!  
!  
!  
gatekeeper
shutdown
!  
!  
line con 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line vty 0 4
login local
transport input ssh
!  
!  
end
```

Configuração do *router* RT2-DHCPv6

```
!  
!  
! Last configuration change at 17:53:43 UTC Mon Jun 26 2017  
upgrade fpd auto  
version 15.2  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
service password-encryption  
!  
hostname RT2-DHCPv6  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
!  
no aaa new-model  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
!  
!  
!  
no ip domain lookup  
ip domain name istec.local  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
ipv6 dhcp pool IPv6POOL-STATEFUL  
address prefix 2001:DB8:17:8::/64 lifetime infinite infinite  
dns-server 2001:DB8:17:8::10  
domain-name istec.local  
!  
!  
multilink bundle-name authenticated  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!
```

```
redundancy
!
!
ip tcp synwait-time 5
ip ssh version 2
!
!
!
!
!
!
!
!
!
!
interface FastEthernet0/0
description ** Interliga RT1-DHCPv6 - int fa0/0 **
no ip address
duplex full
speed auto
ipv6 address 2001:DB8:17:A::2/64
ipv6 enable
ipv6 nd ra suppress all
!
interface FastEthernet0/1
description ** Ligacao SW2-IPv6 - Eth1 **
no ip address
duplex full
speed auto
ipv6 address 2001:DB8:17:8::1/64
ipv6 enable
ipv6 nd prefix 2001:DB8:17:8::/64 14400 14400 no-autoconfig
ipv6 nd managed-config-flag
ipv6 dhcp server IPV6POOL-STATEFUL
!
router bgp 1000
bgp router-id 2.2.2.2
bgp log-neighbor-changes
no bgp default ipv4-unicast
neighbor 2001:DB8:17:A::1 remote-as 1000
!
address-family ipv4
exit-address-family
!
address-family ipv6
network 2001:DB8:17:8::/64
neighbor 2001:DB8:17:A::1 activate
exit-address-family
```

```
!  
ip forward-protocol nd  
no ip http server  
no ip http secure-server  
!  
!  
no cdp log mismatch duplex  
!  
!  
control-plane  
!  
!  
mgcp profile default  
!  
!  
gatekeeper  
shutdown  
!  
!  
line con 0  
exec-timeout 0 0  
privilege level 15  
logging synchronous  
stopbits 1  
line aux 0  
exec-timeout 0 0  
privilege level 15  
logging synchronous  
stopbits 1  
line vty 0 4  
login local  
transport input ssh  
!  
!  
end
```

Configuração do *router* RT3-Stateless

```
!  
!  
! Last configuration change at 17:55:25 UTC Mon Jun 26 2017  
upgrade fpd auto  
version 15.2  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
service password-encryption  
!  
hostname RT3-STATELESS  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
!  
no aaa new-model  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
!  
!  
!  
ip domain list istec.local  
no ip domain lookup  
ip domain name istec.local  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
multilink bundle-name authenticated  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
redundancy  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5
```



```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
interface FastEthernet0/0  
description DHCPv6_STATELESS_CLIENT  
no ip address  
duplex full  
speed auto  
ipv6 address autoconfig  
ipv6 enable  
!  
interface FastEthernet0/1  
no ip address  
shutdown  
duplex auto  
speed auto  
!  
ip forward-protocol nd  
no ip http server  
no ip http secure-server  
!  
!  
!  
no cdp log mismatch duplex  
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/0 2001:DB8:17:7::1  
!  
!  
control-plane  
!  
!  
mgcp profile default  
!  
!  
gatekeeper  
shutdown  
!  
!  
line con 0
```

```
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line vty 0 4
login
transport input ssh
!
!
end
```

Configuração do *router* RT4-Stateful

```
!  
!  
! Last configuration change at 17:55:55 UTC Mon Jun 26 2017  
upgrade fpd auto  
version 15.2  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
service password-encryption  
!  
hostname RT4-STATEFUL  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
!  
no aaa new-model  
no ip icmp rate-limit unreachable  
!  
!  
!  
!  
!  
ip domain list istec.local  
no ip domain lookup  
ip domain name istec.local  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
multilink bundle-name authenticated  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
redundancy  
!  
!  
ip tcp synwait-time 5
```

```
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
!  
interface FastEthernet0/0  
description DHCPv6_STATEFUL_CLIENT  
no ip address  
duplex full  
speed auto  
ipv6 address dhcp  
ipv6 enable  
!  
interface FastEthernet0/1  
no ip address  
shutdown  
duplex auto  
speed auto  
!  
ip forward-protocol nd  
no ip http server  
no ip http secure-server  
!  
!  
!  
no cdp log mismatch duplex  
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/0 2001:DB8:17:8::1  
!  
!  
!  
control-plane  
!  
!  
!  
mgcp profile default  
!  
!  
!  
gatekeeper  
shutdown  
!  
!  
line con 0
```

```
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line vty 0 4
login
transport input ssh
!
!
end
```

