

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES – CAMPUS SÃO
JOSÉ

PROTOCOLO 6LoWPAN

Allex Magno Andrade

Disciplina: Comunicações Sem Fio

Professor: Mário Noronha Neto

São José

2019

SUMÁRIO

1

INTRODUÇÃO

2

INTERNET DAS COISAS

3

PROTOCOLO 6LoWPAN

4

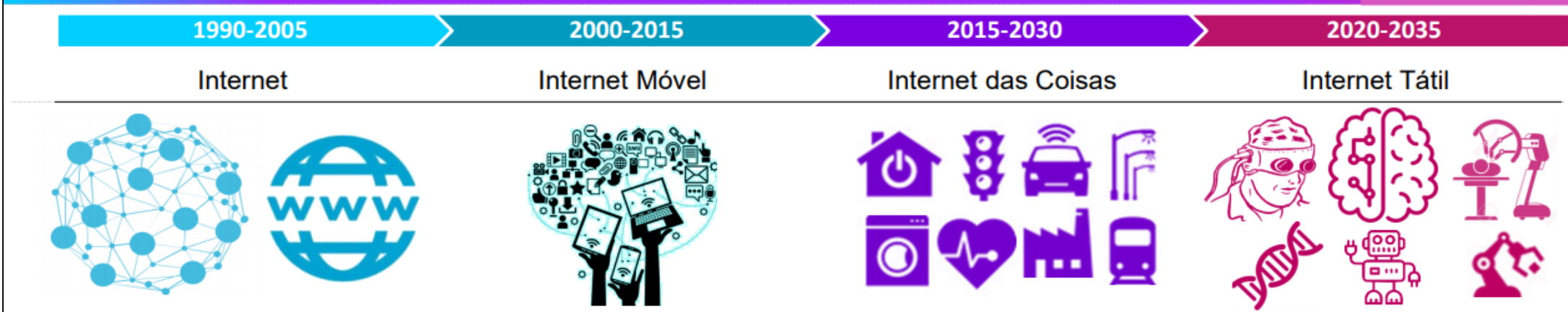
CONCLUSÕES

5

REFERÊNCIAS

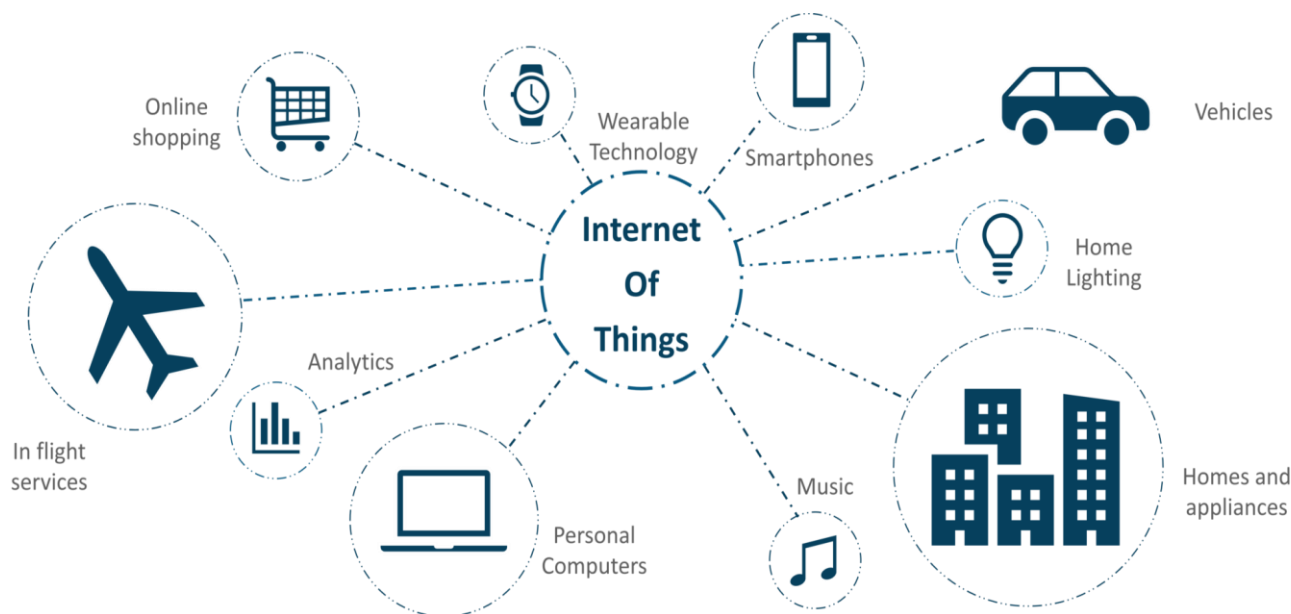


CENÁRIOS DA INDÚSTRIA DE TELECOMUNICAÇÕES: ONDAS DE EVOLUÇÃO



Internet of Things - IoT

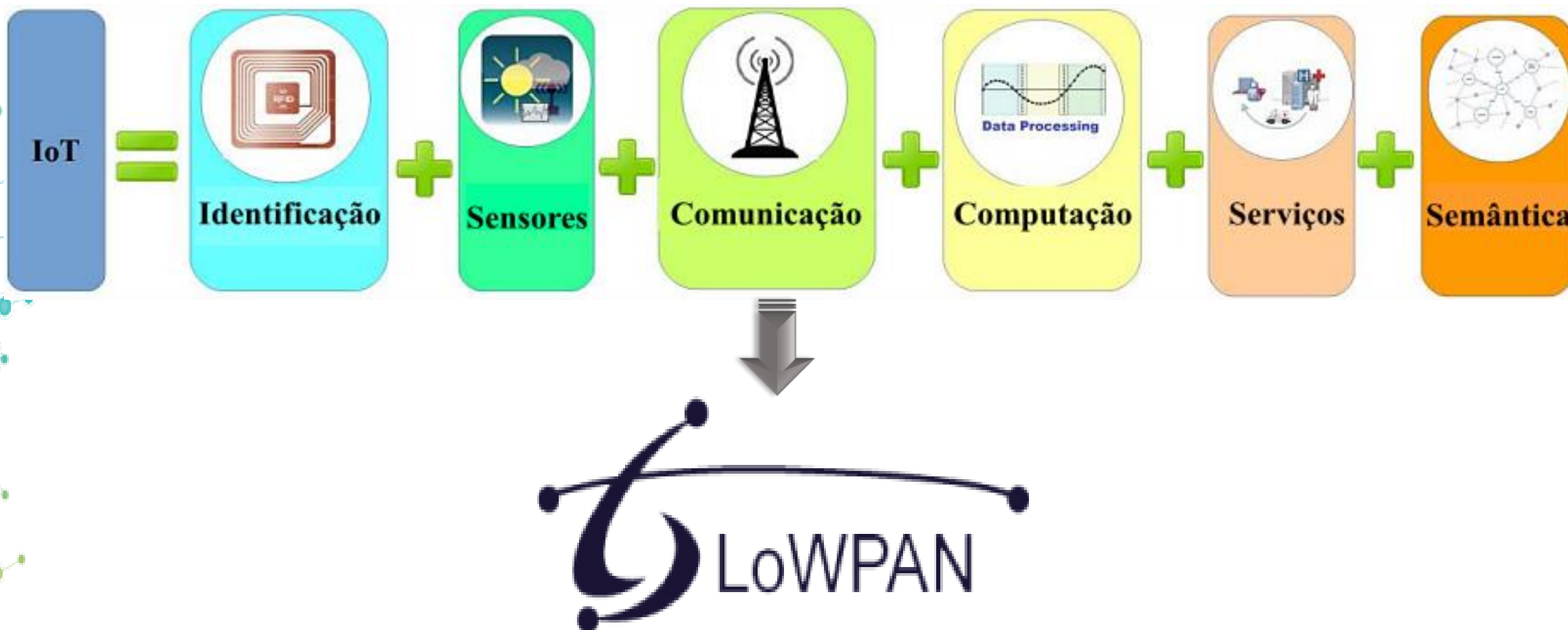
Internet das
Coisas, Internet
de Tudo ou
Internet
Industrial



**International
Telecommunication Union (ITU)**

"uma infraestrutura global para a Sociedade da Informação, permitindo serviços avançados interconectando coisas (físicas e virtuais) com base em tecnologias de informação e comunicação interoperáveis existentes e em evolução" (ITU, 2012).

Elementos básicos para implementação da IoT



Arquitetura para IoT

Camada de Aplicação

- Fornece os serviços solicitados pelos clientes.

Camada de Percepção

- Representa os sensores e atuadores físicos da IoT que visam coletar informações.

Camada de Rede

- Transfere os dados produzidos pela camada de percepção para a camada superior.

Camada de Processamento

- Permite que programadores de aplicativos IoT trabalhem com objetos heterogêneos sem considerar uma plataforma específica. Essa camada processa dados recebidos, toma decisões e fornece os serviços necessários.

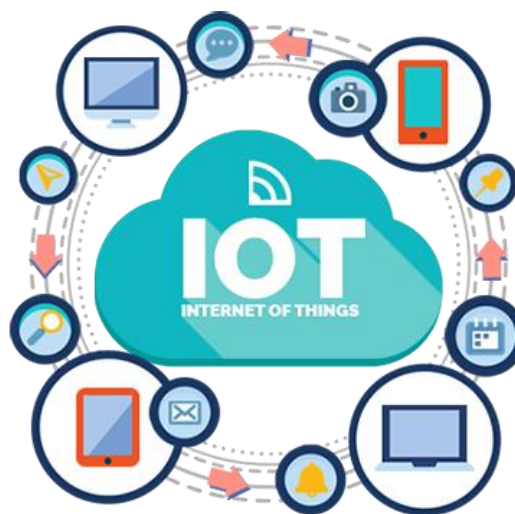
Camada de Negócios

- Gere as atividades e serviços globais do sistema IoT. As responsabilidades desta camada são a construção de um modelo de negócio, gráficos, fluxogramas, etc. Com base nos dados recebidos da camada de aplicação.

O que 6LoWPAN tem a ver com isso? Tudo!



The diagram illustrates the composition of 6LoWPAN. On the left, a stylized antenna icon is followed by the text "LoWPAN". This is followed by an equals sign. To the right of the equals sign is the IEEE 802.15.4 logo (a diamond with a stylized 'i' and 'e') followed by "IEEE" and "802.15.4". This is followed by a plus sign. To the right of the plus sign is the "IPv6" logo, with "ip" in blue and "v6" in red. A large yellow bracket underneath all these elements indicates that they are combined to form 6LoWPAN.



PERSONAL AREA NETWORK (WPAN) – IEEE 802.15.4



Definir um padrão de transmissão de dados para WPANs que tinham como quesitos:



Aplicações

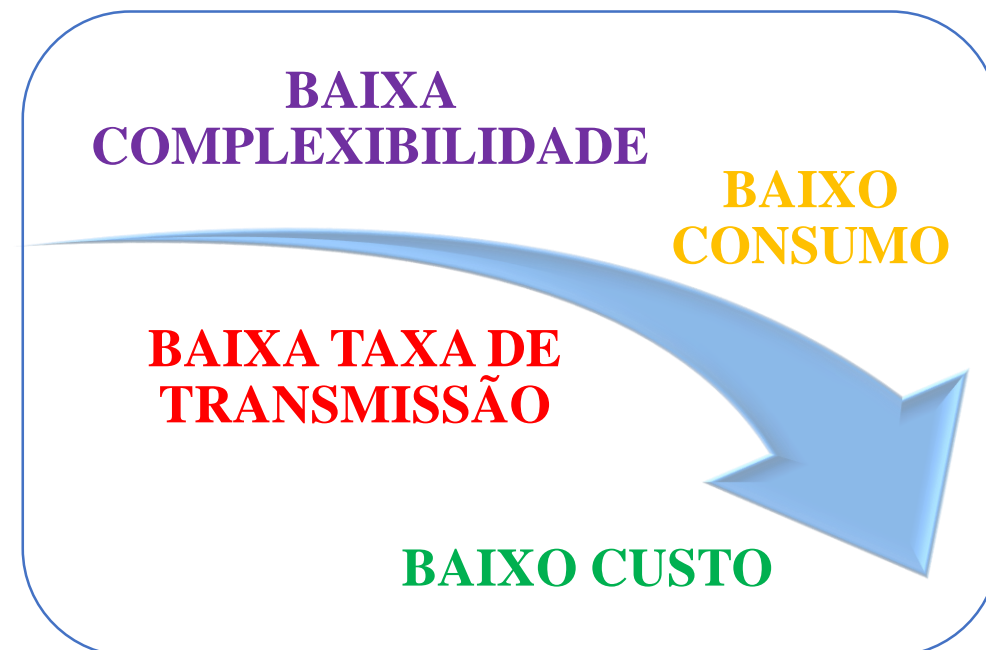


**BAIXA
COMPLEXIBILIDADE**

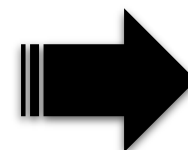
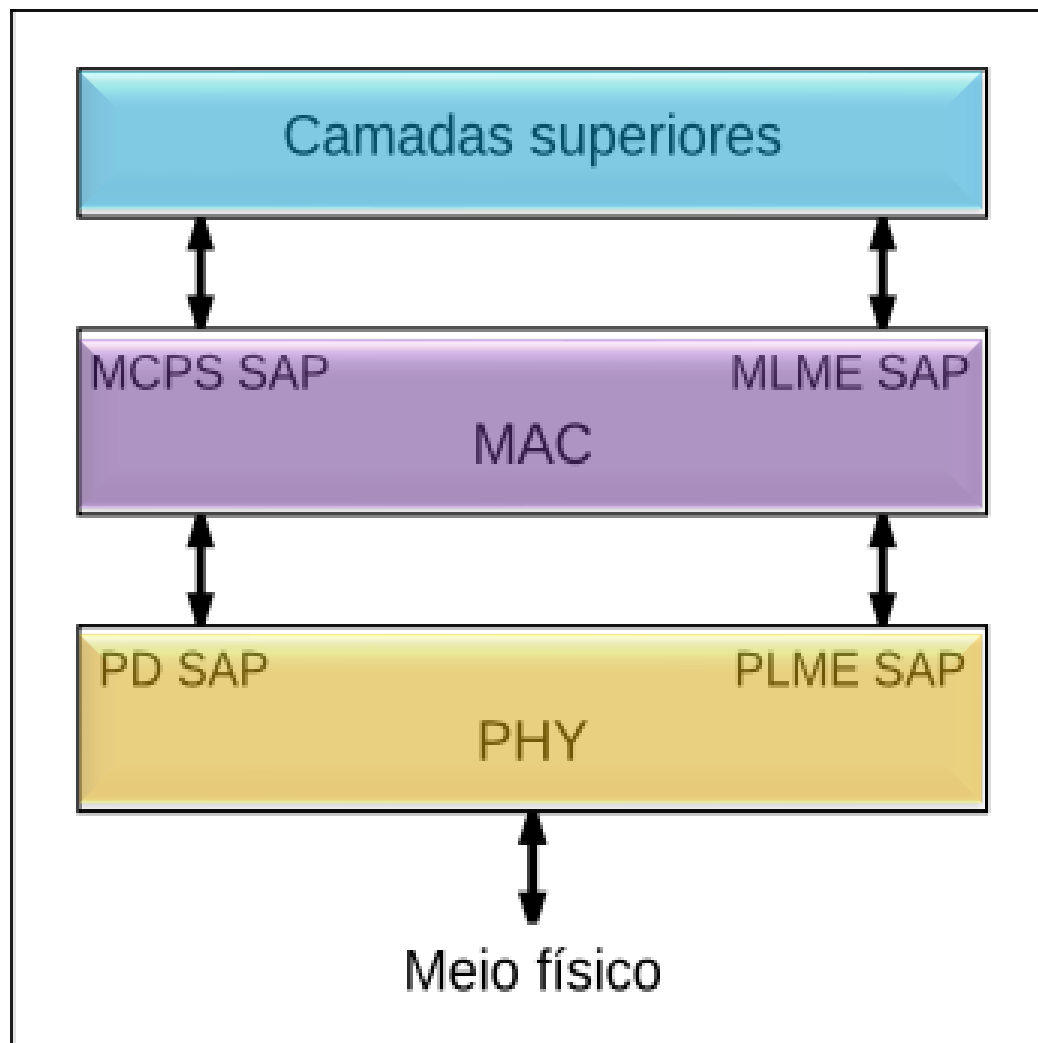
**BAIXO
CONSUMO**

**BAIXA TAXA DE
TRANSMISSÃO**

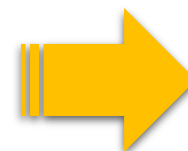
BAIXO CUSTO



PERSONAL AREA NETWORK (WPAN) – IEEE 802.15.4



Permite o acesso ao canal físico para todos os tipos de transferências.



Transceptor de rádio frequência.

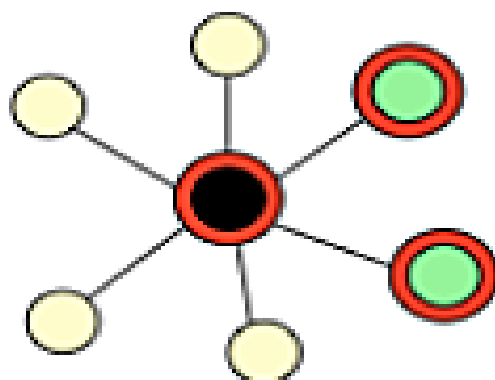
PERSONAL AREA NETWORK (WPAN) – IEEE 802.15.4

Bandas de frequência do padrão IEEE 802.15.4

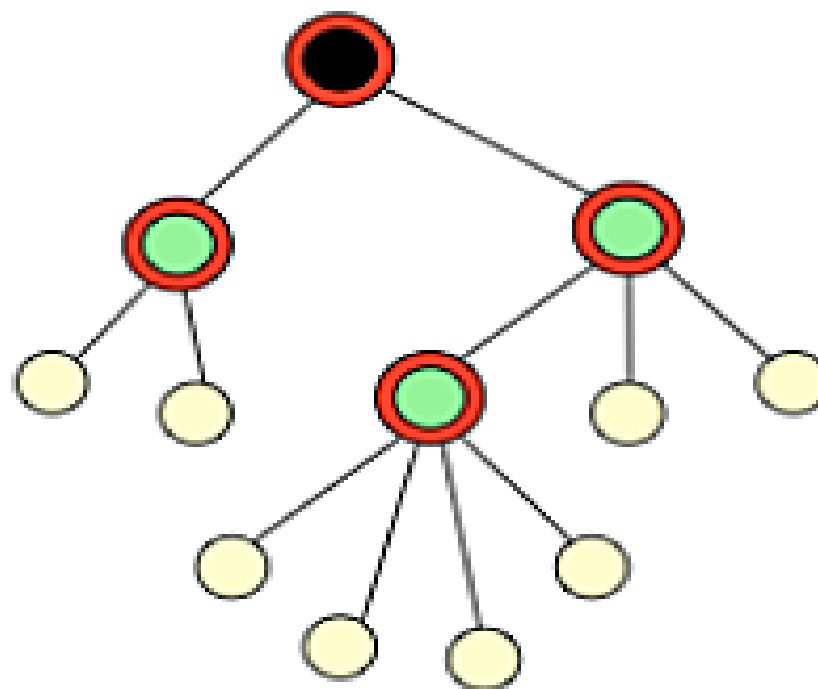
	Faixa de Frequências (MHz)		
	868.3	902-928	2400-2483.5
Número de Canais	1	10	16
Taxa de dados (kbps)	20	40	250
Taxa de Símbolos (ksps)	20	40	62.5
Região Geográfica	Europa	Am. do Norte	Mundial

PERSONAL AREA NETWORK (WPAN) – IEEE 802.15.4

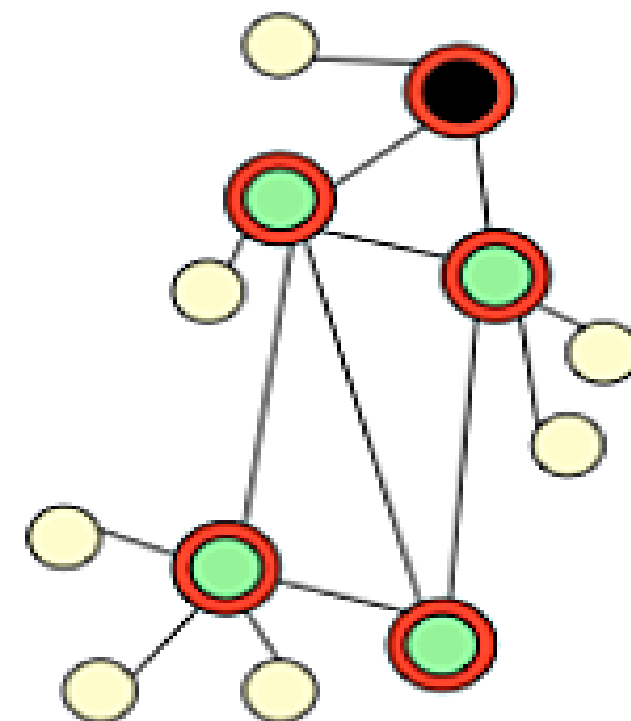
Topologias



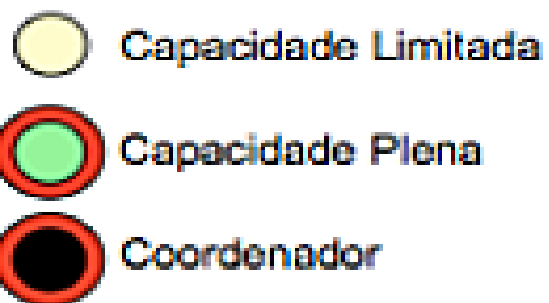
Estrela

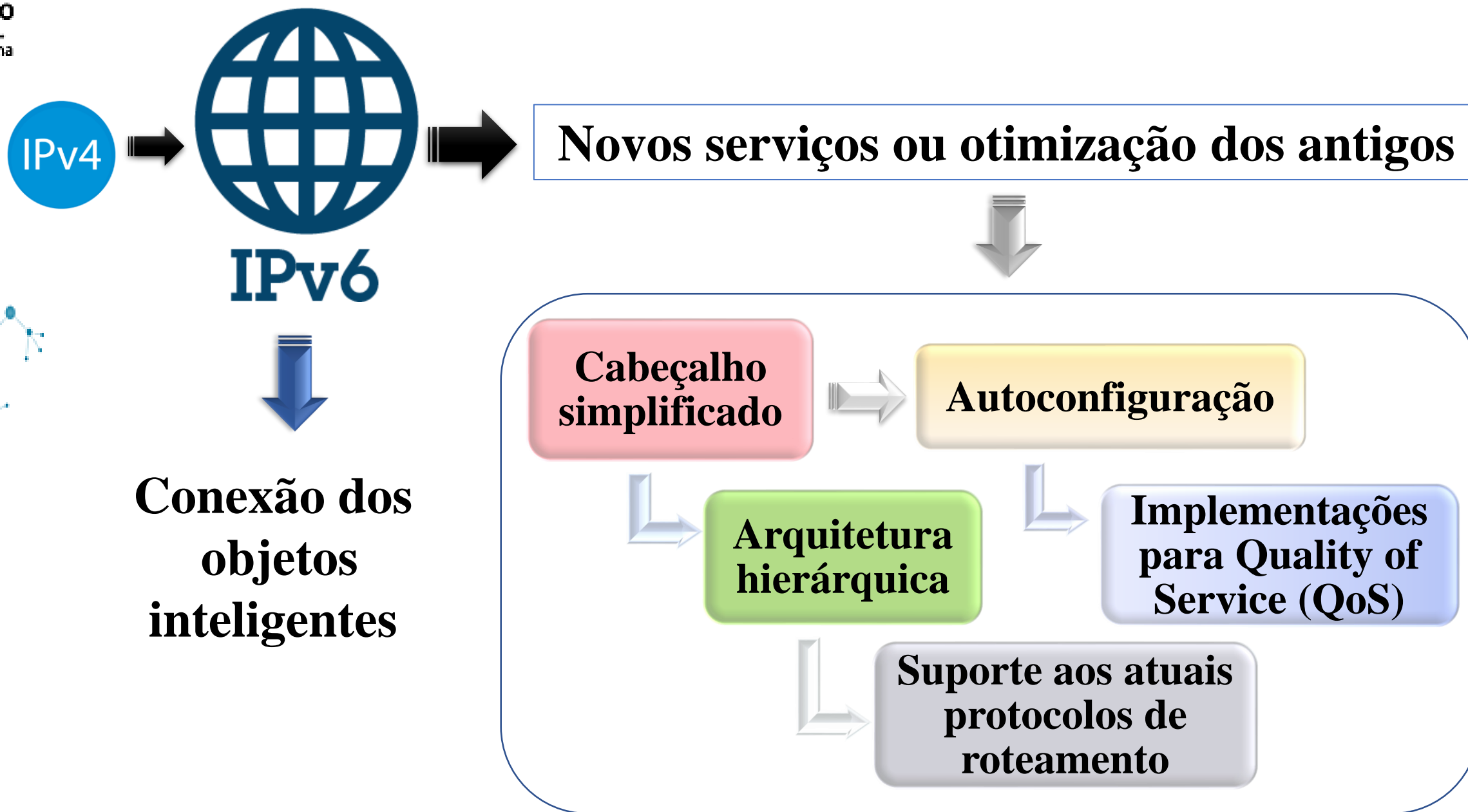


Árvore

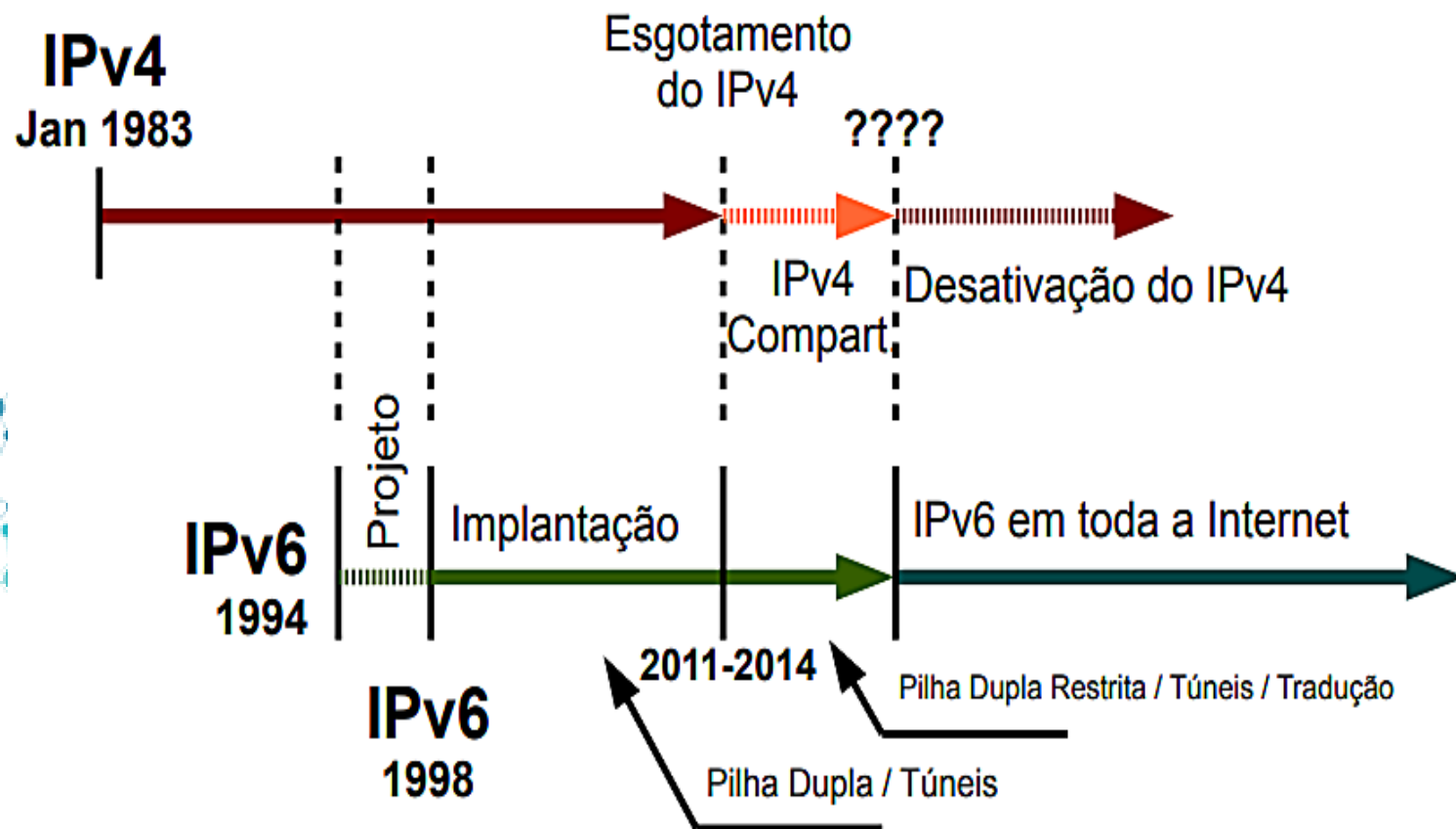


Mesh





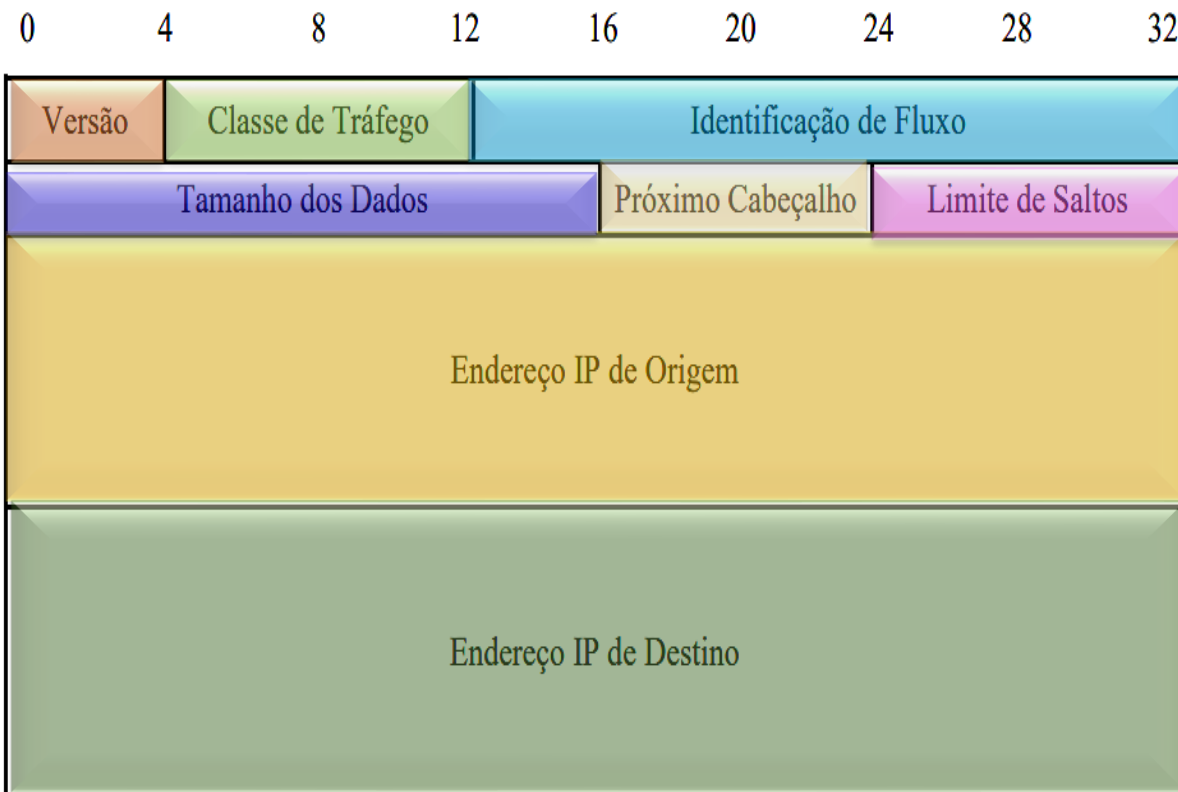
PROTOCOLO IPv6



- **RFC 2460** – Especificações do IPv6, de dezembro 1998.
- **RFC 2461** – Especificações de descoberta de vizinhos IPv6 (Neighbor Discovery).

- **RFC 4291** – Definições da arquitetura de endereçamento IPv6, em fevereiro de 2006.
- **RFC 4443** – Especificações do protocolo de controle de mensagem para Internet IPv6 (Internet Control Message protocol), chamado de ICMPv6.

Cabeçalho IPv6 [RFC 2460]

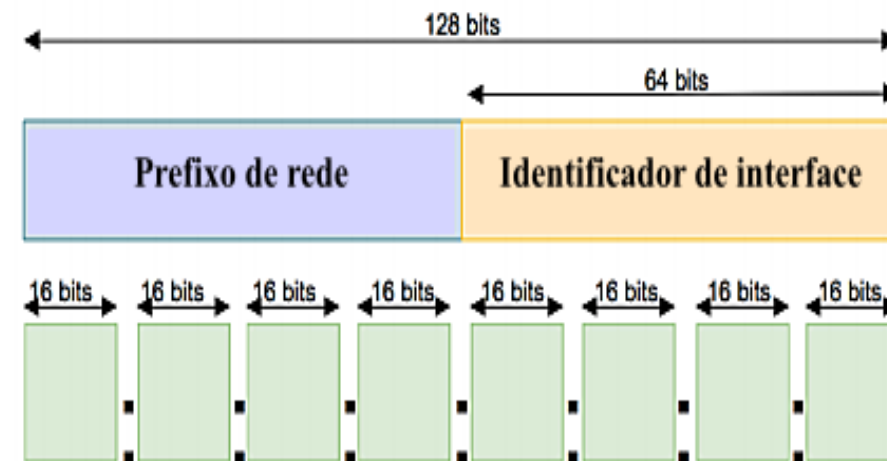


✓ 40 bytes

✓ 128 bits

✓ 8 hexadecatetos representados por hexadecimais e separados por “:”

Endereçamento IPv6



2 0 0 1 : 0DB8:AD1F:25E2:CADE:CAFE:F0CA:84C1

0010 0000 0000 0001



✓ **Arquitetura 6LoWPAN**

✓ **Camada de Adaptação 6LoWPAN**

✓ **Cabeçalho 6LoWPAN**

Compressão 6LoWPAN

Cabeçalhos para Broadcast

Cabeçalho de Encaminhamento Mesh

Cabeçalho 6LoWPAN para Fragmentação

✓ **Principais RFCs**

✓ **Comparação com outras tecnologias**

✓ **Aplicações**

Arquitetura 6LoWPAN



Oferece baixo consumo energético e capacidade de suportar vários dispositivos em uma mesma rede.



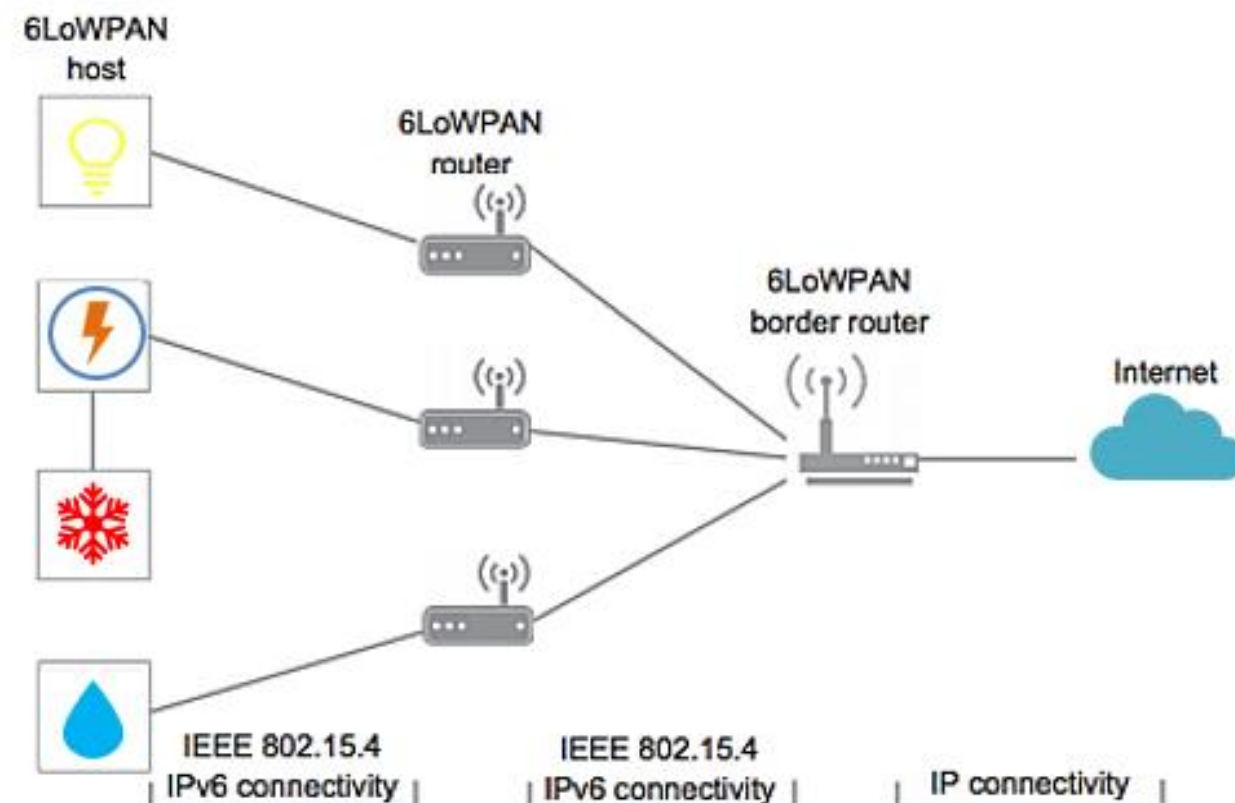
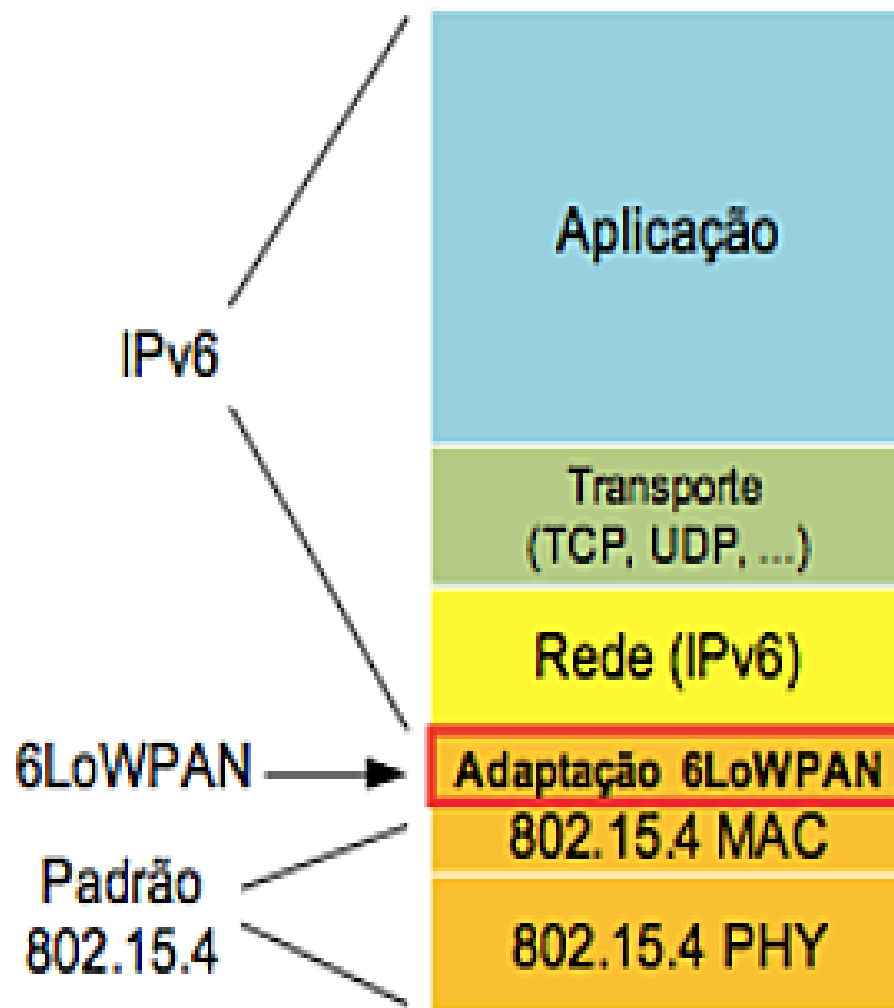
O 6LoWPAN utiliza pacotes IPv6 em redes IEEE 802.15.4



IEEE
802.15.4

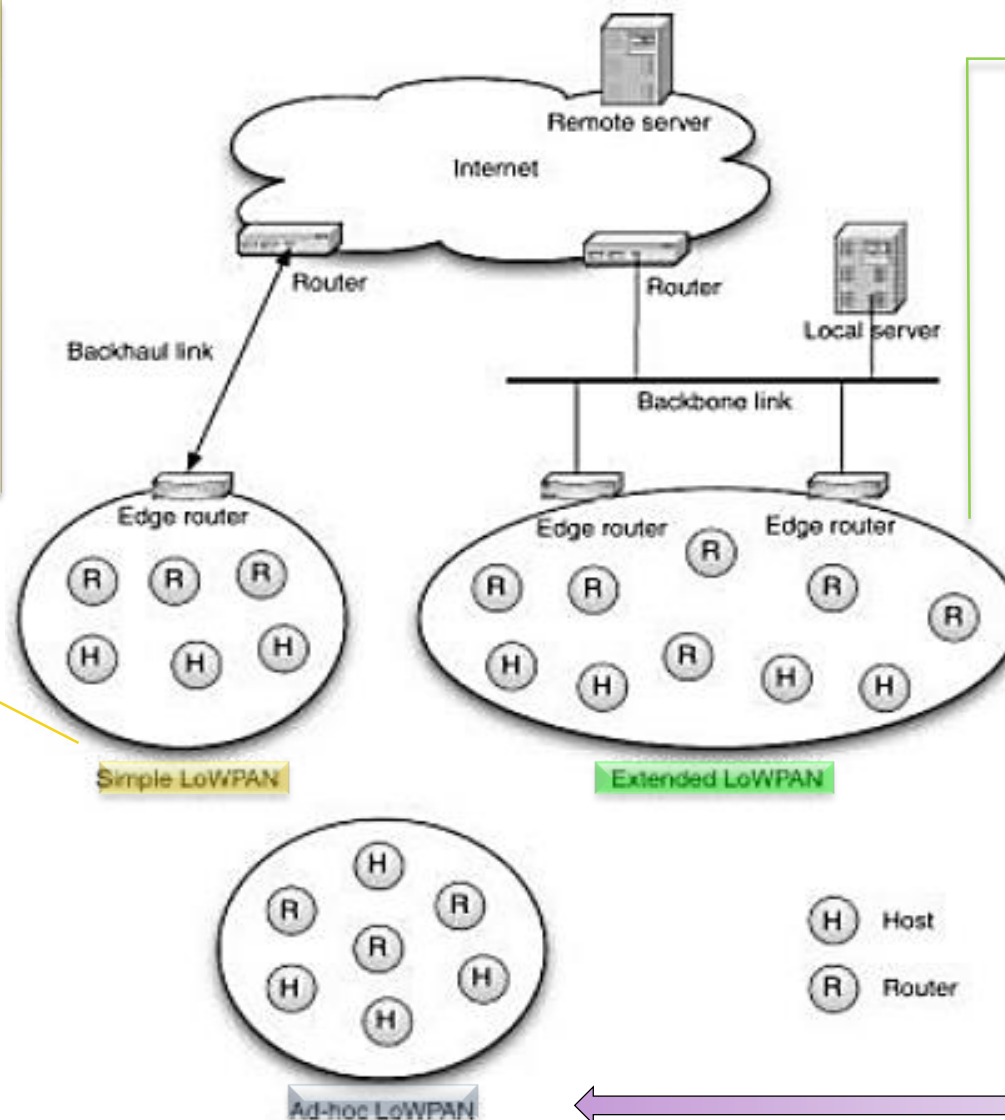


Arquitetura 6LoWPAN



Arquitetura 6LoWPAN

Simple – São redes simples, interligadas a outras redes ou mesmo à Internet através de um coordenador;



Extended – São múltiplas redes com arquiteturas simples interligadas por múltiplos coordenadores e ligadas a um backbone ou mesmo à Internet.

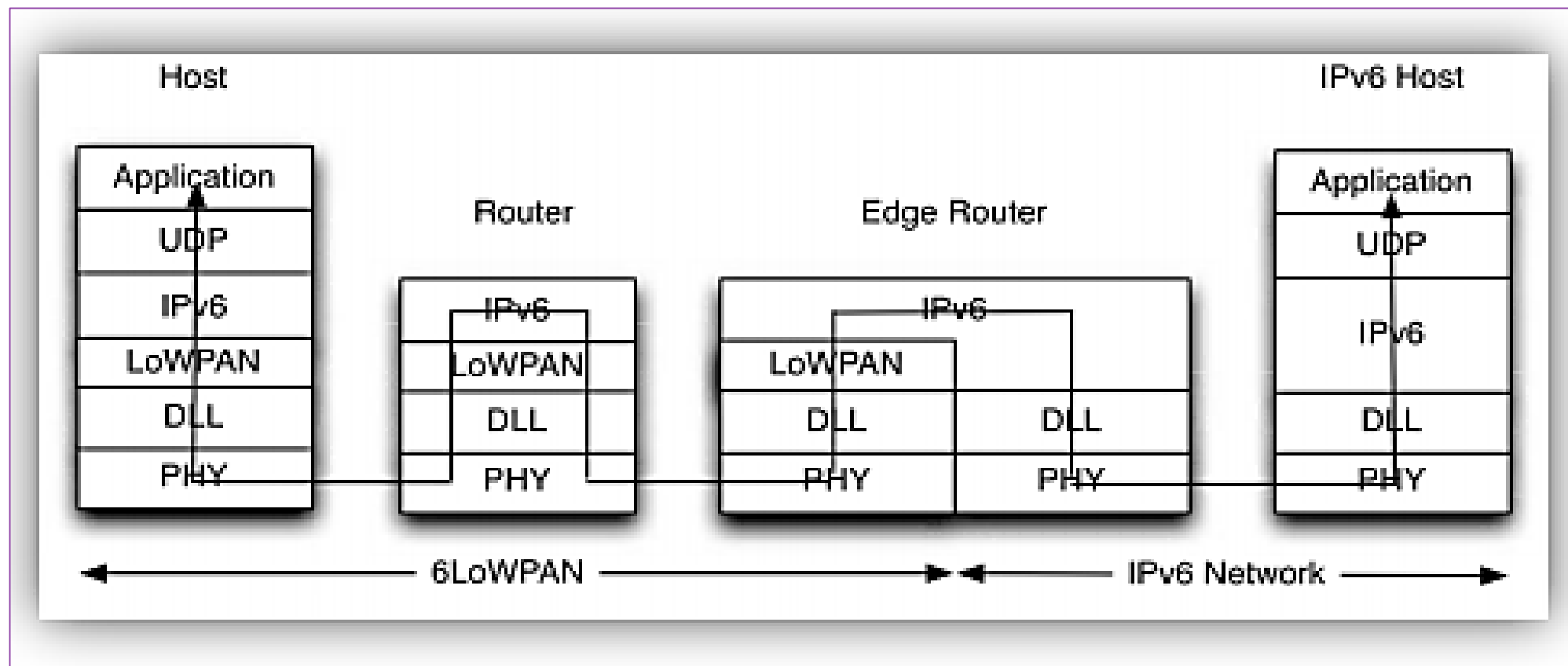
Ad-Hoc – São redes que não estão conectadas à Internet e que funcionam sem qualquer tipo de infraestrutura;

Camada de Adaptação 6LoWPAN

- **Compressão do cabeçalho IPv6**
- **Fragmentação/desfragmentação**

IPv6	
Ethernet MAC	LoWPAN adaptation
	IEEE 802.15.4 MAC
Ethernet PHY	IEEE 802.15.4 PHY

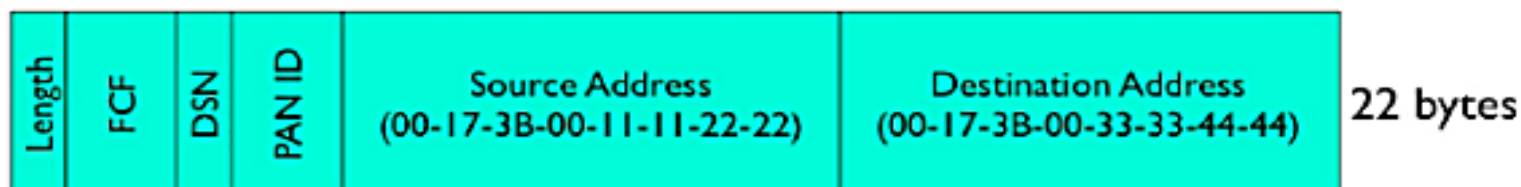
Camada de Adaptação 6LoWPAN



Encaminhamento de uma rede 6LoWPAN para uma rede IPv6

Cabeçalho 6LoWPAN

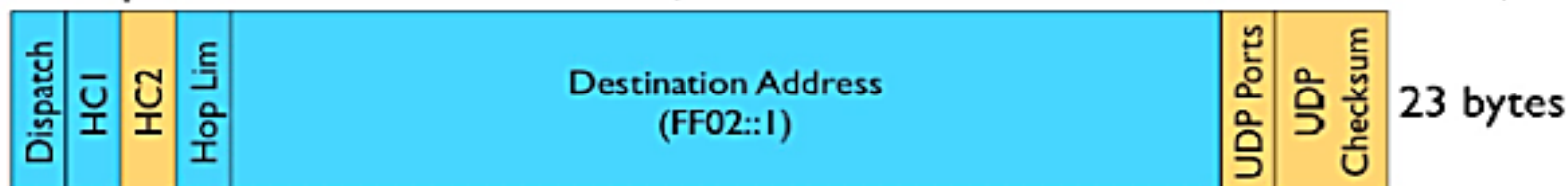
IEEE 802.15.4 Header



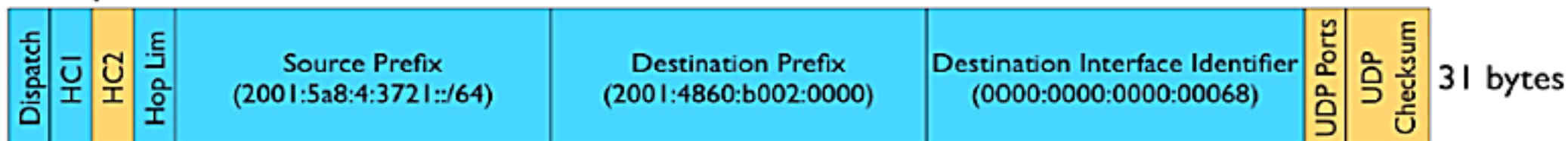
Compressed UDP/IPv6 Header (fe80::0217:3b00:1111:2222 → fe80::0217:3b00:3333:4444)



Compressed UDP/IPv6 Header (fe80::0217:3b00:1111:2222 → ff02::1)



Compressed UDP/IPv6 Header (2001:5a8:4:3721:0217:3b00:1111:2222 → 2001:4860:b002::68)



Cabeçalho 6LoWPAN

IEEE 802.15.4 Header - 22 bytes

Length	FCF	DSN	PAN ID	Source Address (00-17-3B-00-11-11-22-22)	Destination Address (00-17-3B-00-33-33-44-44)	22 bytes
--------	-----	-----	--------	---	--	----------

Compressed UDP/IPv6 Header (fe80::0217:3b00:1111:2222 → fe80::0217:3b00:3333:4444)

Dispatch	IPHC	NHC	UDP Ports	UDP Checksum	6 bytes
----------	------	-----	-----------	-----------------	---------

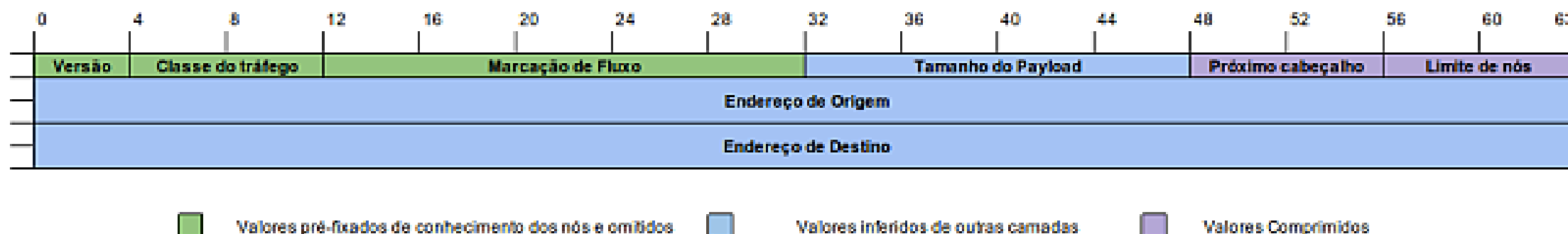
Compressed UDP/IPv6 Header (fe80::0217:3b00:1111:2222 → ff02::1)

Dispatch	IPHC	Mcast Grp	NHC	UDP Ports	Checksum	7 bytes
----------	------	-----------	-----	-----------	----------	---------

Compressed UDP/IPv6 Header (2001:5a8:4:3721:0217:3b00:1111:2222 → 2001:4860:b002::68)

Dispatch	IPHC	CID	Hop Lim	Dst IID (0068)	NHC	UDP Ports	UDP Checksum	10 bytes
----------	------	-----	---------	-------------------	-----	-----------	-----------------	----------

Compressão 6LoWPAN

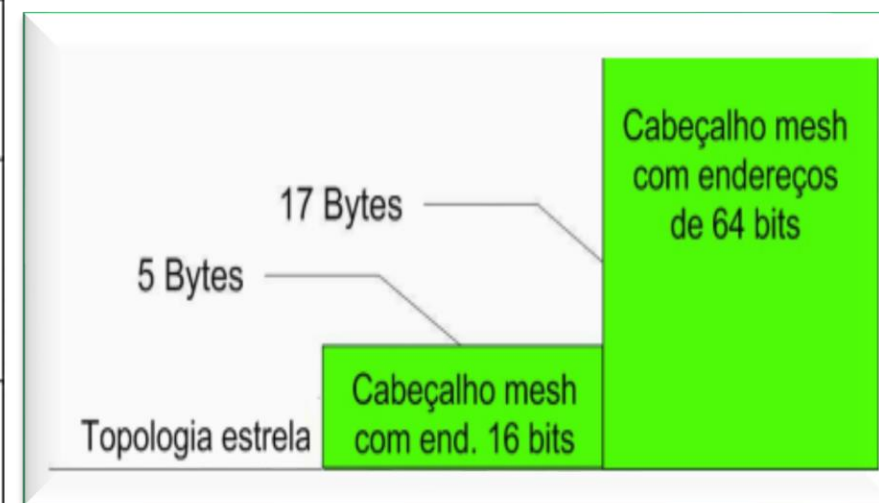


Campo	Tamanho IPv6	Alteração
Versão	4 bits	Versão é sempre 6
Classe do tráfego	8 bits	Classe é sempre 0
Marcação do fluxo	20 bits	Marcação é sempre 0
Tamanho do Payload	16 bits	Inferido da camada de enlace ou do cabeçalho de fragmentação
Tipo do próximo cabeçalho	8 bits	Utiliza LOWPAN_NHC
Limite de saltos	8 bits	Fixo quando não há nós intermediários
Endereço de origem	128 bits	Inferido da camada de enlace
Endereço de destino	128 bits	Inferido da camada de enlace

Cabeçalho de Encaminhamento Mesh

Value	1	0	Orig	Final	Hops left				Hops left	Originador	Destinatário Final
bit	0	1	2	3	4	5	6	7	Optional 8 bits	16 bits or 64 bits	16 bits or 64 bits

bit	valor	Explicação
0	1	Os dois primeiros bits são 1 e 0, respectivamente e servem para identificar que este é um cabeçalho para encaminhamento <i>mesh</i> .
1	0	
2	Originador	Estes bits designam o tipo de endereçamento adotado para o originador do pacote e para o destinatário final do pacote. O código é 0 para endereços de 64 bits e 1 para endereços de 16-bits.
3	Destino Final	
4	Hops left	Este campo de 4 bits refere-se ao número máximo de nós pelos quais o pacote pode passar antes de ser descartado. É decrementado ao passar por cada nó. O valor 1111 é reservado e significa que há um campo de 1 byte para designar a quantidades de saltos permitidos.
...		
7		



Cabeçalho para Broadcast

Tratam de
evitar que as
mensagens
entrem em
loop

Campo	0	1	Lowpan_BC0 <i>dispatch</i>							Número Sequencial						
bits	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2 Bytes

Unicast

6LowPAN Broadcast header

Exemplos de cabeçalho 6LoWPAN

Cabeçalho IPv6 Completo



Uso de compressão para o IP, sem necessidade de roteamento na PAN



Compressão IP e necessidade de roteamento



Compressão IP, roteamento e fragmentação



Compressão IP, roteamento e emulação de broadcast

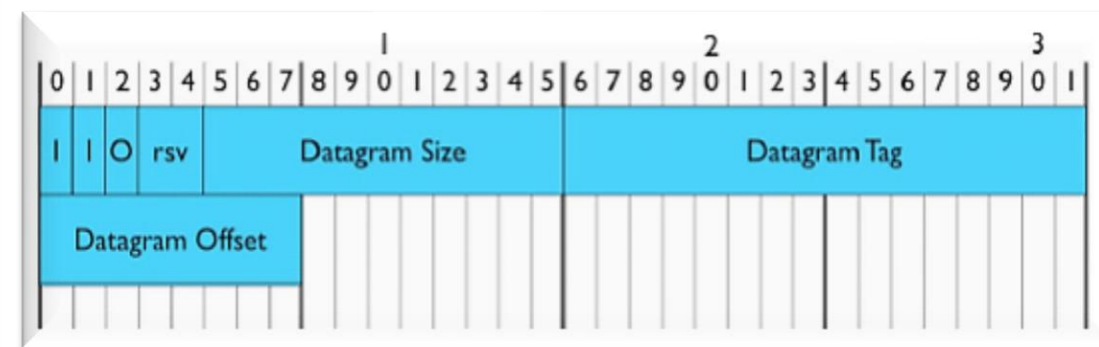


Compressão IP, roteamento, emulação de broadcast e fragmentação



Cabeçalho 6LoWPAN para Fragmentação

bit	valor	Explicação
0	1	Os primeiros 5 bits identificam este cabeçalho como sendo o de fragmentação. O valor 11000 designa o primeiro fragmento de um pacote. Todos os demais fragmentos começam com o valor 11100.
1	1	
2	0/1	
3	0	
4	0	
5 ... 15	Tamanho do Datagrama	Este campo de 11 bits guarda o tamanho do pacote antes da fragmentação. Não há necessidade de ser carregado em todos os fragmentos, pois pode ser calculado na fase de remontagem.
16 ... 31	Tag do Datagrama	Este campo de 16 bits identifica os fragmentos de um mesmo datagrama. Pacotes sucessivos de um mesmo remetente devem ter valores sucessivos.
0 ... 7	Datagram offset	Este campo de 8 bits especifica, em incrementos de 8 octetos, quanto do pacote já foi transmitido até o fragmento atual. Não está presente no primeiro fragmento, já que seu valor é zero.



Principais RFCs

RFC 4019 – Estabelece uma visão geral do 6LoWPAN (declarações de problemas, metas, suposições).

RFC 6550 – Estabelece o protocolo de encaminhamento nas redes de baixa potência e com perdas.

RFC 4944 – Estabelece a forma de transmissão dos pacotes IPv6 nas redes 802.15.4.

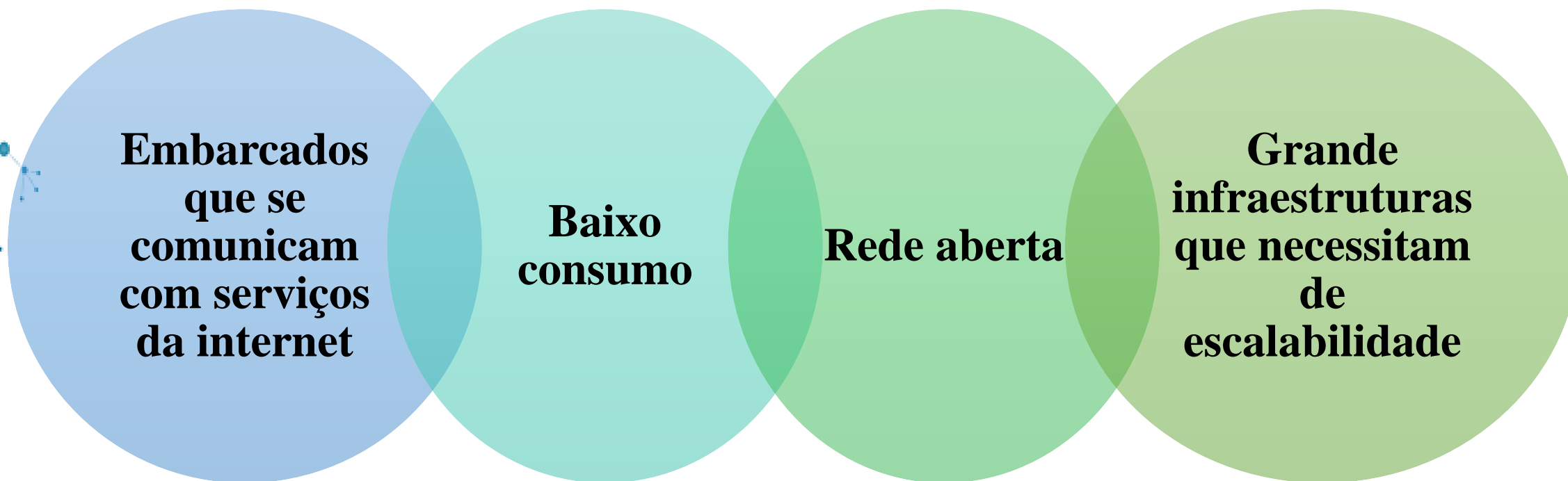
RFC 6775 – Estabelece otimização do Neighbor Discovery para o 6LoWPAN.

RFC 6282 – Estabelece a formatação da compressão dos pacotes IPv6 nas redes 802.15.4.

Comparações com outras tecnologias de comunicação

	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	Z-Wave	6LoWPAN
Frequência	2.4 GHz/ 915 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz/ 5.8 GHz	908 MHz	2.4 GHz/ 915 MHz/ 868 MHz
Alcance	10 – 75 m	10 m	100 m (<i>indoor</i>)	30 m	Até 200 m
Taxa de dados (máx)	250 Kbps	1 Mbps	300 Mbps	40 Kbps	250 Kbps
Vantagens	Custo baixo, menor consumo de energia, rede <i>mesh</i>	Alta taxa de dados	Alta taxa de dados, padrões bem definidos	Pouca interferência	Suporte IP, rede <i>mesh</i>
Desvantagens	Baixa interoperabilidade	Conexão frágil, baixo alcance	Consumo de energia	Padrão fechado	Consumo de energia relativamente alto

Aplicações (Cenários)



**Embarcados
que se
comunicam
com serviços
da internet**

**Baixo
consumo**

Rede aberta

**Grande
infraestruturas
que necessitam
de
escalabilidade**





**Solução para
redes de objetos
inteligentes**

**Trata-se de uma
camada de
adaptação para
IPv6 sobre links
IEEE 802.15.4**



ADAT, Vipindev; GUPTA, B. B.. Security in Internet of Things: issues, challenges, taxonomy, and architecture. **Telecommunication Systems**, [s.l.], v. 67, n. 3, p.423-441, 13 jun. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11235-017-0345-9>.

AL-FUQAHA, A.; GUIZANI, M.; MOHAMMADI, M.; ALEDHARI, M.; AYYASH, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS**, v. 17, Novembro de 2015.

ASHTON, K. **That 'Internet of Things' thing** RFID J. (2009)

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, [s.l.], v. 54, n. 15, p.2787-2805, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.

COLOMBO, Jamires Fátima; LUCCA FILHO, João de. INTERNET DAS COISAS (IOT) E INDÚSTRIA 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.72-85, 30 dez. 2018. Interface Tecnológica. <http://dx.doi.org/10.31510/infa.v15i2.496>.

Daji Qiao, Sunghyun Choi, “Goodput analysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.1, OctDec. 2002, pp. 278-292 .

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs): information technology – telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements. New York, 2006.

ISTEPANIAN, R. S H, "The potential of Internet of Things (IoT) for assisted living applications," Assisted Living 2011, IET Seminar on , pp.1,40, 6-6 April 2011.

ITU (2012) New ITU standards define the internet of things and provide the blueprints for its development. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11559&lang=en>

LEE, In; LEE, Kyoochun. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, [s.l.], v. 58, n. 4, p.431-440, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>.

Luís M. L. Oliveira, Amaro F. de Sousa, Joel J. P. C. Rodrigues, "Routing and mobility approaches in IPv6 over LoWPAN mesh networks", *International Journal of Communication Systems*, Vol. 24, Feb. 2011, pp. 1445–1466.

MAHMOUD, Rwan et al. Internet of things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures. **2015 10th International Conference For Internet Technology And Secured Transactions (icitst)**, [s.l.], 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icitst.2015.7412116>.

PAUL, P. Victor; SARASWATHI, R.. The Internet of Things — A comprehensive survey. **2017 International Conference On Computation Of Power, Energy Information And Commuincation (iccpeic)**, [s.l.], mar. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iccpeic.2017.8290405>.

RAY, P.p.. A survey on Internet of Things architectures. **Journal Of King Saud University - Computer And Information Sciences**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.291-319, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>.

SANTANA, Euller Moreira de. **Desenvolvimento de uma plataforma de comunicação 6lowPAN para redes de comunicação wireless de curto alcance**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2017.

SHELBY, Z.; CHAKRABARTI, S.; NORDMARK, E. Draft Standard, **Internet Draft Standard - Neighbor Discovery Optimization for Low Power and Lossy Networks (6LoWPAN)**. Agosto 2012.

SILVA, Wilson Alves da. **Uma Arquitetura para Orquestração da Distribuição de Água no Semiárido Brasileiro Baseada em Internet das Coisas e Computação em Nuvem**. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

WINTER, T. et al. **RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks**. Marco 2012.

802.15.4x-2019 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks - Amendment 7: Defining Enhancements to the Smart Utility Network (SUN) Physical Layers (PHYs) Supporting up to 2.4 Mb/s Data Rates IEEE Std 802.15.4-2015 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2011)

OBRIGADO!

Allex Magno Andrade
allex.m@aluno.ifsc.edu.br



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES – CAMPUS SÃO JOSÉ

PROTOCOLO 6LoWPAN

Allex Magno Andrade

Disciplina: Comunicações Sem Fio

Professor: Mário Noronha Neto

São José

2019