

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e  
Pesquisas Computacionais**

**Sérgio Ricardo da Silva Machado**

**SISTEMA DE COMUNICAÇÕES SEM  
FIO EM INSTALAÇÕES  
PORTUÁRIAS: Redes em Malha**

**Rio de Janeiro**

**2014**

**Sérgio Ricardo da Silva Machado**

**SISTEMA DE COMUNICAÇÕES SEM FIO EM  
INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS:  
Redes em Malha**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Claudio Miceli de Farias, M.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

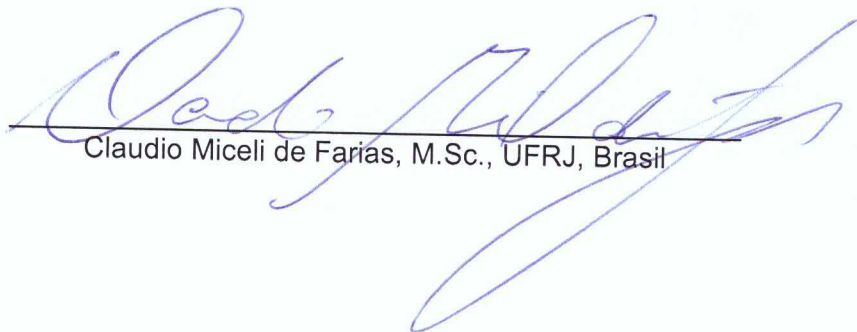
2014

**Sérgio Ricardo da Silva Machado**

**SISTEMA DE COMUNICAÇÕES SEM FIO EM  
INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS:  
Redes em Malha**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em março de 2014.



Claudio Miceli de Farias, M.Sc., UFRJ, Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio de Janeiro e ao Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, pela oportunidade. Aos professores pelos conhecimentos transmitidos. Ao Professor Claudio Miceli de Farias, pela orientação firme e incondicional prestada por ocasião da elaboração deste trabalho, os quais foram determinantes para que eu concluísse com esta monografia, o Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet.

## RESUMO

MACHADO, Sérgio Ricardo da Silva. **SISTEMA DE COMUNICAÇÕES SEM FIO EM INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS: Redes em Malha**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

As redes em malha, conhecidas como redes *mesh* são redes sem fio autoconfiguráveis e de crescimento orgânico. Recentemente vêm sendo consideradas para a criação de infraestrutura de baixo custo para a construção de redes de acesso comunitárias e de cidades digitais. Neste contexto, é grande o interesse em suportar aplicações multimídia como telefonia IP móvel e aplicações cooperativas.

O trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de implantação de rede em malha em instalações portuárias visando à comunicação multimídia entre as embarcações e suas bases.

Neste trabalho será feito um estudo de viabilidade técnica, comparando as estruturas cabeadas normalmente existentes nesses ambientes com as redes em malha padrão IEEE 802.11s. Sendo assim, será verificada a possibilidade de implementação desse padrão em instalações portuárias de diferentes portes, aproveitando a estrutura legada. O padrão IEEE 802.11s é inovador, pois propõe uma solução para encaminhamento através de múltiplos saltos no nível de enlace, o que difere das soluções tradicionais que operam no nível de rede.

Palavras-chave: Redes sem fio e Mesh.

## ABSTRACT

MACHADO, Sérgio Ricardo da Silva. **SISTEMA DE COMUNICAÇÕES SEM FIO EM INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS: Redes em Malha**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

Mesh networks are multi-hop wireless networks that can be used as a low cost infrastructure for community and city-wide access networks. In this context, support for killer applications such as cooperative services and mobile multimedia applications are in great demand.

This paper presents a proposal of implementation of net in mesh in port installations aiming at to the multimedia communication between the boats and its bases.

This paper presents a feasibility study technique, comparing the existing wire structures in these environments with the mesh networks IEEE standard 802.11s. Thus, will be verified the possibility of implementation of this standard in different size port installations, taking advantage of the oldest structure. The IEEE standard 802.11s is innovative; therefore it proposes a solution for guiding through multiple jumps in the data link level, what it makes a distinction from the traditional solutions that operate in the network level.

Keywords: Wireless Networks and Mesh Networks.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – <i>Basic Service Areas</i>	17
Figura 2 – <i>Extended Service Areas</i>	18
Figura 3 – Estação Escondida	20
Figura 4 – Arquitetura MAC 802.11	21
Figura 5 – Relacionamentos IFS	22
Figura 6 – Rede <i>Mesh</i>	27
Figura 7a – Nuvem IEEE 802.11s	30
Figura 7b – Arquitetura IEEE 802.11s	30
Figura 8 – Criação de <i>peer link</i> IEEE 802.11s	32
Figura 9 – MPP atuando como <i>gateway</i> na camada 3	36
Figura 10 – MPP atuando como ponte na camada 2	37
Figura 11 – Quadro de dados IEEE 802.11	37
Figura 12a – Endereçamento entre duas STA	39
Figura 12b – Endereçamento entre uma STA e um MPP	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
AP	<i>Access Point</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
BSA	<i>Basic Service Area</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
CCMP	<i>CTR with CBC-MAC Protocol</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection</i>
CTS	<i>Clear To Send</i>
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DFWMAC	<i>Distributed Foundation Wireless Medium Access Control</i>
DS	<i>Distribution System</i>
EMSA	<i>Efficient Mesh Security Association</i>
ESA	<i>Extended Service Area</i>
ESS	<i>Extended Service Set</i>
HCF	<i>Hybrid Coordination Function</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IFS	<i>Interframe Space</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MAP	<i>Mesh Access Point</i>
MCF	<i>Mesh Coordination Function</i>
MP	<i>Mesh Point</i>
MPP	<i>Mesh Portal Point</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PHY	<i>Physical Layer</i>
QoS	<i>Qualidade de Serviço</i>
RTS	<i>Request To Send</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>
STA	<i>Station</i>
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
WAP	<i>Wireless Access Point</i>
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i>
WDS	<i>Wireless Distribution System</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMN	<i>Wireless Mesh Network</i>
WPA	<i>Wi-Fi Protected Access</i>



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	RELEVÂNCIA	13
1.3	RESULTADOS ESPERADOS	13
1.4	OBJETIVO DO TRABALHO	13
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
<b>2</b>	<b>PADRÃO ORIGINAL – IEEE 802.11</b>	<b>15</b>
2.1	CONCEITOS IEEE 802.11	15
2.2	ARQUITETURA DAS REDES 802.11	16
<b>2.2.1</b>	<b>Rede Ad-hoc</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Rede Infraestruturada</b>	<b>17</b>
2.3	FAIXA DE FREQUÊNCIAS IEEE 802.11	18
2.4	ARQUITETURA DA SUBCAMADA MAC 802.11	19
<b>2.4.1</b>	<b>Controle de Acesso ao Meio</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Funções de Coordenação IEEE 802.11</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>REDES EM MALHA SEM FIO</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>EMENDA IEEE 802.11S</b>	<b>28</b>
4.1	ARQUITETURA 802.11S	28
4.2	NUVEM MESH	31
<b>4.2.1</b>	<b>Formação da Nuvem Mesh</b>	<b>31</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Roteamento e Protocolo de Seleção de Caminho</b>	<b>33</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Métrica de Seleção de Caminho</b>	<b>35</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Interconexão Mesh</b>	<b>36</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Endereçamentos de quadros IEEE 802.11s</b>	<b>37</b>
4.3	QUALIDADE DE SERVIÇO	39
<b>4.3.1</b>	<b>Emenda IEEE 802.11e</b>	<b>40</b>
<b>4.3.2</b>	<b>QoS em Redes Mesh</b>	<b>41</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Arquitetura sem fio com Serviços Diferenciados</b>	<b>42</b>
4.4	SEGURANÇA	44
<b>4.4.1</b>	<b>Segurança em Redes 802.11s</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO DO PORTO DE SANTOS</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>55</b>
	REFERÊNCIAS	59

## 1 INTRODUÇÃO

Redes sem fio oferecem uma constante interligação dos usuários independente do ambiente em que se encontram e são adaptáveis a qualquer mudança, tendo se tornado uma tendência mundial. Com o crescimento do uso de redes sem fio, surgiu a necessidade de se definir padrões para a comunicação entre equipamentos e dispositivos.

Atualmente o mais conhecido é o padrão IEEE<sup>1</sup> 802.11, que define especificações das funções de Controle de Acesso ao Meio (MAC – *Medium Access Control*) e Camada Física (PHY – *Physical Layer*) para comunicação em uma Rede Local sem Fio (WLAN – *Wireless Local Area Network*), onde a comunicação entre os dispositivos não ultrapasse a distância de 100m. Este padrão provê conectividade sem fio por estações fixas, portáteis e móveis dentro de uma rede local e estão bastante difundidas devido à facilidade de instalação e suporte a mobilidade (TANENBAUM, 2003). A ideia principal do grupo de trabalho do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) quando criou este padrão foi viabilizar a interconexão de uma rede sem fio com redes cabeadas que seguem o padrão IEEE 802.3 - Ethernet (IEEE, 2012b).

Criado com o mesmo conceito utilizado na comunicação por meio de rede de computadores, ou seja, utilizando saltos entre equipamentos para alcançar o seu destino, o padrão IEEE 802.11s (Rede *Mesh*) é uma emenda ao padrão IEEE 802.11, o qual foi desenvolvido para adicionar as capacidades das redes em malha aos padrões de redes locais sem fio (WLAN) (ALBUQUERQUE et al., 2008). Sendo assim, diversas aplicações para este padrão estão sendo criadas, tendo como ponto principal a comunicação por meio de múltiplos saltos no nível de enlace em redes

---

<sup>1</sup> IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) – É uma organização profissional que se dedica a promover inovação tecnológica e padrões nas diversas áreas de engenharia elétrica e de informática (IEEE, 2013).

sem fio que estendem os padrões existentes baseados no IEEE 802.11, podendo assim, por exemplo, aperfeiçoar o alcance dos pontos de acesso sem fio sem a necessidade de infraestrutura adicional. Com isso pode-se criar o conceito de cidade digital e ter a possibilidade de ofertar uma infraestrutura de comunicação sem fio a nível metropolitano (SAADE et al., 2007).

Sabe-se que alguns terminais privados e portos públicos possuem áreas e quantidade de usuários maiores que cidades de pequeno porte (IBGE, 2010). Seguindo o mesmo conceito de interligação de uma rede sem fio padrão IEEE 802.11 com redes cabeadas padrões IEEE 802.3, vislumbrou-se a possibilidade de utilização do conceito de cidade digital por meio do padrão IEEE 802.11s – *Mesh* como uma possibilidade de atender as demandas crescentes para as comunicações multimídias entre embarcações e suas bases portuárias. Da mesma forma, existe a preocupação no que diz respeito à escalabilidade de suas infraestruturas de rede, devido a expansões dos terminais, aquisição de navios mais modernos e uso de novas aplicações/serviços por seus usuários, sejam fixos ou móveis, aos moldes de uma cidade digital (IEEE, 2012a).

Ademais, todo o tráfego de dados realizado pelas estações desse modal segue dois tipos de topologia: enlace satélite, com alto custo na sua implantação e manutenção, além de possuir uma baixa taxa de transferência de dados; ou quando as embarcações encontram-se paradas em seus terminais, utilizam cabo padrão UTP (*Unshielded Twisted Pair*), que necessitam estar fisicamente conectados às embarcações. Sendo assim, as topologias supracitadas apresentam sérias restrições a comunicações multimídia em sistemas portuários, seja de ordem técnica ou econômica neste cenário apresentado.

O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma proposta para diminuir os impactos dessas novas demandas utilizando uma arquitetura escalável, de custo inferior às soluções tradicionais e aproveitando a infraestrutura legada. Tudo isso por meio de uma solução para comunicação em múltiplos saltos implementada na camada de enlace, em detrimento às soluções tradicionais de roteamento no nível de rede. Será realizada, então, uma comparação entre tais arquiteturas, verificando-se suas vantagens e desvantagens para implantação desse padrão em instalações portuárias de diferentes portes.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

A mobilidade é uma característica inerente ao tipo de serviço prestado por embarcações do modal aquaviário, principalmente as embarcações de suporte a terminais portuários privados e portos públicos, e os navios de uma frota privada ou estatal que utilizam seus próprios terminais ou portos. Cabe destacar aqui que a distinção entre terminais portuários privados e portos públicos se dá apenas quanto ao seu regime jurídico e não quanto à atividade fim (BRASIL, 2013).

Acrescentando a necessidade por serviços de acesso de banda larga que viabilizem de fato o conceito de ubiquidade, ou seja, acesso a qualquer tipo de serviço, em qualquer local e por meio de qualquer tipo de dispositivo. Trata-se de proporcionar, com qualidade, amplo acesso sem fio à Internet, serviços de voz e vídeo sobre pacotes, por meio de múltiplos tipos de terminais de usuário.

Sendo assim, esses tópicos foram considerados bons motivos para estudar a viabilidade do emprego da tecnologia sem fio utilizando encaminhamento de quadros por meio de múltiplos saltos no nível de enlace para comunicação multimídia em terminais portuários.

## 1.2 RELEVÂNCIA

Dotar as embarcações que utilizam ou prestam serviços em terminais portuários privados e portos públicos com um sistema de comunicações multimídia, a fim de manter a mobilidade dessas embarcações sem degradar o tráfego de informações entre as elas e suas bases, além de oferecer comunicação eficiente entre usuários fixos e móveis dessas instalações.

## 1.3 RESULTADOS ESPERADOS

Diversos governos estão investindo na construção de cidades digitais usando redes sem fio de múltiplos saltos e oferecendo infraestrutura de comunicação em ambiente metropolitano a todos os cidadãos, como em Dublin (WEBER et al, 2003).

Este trabalho acredita que essa tecnologia pode perfeitamente ser empregada para tráfego de informações multimídia em sistemas portuários. Além de proporcionar um sistema de comunicações de baixo custo, capaz de permitir o fluxo adequado, seguro e com tratamento diferenciado a fluxos de informações visuais e de tempo real por meio da utilização de equipamentos com padrões de mercado IEEE 802.3 e IEEE 802.11a/b/g/n, que trazem as seguintes vantagens: disponibilidade de peças de reposição e equipamentos, e integração com o sistema telefônico utilizando-se voz sobre IP (SAADE et al., 2007; IEEE, 2012b).

## 1.4 OBJETIVO DO TRABALHO

O trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de implementação de redes em malha padrão IEEE 802.11s em instalações portuárias de diferentes portes, aproveitando a estrutura legada, visando à comunicação multimídia entre as embarcações e suas bases sem comprometer o fluxo de dados e a segurança das

informações trafegadas. Além de aproveitar informações adicionais e novos serviços oferecidos, aos moldes de uma cidade digital, sem ter que remodelar estruturas pré-existentes.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

- O segundo capítulo abordará conceitos e definições do padrão IEEE 802.11, comentando sobre os tipos de rede possíveis, a arquitetura da subcamada MAC e a faixa de frequência de utilização.
- O terceiro capítulo tratará conceitos acerca das redes em malha sem fio.
- O quarto capítulo apresentará conceitos e definições do padrão IEEE 802.11s – Rede *Mesh*, comentando a sua arquitetura, a criação da nuvem *mesh*, protocolo e métrica de seleção de caminho, como se realiza a interconexão com outras redes e como se dá o suporte a qualidade de serviço e segurança.
- O quinto capítulo comentará trabalhos relacionados à rede *mesh*, apresentando as diferenças e semelhanças entre eles e a arquitetura proposta.
- O sexto capítulo apresentará um estudo de caso e exibirá as novas demandas em complexos portuários contemporâneos.
- O sétimo capítulo apresentará a conclusão deste trabalho com uma comparação entre o método tradicional com múltiplos saltos no nível de rede e o método com múltiplos saltos no nível de enlace.

## 2 PADRÃO ORIGINAL – IEEE 802.11

Este capítulo falará sobre os conceitos e definições do padrão IEEE 802.11, comentando sobre os possíveis tipos de rede, a faixa de frequência de utilização e a arquitetura de sua subcamada MAC.

### 2.1 CONCEITOS IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 foi projetado para oferecer comunicação sem fio com alta largura de banda<sup>2</sup>, fornecendo serviços que podem migrar de uma célula para outra com frequência, ou seja, é um padrão criado para lidar com mobilidade (TANENBAUM, 2003).

Como já foi mencionado, este padrão define especificações das funções de Camada Física (PHY), que segue bem as características da camada física do modelo OSI<sup>3</sup>, e funções de Controle de Acesso ao Meio (MAC), que determina como o canal é alocado, ou seja, quem será o próximo a transmitir para comunicação em uma Rede Local sem Fio (WLAN).

Conforme Tanenbaum (2003), para o usuário, a rede sem fio é encarada como uma extensão da rede cabeada, então, como tornar compatível e transparente a interconexão entre esses padrões? Este trabalho ficou a cargo da subcamada LLC (*Logical Link Control*), cuja função é encobrir as diferenças entre as inúmeras variantes do padrão IEEE 802, o qual tem como objetivo definir padrões que se aplicam a construções de redes locais (LANs – Local Area Networks) e redes metropolitanas (MANs – Metropolitan Area Networks), dentre elas o IEEE 802.3 e o

<sup>2</sup> Largura de banda (*Bandwidth*) – Também conhecida como velocidade ou vazão. É a quantidade em bits/s que a rede suporta, ou seja, é a quantidade de dados que pode ser transmitida simultaneamente em um segundo por um enlace (CISCO, 2013b).

<sup>3</sup> Modelo OSI (*Open System Interconnection Model*) – É um modelo conceitual que caracteriza e padroniza funções internas de sistemas abertos de comunicação dividindo-os em camadas. Este modelo é uma proposta desenvolvida pela ISO (*International Standards Organization*) (TANENBAUM, 2003).

IEEE 802.11. E assim, fazer com que seja imperceptível em relação à camada de rede<sup>4</sup> (IEEE, 2002).

Este padrão possui várias emendas que ampliam suas capacidades, como por exemplo: IEEE 802.11n – aumentar a largura de banda, IEEE 802.11i – melhorar a segurança da rede, IEEE 802.11e – ofertar qualidade de serviço, IEEE 802.11r – auxiliar a mobilidade com métodos de *handoff*<sup>5</sup> mais rápidos e IEEE 802.11s – criar redes em malha sem fio de múltiplos saltos formados por dispositivos IEEE 802.11 (ALBUQUERQUE et al., 2008).

## 2.2 ARQUITETURA DAS REDES 802.11

De acordo com Albuquerque et al.(2008), o padrão IEEE 802.11 apresenta dois tipos de redes sem fio em função da existência ou não de um ponto de acesso centralizador das comunicações: Ad-hoc e Infraestruturada.

### 2.2.1 Rede Ad-hoc

Rede formada apenas por estações que fazem conexões ponto a ponto e que não prevê um nó central e especializado, e nem comunicação através de múltiplos saltos entre aqueles que participam dessa rede (ALBUQUERQUE et al., 2008).

Sua arquitetura consiste em uma área ou célula básica de serviço (BSA – *Basic Service Area*) formada por um grupo de estações que se comunicam apenas entre si (BSS – *Basic Service Set*), ou seja, apenas entre estações dentro da mesma BSA, como mostrado na figura 1, a seguir (IEEE, 2012b).

<sup>4</sup> Camada de Rede – Camada 3 do Modelo OSI, sendo responsável por encaminhar os pacotes entre diversos endereços de redes, tendo duas funções importantes: repasse e roteamento, fazendo com que os dados cheguem ao seu destino. (KUROSE, 2006).

<sup>5</sup> *Handoff* – processo de transferir uma estação móvel de uma estação-base para outra ou de um canal para outro. (TANENBAUM, 2003).



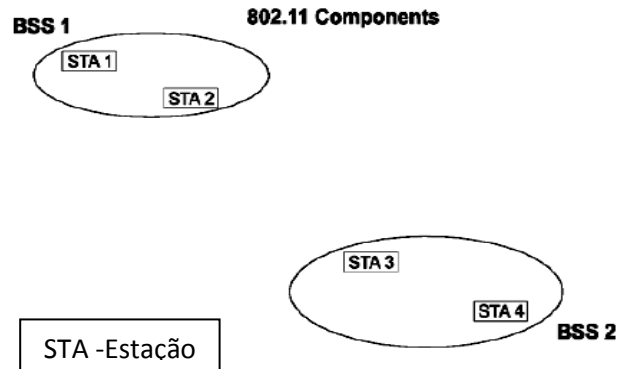


FIGURA 1 – *Basic Service Areas*.  
 Fonte: IEEE, 2012b, p. 46

### 2.2.2 Rede Infraestruturada

Rede formada por estações que não se comunicam diretamente e sim por meio de um nó central, chamado de ponto de acesso (AP – *Access Point*). Isso faz com que as estações possam se comunicar entre si e com estações de outras redes, sejam elas sem fio ou cabeada (ALBUQUERQUE et al., 2008).

Sua arquitetura consiste basicamente de uma BSA, onde as estações de sua BSS se comunicam através de um AP. Ademais, uma rede infraestruturada pode ser expandida para mais de uma BSA conectando suas BSS por meio de um sistema de distribuição (DS – *Distribution System*), onde suas estações acessarão o DS por meio do AP de sua respectiva BSA. Esse conjunto de BSA interligadas por um DS é chamado de área estendida de serviço (ESA – *Extended Service Area*) e o conjunto de estações formado pelos inúmeros BSS, conectados por um DS, é chamado de ESS (*Extended Service Set*), como mostrado na figura 2, a seguir (IEEE, 2012b).

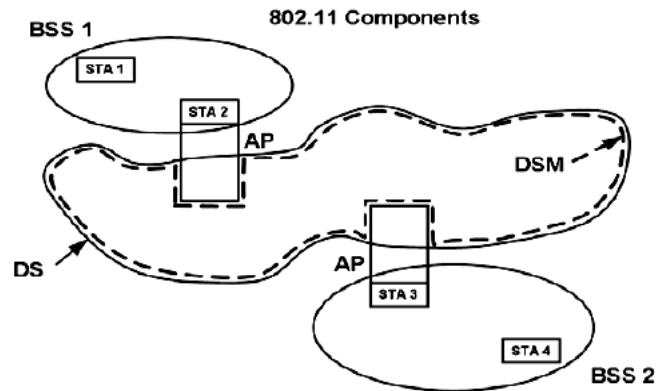


FIGURA 2 – *Extended Service Area*.  
 Fonte: IEEE, 2012b, p. 47

### 2.3 FAIXA DE FREQUÊNCIAS IEEE 802.11

Independente do tipo de rede padrão IEEE 802.11 utilizada, pode-se empregar apenas duas faixas do espectro, que são de uso não licenciado, reservadas internacionalmente pela ITU<sup>6</sup> para uso industrial, científico e médico (ISM *radio bands – Industrial, Scientific and Medical*), respeitando-se valores de potência transmitida que não ultrapasse certos valores legais (ITU, 2007).

A primeira é a S-ISM. Aqueles dispositivos que utilizam essa banda operam na faixa de 2,4 GHz e que já se encontra saturada nas áreas urbanas devido à disputa de espaço com inúmeros outros dispositivos emissores, como por exemplo, telefones sem fio, micro-ondas e aparelhos com comunicação padrão IEEE 802.15 (*Bluetooth*). Devido à característica das ondas dessa banda possuir baixo poder de penetração, resulta na necessidade de visada direta para distâncias acima de algumas dezenas de metros (ALBUQUERQUE et al., 2008; ITU, 2007).

A outra banda é a C-ISM que utiliza a faixa de 5 GHz, dispositivos que a utilizam estão menos sujeitos a interferências, devido à banda não ter tanta

<sup>6</sup> ITU (*International Telecommunication Union*) – Agência especializada da Organização das Nações Unidas com sede em Genebra, Suíça. Sua principal função é desenvolver padrões técnicos para alocar o espectro local de rádio e órbitas satélite. (ITU, 2007).

popularidade, no entanto, a necessidade de visada é ainda maior (ALBUQUERQUE et al., 2008; ITU, 2007).

## 2.4 ARQUITETURA DA SUBCAMADA MAC 802.11

Essa seção abordará a evolução do controle de acesso ao meio físico, do padrão Ethernet ao IEEE 802.11, e suas funções de coordenação para transmissão de dados.

### 2.4.1 Controle de Acesso ao Meio

Em conformidade com Tanenbaum (2003), o ambiente sem fio é naturalmente diferente e mais complexo se comparado com os sistemas fisicamente conectados, pois nem todas as estações estão dentro do alcance rádio uma das outras, além do que, a maioria dos rádios é *half-duplex*, ou seja, não pode transmitir e ouvir simultaneamente em uma mesma frequência.

No padrão Ethernet, uma estação precisa apenas esperar o meio físico ficar livre e iniciar a transmissão, diferentemente do padrão 802.11, onde o custo de uma colisão é alto em comparação ao de uma rede cabeada que possui taxas de transmissão usualmente maiores. Como consequência dessas características de cada meio físico, os padrões IEEE 802.3 e IEEE 802.11 utilizam protocolos diferentes na subcamada MAC (ALBUQUERQUE et al., 2008).

A Ethernet compartilhada utiliza o protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*) que detecta a colisão, ou seja, uma estação ao transmitir, se detectar que outro sinal foi injetado no canal durante sua transmissão, interrompe sua transmissão nesse instante, espera um intervalo aleatório (*backoff*) antes de recomeçar a transmitir, escuta o meio novamente e estando livre, transmite.

A Ethernet comutada passou a usar autonegociação (TANENBAUM, 2003).

Devido às características do ambiente sem fio, anteriormente mencionadas e ao fato de ser um meio com alta taxa de erro, o padrão IEEE 802.11 utiliza o protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*), que evita a colisão escutando o meio. Se o meio estiver livre por um determinado tempo, a estação transmite o quadro de dados, caso contrário, escuta o meio novamente e se estiver livre, aí sim, transmite (TANENBAUM, 2003).

No entanto, mesmo com o CSMA/CA, persistia o problema da estação oculta, onde nem todas as estações de uma área de cobertura possuem suas transmissões recebidas em outros lugares. Então, o padrão 802.11 admitiu o mecanismo opcional RTS/CTS – *Request To Send/Clear To Send* para reserva de acesso ao canal. Quando uma estação quer enviar um quadro de dados, ela envia antes um quadro RTS com o objetivo de reservar o meio e que possui a informação do tempo estimado necessário para a transmissão do quadro de dados. Quem recebe este quadro RTS, responde em *broadcast* com um quadro CTS, o qual tem o objetivo de informar ao remetente que este pode transmitir seu quadro de dados, e às outras estações de que não devem transmitir nesse período de tempo reservado (KUROSE, 2006). A representação da estação escondida é apresentada abaixo na figura 3.



FIGURA 3 – Estação Escondida.  
Fonte: TANENBAUM, 2003, p. 315

## 2.4.2 Funções de Coordenação IEEE 802.11

Baseado no CSMA/CA, o IEEE definiu a arquitetura da subcamada de controle de acesso ao meio, no nível de enlace de dados, suportando várias funções de coordenação<sup>7</sup> por meio de um protocolo denominado de DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless Medium Access Control*). Essas funções de coordenação ou métodos de acesso são a Função de Coordenação Distribuída (DCF – *Distributed Coordination Function*), a Função de Coordenação Pontual (PCF – *Point Coordination Function*), a Função de Coordenação Híbrida (HCF – *Hybrid Coordination Function*) e a Função de Coordenação Mesh (MCF – *Mesh Coordination Function*) (IEEE, 2012b).

A DCF deve estar implementada em todas as estações, pois é a base sobre a qual são construídas todas as outras funções de coordenação. Sendo assim, a DCF pode coexistir com outras funções que são de implementação opcional (IEEE, 2012b). A representação da arquitetura MAC 802.11 é apresentada na figura 4.

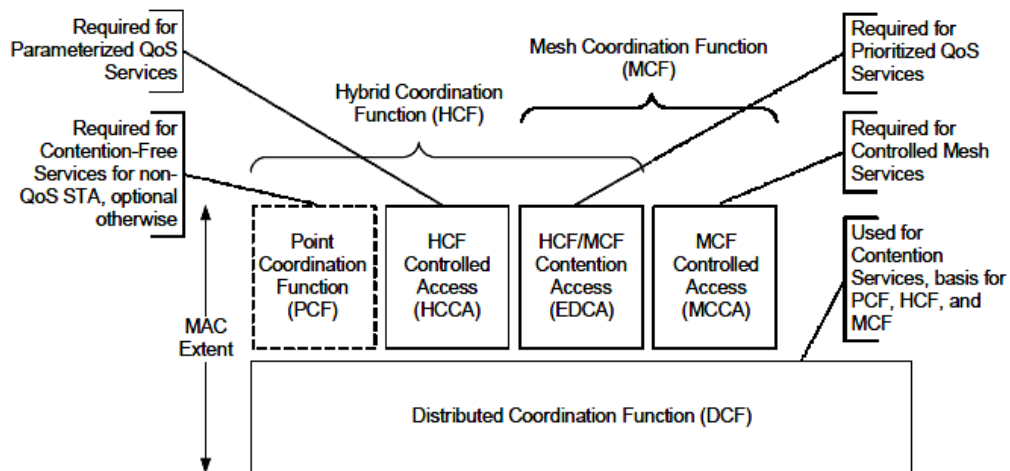


FIGURA 4 – Arquitetura MAC 802.11.

Fonte: IEEE, 2012b, p. 818

Na DCF, a decisão de quando uma estação irá transmitir é realizada

<sup>7</sup> Função de Coordenação – Determina qual estação, no grupo de estações dentro de uma área de cobertura, tem permissão para transmitir em um dado instante. (TANENBAUM, 2003).

individualmente pelos pontos da rede, podendo, dessa forma, ocorrer colisões. Na PCF, função usada apenas em redes infraestruturadas, a decisão de quando transmitir é centralizada em um ponto de coordenação, o qual pode estar em um ponto de acesso (AP – *Access Point*), e que determina qual estação tem permissão de transmitir naquele momento, evitando, em tese, colisões.

Usada apenas quando configurado qualidade de serviço (QoS) na rede, a HCF é uma função de coordenação que combina funções da DCF e PCF com algumas melhorias. A HCF deve ser implementada em todas as estações com QoS, exceto nas estações *Mesh*. Neste caso, as facilidades da MCF são implementadas apenas na nuvem *Mesh* e as estações *Mesh* devem estar implementadas apenas com MCF (IEEE, 2012b).

De acordo com protocolo DFWMAC, uma estação, com quadros para transmitir, deve sentir o meio livre por um período de silêncio mínimo, chamado de intervalo de tempo entre quadros (IFS – *Interframe Space*), antes de utilizá-lo. Utilizando valores diferentes para esse período, o DFWMAC define seis prioridades de acesso ao meio, de acordo com a figura 5.

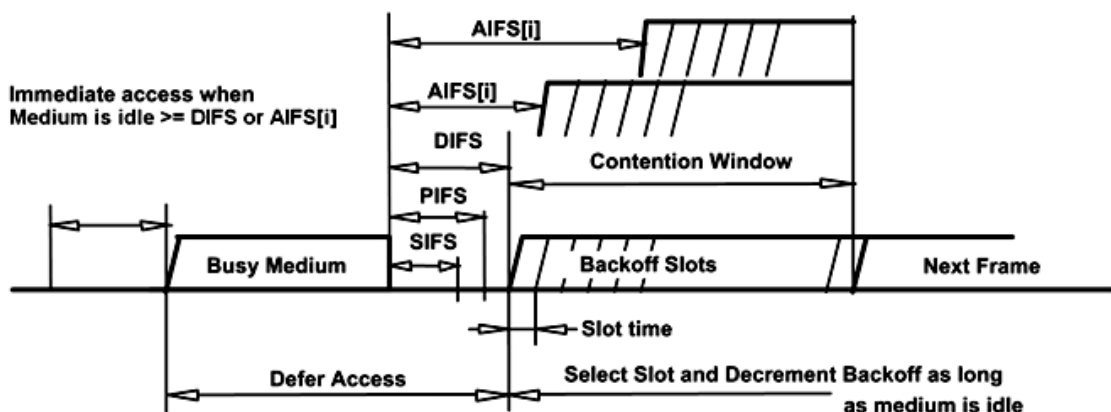


FIGURA 5 – Relacionamentos IFS.  
Fonte: IEEE, 2012b, p. 826

- *Distributed Interframe Space* (DIFS) – espaço entre quadros da DCF. Este parâmetro indica o maior tempo de espera, portanto a menor prioridade. Aguarda no mínimo um intervalo de silêncio para transmitir os dados.
- *Priority Interframe Space* (PIFS) – espaço entre quadros da PCF com o objetivo de ganhar prioridade de acesso ao meio. É um tempo de espera entre o DIFS e o SIFS, ou seja, prioridade média e é usado quando existe um ponto de acesso controlando outros nós.
- *Short Interframe Space* (SIFS) – possui a mais alta prioridade, por essa razão é usado para transmissão de quadros carregando respostas imediatas e curtas, como por exemplo, ACK, RTS e CTS. Usado quando a estação já alocou o meio e necessita manter a posse.
- *Reduced Interframe Space* (RIFS) – é usado no lugar do SIFS para separar várias transmissões de uma mesma estação com o objetivo de diminuir o *overhead* e aumentar a eficiência da rede.
- *Arbitration Interframe Space* (AIFS) – é usado por estações que implementam QoS para acessar o meio.
- *Extended Interframe Space* (EIFS) – é usado na DCF após uma transmissão malsucedida.

Após a exposição dos conceitos do padrão IEEE 802.11 e de verificamos que foi um padrão criado para dar suporte à mobilidade, concluímos que o grande avanço em relação à interconexão com padrão IEEE 802.3, é a capacidade de escutar o meio de forma a evitar colisões, pois a perda de quadros por corrupção na transmissão sem fio é relativamente comum. Com isso transformou-se em um padrão bastante difundido e popular na construção de redes locais.

### 3 REDES EM MALHA SEM FIO

Apesar do IEEE 802.11 ter avançado bastante com suas inúmeras emendas e se transformado em um padrão bastante difundido em redes locais, segundo Lee et al. (2006), ele ainda possui limitada sua expansão devido à dependência dos AP estarem conectados à rede cabeada ou a um sistema de distribuição sem fio (WDS – *Wireless Distribution System*). Aliado a essas características, Díaz e Díaz (2006) acrescenta outros fatores agravantes, tais como capacidade de transmissão que se degrada em função da distância entre o roteador e o dispositivo, interferência de canal, onde apenas três canais podem sobrepor-se em uma região, e objetos que podem causar problemas na transmissão sem fio e degradação do sinal, tais como, madeira, cerâmica e material plástico.

A rede em malha sem fio (WMN – *Wireless Mesh Network*) é um nome dado a uma variedade de arquiteturas de redes que possibilitam o uso de múltiplas rotas através de uma espinha dorsal (*backbone*) sem fio (LEE et al., 2006).

Considerada como uma evolução das redes ad-hoc sem fio, uma WMN é apresentada com a capacidade de tratar aplicações que não tinham suporte de outras tecnologias sem fio, pois aproveitou as características dessas redes e acrescentou outras, como por exemplo, a sua extensa cobertura, robustez, autoconfiguração, facilidade de manutenção e baixo custo. Sendo assim, consegue atender as necessidades tanto de uma rede pessoal (PAN – *Personal Area Network*) como de uma rede metropolitana (MAN – *Metropolitan Area Network*), permitindo que essas possam ser construídas em áreas de grande cobertura, onde a instalação de cabos é de grande dificuldade (LEE et al., 2006), pois são redes com uma topologia e roteamento dinâmicos e variáveis composta por nós onde a comunicação é realizada no nível físico (SAADE et al., 2007).



De acordo com Lee et al. (2006), três padrões são utilizados como base para redes em malha sem fio:

- IEEE 802.11s – baseado nas *Wireless Local Area Networks* (WLAN), também conhecidas como redes Wi-Fi<sup>8</sup>. Utiliza um ESS em malha com múltiplos saltos no nível de enlace, que especifica um WDS que pode ser usado para construir uma infraestrutura sem fio.
- IEEE 802.15.4 – corresponde as redes ZigBee<sup>9</sup> e abrange especificações de segurança das LR-WPAN (*Low-rate Wireless Personal Area Network*), o qual provê uma topologia de rede em malha sem fio para dispositivos WPAN por meio de uma arquitetura interoperável, estável e escalável.
- IEEE 802.16a – incorporou o conceito de malha (*mesh mode*) ao padrão IEEE 802.16 (*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System*), que corresponde às redes metropolitanas sem fio (WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*) conhecidas como redes WiMax<sup>10</sup>.

Alguns conceitos possuem certo destaque e mesmo não havendo uma única definição precisa acerca do que sejam redes em malha sem fio, para fins de padronização desse trabalho, será abordado como se segue:

Redes em malha sem fio (*Mesh*) – Uma topologia de rede sem fio, conhecida também como multiponto-a-multiponto, na qual os assinantes (estações) dentro de uma área geográfica estão interconectados e podem atuar como estações repetidoras. Isso permite uma variedade de rotas entre o núcleo da rede e qualquer estação assinante. Sistemas *Mesh* não possuem estações base no sentido convencional, como na topologia ponto-a-multiponto. (IEEE, 2004c, p. 4, tradução nossa).

<sup>8</sup> Wi-Fi – É uma marca registrada da *Wi-Fi Alliance* e é utilizada por empresas que certificam seus produtos e dispositivos de rede local sem fio (WLAN) baseados no padrão IEEE 802.11. Frequentemente, o termo Wi-Fi é usado como sinônimo para a tecnologia IEEE 802.11. (WI-FI, 2013).

<sup>9</sup> ZigBee – É uma marca registrada da *ZigBee Alliance*. Baseia-se no padrão IEEE 802.15 para criar redes pessoais (PAN) por meio de dispositivos rádios de baixa potência. (ZIGBEE, 2013).

<sup>10</sup> WiMax – É uma marca registrada da *WiMax Forum*. Baseia-se no padrão IEEE 802.16 para disponibilizar acesso a serviços em banda larga sem fio (WIMAX, 2013).

Em Akyildiz et al. (2005), redes *Mesh* tem como principal característica a transmissão por meio de múltiplos saltos, onde essa transmissão de dados é realizada de um roteador para outro roteador de forma a estender a área de cobertura da rede, com o objetivo de alcançar os clientes desejados. Essas redes são compostas por pontos de acesso (AP) e equipamentos clientes, onde os AP podem ser roteadores ou *gateways*<sup>11</sup>, e, de acordo com Saade et al. (2007), são eles que compõem a estrutura principal para o funcionamento da rede, ou seja, invertem o paradigma de usar uma rede cabeada para a espinha dorsal (*backbone*) da rede.

As redes *Mesh* não são redes Ad-hoc, visto que são planejadas, no entanto, como uma evolui da outra, podemos dizer que sua estrutura se assemelha a uma rede Ad-hoc, onde não existe um nó servidor central que administre toda a rede, logo, não existe prioridade de atendimento em relação aos nós, já que todos se encontram em um mesmo nível hierárquico (AKYILDIZ et al., 2005). Ademais, à medida que novos nós se integram, adicionando um novo salto, fazem com que a área de cobertura da rede sem fio seja estendida, dessa forma, possuem a função de criação e ampliação da nuvem *mesh*, incrementando assim, a definição do sistema de distribuição sem fio original do padrão IEEE 802.11, pois inverte, dessa maneira, o paradigma de usar uma rede cabeada como sua espinha dorsal ou *backbone* (ALBUQUERQUE et al., 2008).

Se um cliente *mesh* precisa se comunicar com um nó, seja outro cliente *mesh* ou um *gateway*, e que está fora do seu alcance, ele encaminha o pacote ao roteador *mesh* mais próximo. Esse pacote é então encaminhado pelo *backbone mesh*, por meio de múltiplos saltos, até o roteador *mesh* mais próximo do cliente *mesh* destino (BISNIK e ABOUZEID, 2006).

---

<sup>11</sup> *Gateway* (ponte de ligação) – É um equipamento de rede, cujo objetivo é a interligação entre duas redes distintas, ou seja, é o caminho de saída de uma rede para outra (TANENBAUM, 2003).

As características supracitadas de uma rede *Mesh* são ilustradas na figura 6, onde observamos que seu *backbone* é sem fio e seus roteadores podem ser fixos e receber alimentação, eliminando, assim, a restrição de limitação de energia das redes Ad-hoc (SAADE et al., 2007).

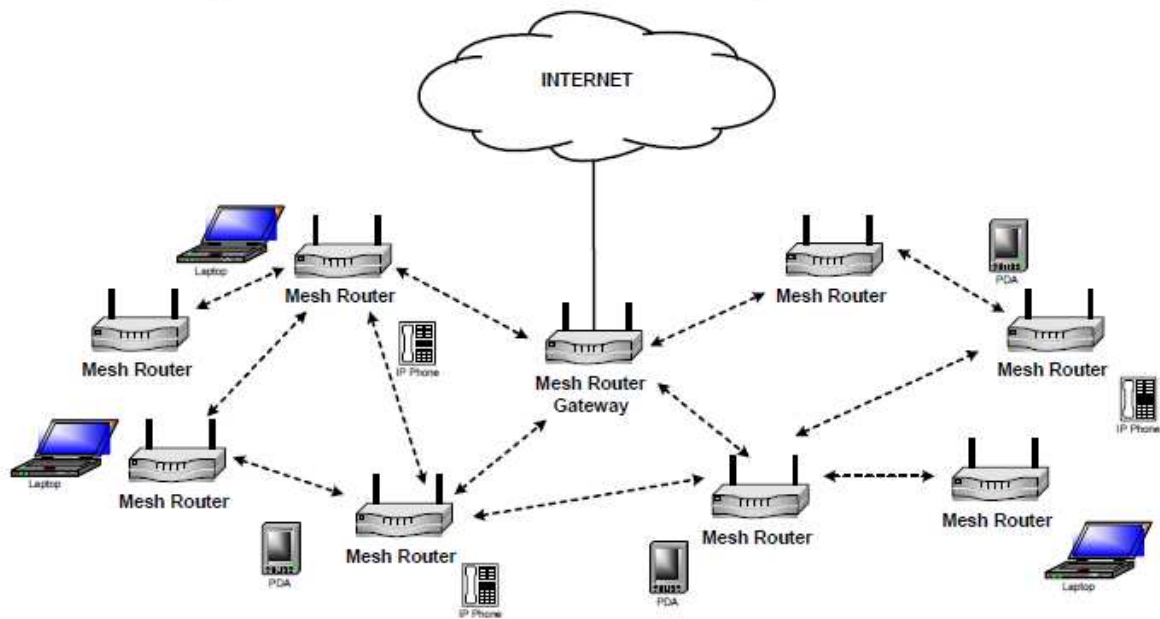


FIGURA 6 – Rede *Mesh*  
Fonte: SAADE et al., 2007, p. 60

O presente trabalho se aprofundará apenas no padrão IEEE 802.11s por acreditar que a solução de comunicação em múltiplos saltos na camada de enlace se encaixa mais adequadamente no objetivo do trabalho, ao invés de ser na camada de rede. Pois essa nova proposta, para a construção de redes sem fio em instalações portuárias, faz com que essa rede de múltiplos saltos pareça uma única rede local de nível três.

## 4 EMENDA IEEE 802.11S

Sendo uma emenda ao padrão IEEE 802.11, as implementações 802.11s abarcarão todas as funções de nível físico (PHY) das emendas IEEE 802.11a/b/g/n. Deste modo, uma ESS seguindo o padrão 802.11s visa a aplicar técnicas de múltiplos saltos para especificar um WDS, que pode ser usado para a construção de uma infraestrutura sem fio escalável utilizando um protocolo de seleção de caminho descrito no nível da camada de enlace, ao invés da camada de rede para roteamento dentro da nuvem *mesh* (LEE et al., 2006).

Segundo Faccin et al. (2006), este padrão de rede *mesh* consiste em um conjunto de dispositivos de uma WLAN interconectados por *links* sem fio que possibilita um aprendizado automático da topologia e uma configuração dinâmica de rotas. E sua arquitetura está baseada nas extensões IEEE 802.11 MAC, além de possuir capacidade de prover entrega de informação simultaneamente a todos os pontos da rede (*broadcast*), a múltiplos destinatários (*multicast destination*<sup>12</sup>) e a um único destinatário (*unicast destination*<sup>13</sup>).

### 4.1 ARQUITETURA 802.11S

Um dos principais componentes proposto por essa emenda, descrito por Lee et al. (2006) e comentado no item 2.4.2, é a Função de Coordenação *Mesh* (MCF – *Mesh Coordination Function*). Ela proverá os serviços *mesh*, tais como:

- Coordenar o controle de acesso ao meio, realizando o aprendizado automático da topologia, roteamento dinâmico e encaminhamento de quadros no nível MAC na nuvem *mesh*.

<sup>12</sup> *Multicast destination* – “Um endereço IP *multicast* indica todos os *host* ou roteadores que são membros do grupo correspondente.” (CRAWLEY et al., 1998, p. 3, tradução nossa).

<sup>13</sup> *Unicast destination* – “É um *host* ou roteador que pode ser identificado por um único endereço IP *unicast*.” (CRAWLEY et al., 1998, p. 3, tradução nossa).

- Gerenciar e configurar a rede *mesh*.
- Realizar a descoberta da topologia e a associação de novos nós, dimensionando a rede *mesh*.
- Interconectar diferentes redes provendo segurança e qualidade de serviço.

E de acordo com o descrito por Albuquerque (2008), Faccin et al. (2006) e Lee et al. (2006), esses serviços *mesh* serão ofertados pelos seguintes componentes de uma arquitetura WLAN *Mesh*:

- Nó *Mesh* (MP - *Mesh Point*) – é um nó baseado no padrão IEEE 802.11 que participa da formação e da operação da rede *mesh*. O conjunto desses MP forma a nuvem *mesh* (*Mesh Cloud*). Esses MP podem ser um ponto de acesso *mesh* (*Mesh Access Point*) ou uma estação que estenda a função *mesh*. As funções básicas na operação de um MP consistem em descoberta do vizinho, seleção do canal e associação com outros vizinhos.
- Ponto de Acesso *Mesh* (MAP - *Mesh Access Point*) – é um MP que agrega funções de um AP e oferece serviços às estações. Um MAP pode trabalhar como nó integrante da *Mesh Cloud* ou apenas como um AP padrão 802.11.
- Portal *Mesh* (MPP - *Mesh Portal Point*) – é um MP que agrega funções de um *gateway*, dessa forma, conecta a rede *mesh* a uma rede externa, como por exemplo, a Internet ou outra rede *mesh*. Um MAP e um MPP podem estar inseridos em um mesmo dispositivo. Ressalta-se que uma rede *mesh* pode ter mais de um MPP.
- Estação ou cliente (STA - *station*) – é um nó não-*mesh*, portanto requer serviços da rede *mesh*, mas não repassa nada, sendo assim, não participa da nuvem *mesh*, desde que não seja uma MSTA (*Mesh STA*), ou seja, uma STA

que incorpora funções *mesh*. Podem participar da rede *mesh* por meio de um MAP.

A topologia de uma rede em malha sem fio padrão IEEE 802.11s está ilustrada abaixo nas figuras 7a e 7b.

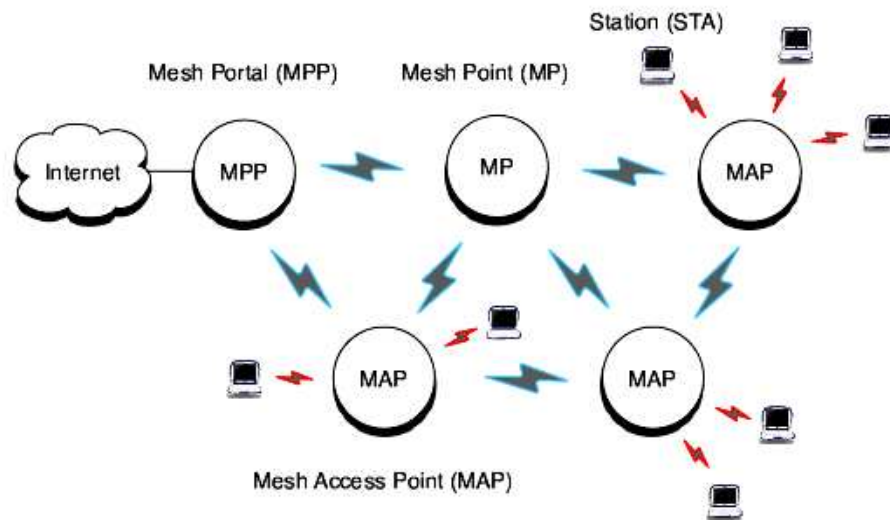


FIGURA 7a – Nuvem IEEE 802.11s  
Fonte: CAMP e KNIGHTLY, 2008, p. 2

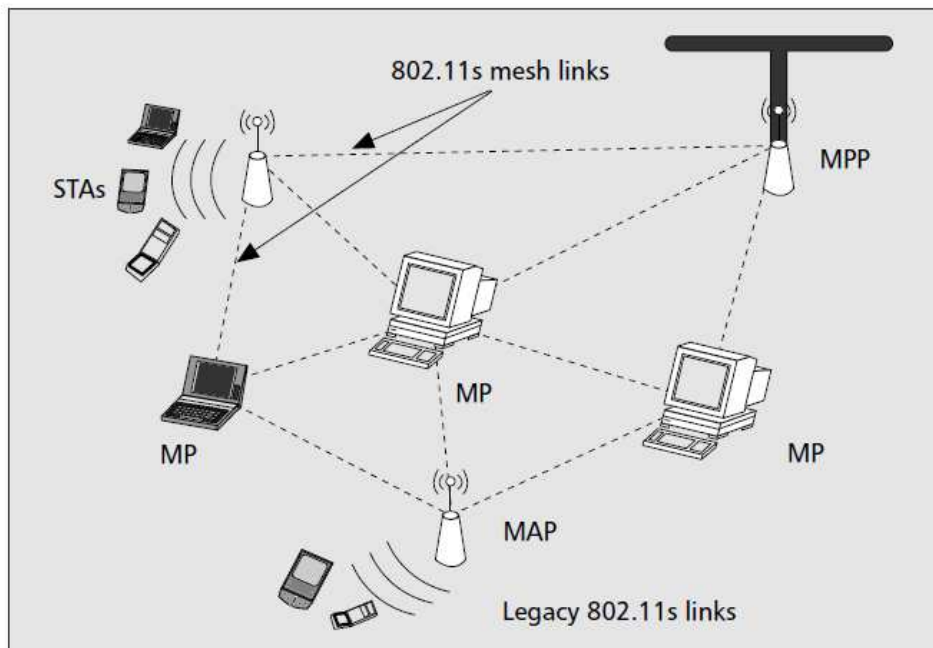


FIGURA 7b – Arquitetura IEEE 802.11s  
Fonte: LEE et al., 2006, p. 58

## 4.2 NUVEM MESH

Esta seção aborda como se dá a formação da nuvem *mesh*, o roteamento dentro dela e a maneira que é realizada a interconexão com outras redes, bem como a métrica de seleção de caminho utilizada.

### 4.2.1 Formação da Nuvem Mesh

Conforme Albuquerque et al. (2008), uma nuvem *mesh* é formada por inúmeros MP, onde cada um deles pode suportar mais de um perfil, não obstante, esses nós devem compartilhar o mesmo perfil simultaneamente para fazer parte de uma mesma nuvem *mesh*. Três elementos definem esse perfil que caracteriza uma rede *mesh*: *Mesh ID*<sup>14</sup>, protocolo de seleção de caminho e métrica de seleção de caminho.

Após a criação da nuvem *mesh*, um nó participante utiliza o protocolo *Mesh Peer Link Management* para criar, bem como manter, um *peer link* com seus vizinhos que compartilham o mesmo perfil ativo. Esses nós *mesh* trocam quadros *Peer Link Open* e *Peer Link Confirm* até fechar um *peer link*, que será confirmado por um quadro *Peer Link Close* entre os MP, como ilustrado na figura 8 logo abaixo (ALBUQUERQUE et al., 2008).

---

<sup>14</sup> *Mesh ID* – Identificador comum de uma rede *mesh* atribuído a todos os seus MP. É similar ao *Service Set Identifier* (SSID) usado para distinguir grupos de AP de uma rede sem fio tradicional padrão IEEE 802.11 (LEE et al., 2006).

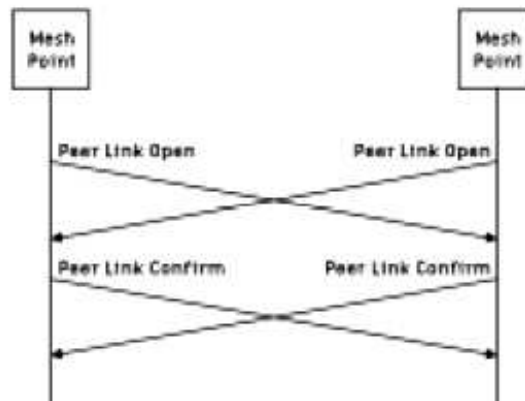


FIGURA 8 – Criação de *peer link* IEEE 802.11s  
 Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 38

Uma das principais características do padrão 802.11s é a autoconfiguração de sua rede. Dessa forma, durante a inicialização, o MP tenta descobrir uma rede *mesh* para se associar, contudo se nenhuma rede for detectada, deve ser capaz de iniciar uma nova rede *mesh* sem a intervenção de um administrador (FACCIN et al., 2006).

De acordo com Camp e Knightly (2008) e Lee (2006), o nó *mesh* utiliza o *Simple Channel Unification Protocol*, sendo considerado um mecanismo de descoberta de vizinhança similar ao proposto pelo padrão IEEE 802.11. Inicialmente um nó candidato a MP reúne informações sobre os MP próximos que pertencem a uma rede *mesh* ativa, e usa duas abordagens distintas para tal: escaneamento ativo, onde utiliza quadros *probe request* (pedido de sondagem) ou escuta passiva, onde recebe quadros *beacon* (informações de sincronização) periodicamente. E levando em consideração informações acerca da qualidade do *peer link*, como por exemplo, eficiência no consumo de energia e segurança, esse nó candidato pode se associar a topologia *mesh* existente.

Dois processos de inicialização são bem distintos para uma rede *mesh*. O primeiro é quando se dá associação de uma STA a um MAP, por meio de processo



tradicional IEEE 802.11 de estabelecimento de conexão com um AP. E o segundo, é quando um MAP se associa a um nó vizinho pertencente à nuvem *mesh*. (FACCIN et al., 2006).

#### 4.2.2 Roteamento e Protocolo de Seleção de Caminho

Em Faccin et al. (2006), outra importante característica, que diferencia o padrão IEEE 802.11s, é o roteamento realizado no nível de enlace baseando-se em endereços MAC, ou seja, é feita uma comutação de quadros ao invés de roteamento de pacotes.

Os mecanismos de roteamento não são apropriados nesse tipo de rede *mesh*, visto que é formada por inúmeros MAP, e como qualquer AP é tipicamente um dispositivo de camada 2, o qual é incapaz de decodificar um pacote IP, seria inaceitável adicionar funcionalidades de camada 3, tal como algoritmo de roteamento.

Dessa forma, a estação de origem, que deseja enviar um quadro para uma estação de destino com endereço IP identificado, usará o ARP<sup>15</sup> para obter seu endereço MAC e verificará se na tabela de encaminhamento já existe uma rota e, assim, enviará o quadro, caso contrário, deve ser criada uma rota nova (FACCIN et al., 2006). Como resultado, tem-se um tempo de processamento por quadro menor que os encaminhamentos de pacotes tradicionais no nível de rede, em razão de processar apenas até os campos da camada 2 do modelo OSI (KUROSE, 2006).

Por conta dessa característica e de ser uma rede dinâmica, uma vez que MP podem ser adicionados ou removidos frequentemente, torna o tamanho de uma rede

---

<sup>15</sup> ARP (*Address Resolution Protocol*) – Protocolo que realiza o mapeamento de endereços IP em endereços MAC de estações em uma rede local para realizar transmissão de quadros em uma LAN. O resultado desse mapeamento fica armazenado em um *cache* da estação para consultas futuras (TANENBAUM, 2003).

*mesh* muito variável. Com isso, o uso de um protocolo de roteamento com características simples e únicas, seja apenas modo proativo<sup>16</sup> ou reativo<sup>17</sup>, não seria eficiente. Isso se deve já que algoritmos proativos são eficientes apenas em redes pequenas, visto que os nós trocam periodicamente informações sobre suas tabelas de rotas, sendo assim, o custo de processamento de manutenção das rotas e o custo de memória para armazenamento das tabelas de rotas são baixos, desde que a rede se mantenha pequena. E algoritmos reativos são eficientes apenas em redes grandes já que os mesmos custos do modo proativo não seriam cobrados neste caso, pois o processamento da criação de novas rotas se dá apenas sob demanda (FACCIN et al., 2006).

Como resultado, o padrão IEEE 802.11s adotou um protocolo híbrido, que deve ser implementado em todos os MP da nuvem *mesh*, o HWMP – *Hybrid Wireless Mesh Protocol*, que combinou as vantagens do modo proativo com as do modo reativo. No primeiro, cada MP “calcula antecipadamente uma topologia em árvore onde a raiz é um determinado nó que se anuncia como tal (MP raiz)” (ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 38), permitindo seu uso enquanto a rede *mesh* se mantém pequena e com baixa mobilidade de seus nós (FACCIN et al., 2006). Contudo, o segundo modo “é apropriado para estabelecimento de caminhos entre nós *mesh* (MP) em um esquema *peer-to-peer*” (ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 38), se tornando viável quando a rede *mesh* começa a estender seu tamanho e incrementar a mobilidade de seus nós (FACCIN et al., 2006).

A adoção deste protocolo híbrido agregou duas relevantes vantagens ao padrão 802.11s. Mesmo já se tendo uma rota entre dois MP, esta poderia não ser a

---

<sup>16</sup> Protocolo de Roteamento Proativo – Periodicamente os nós de uma rede trocam informações de suas tabelas de roteamento e, assim, eles mantêm conhecida toda a topologia da rede. Com isso, cada nó sabe o menor caminho para outro nó da rede (FACCIN et al., 2006).

<sup>17</sup> Protocolo de Roteamento Reativo – As rotas entre os nós da rede são estabelecidas sob demanda (FACCIN et al., 2006).

melhor, e neste caso, a capacidade do uso concomitante dos modos proativos e reativos faz com que o HWMP forneça um caminho alternativo mais apropriado (ALBUQUERQUE et al., 2008). Ademais, de acordo com o dinamismo da mudança de topologia da rede *mesh*, o HWMP muda seu comportamento em tempo real (FACCIN et al., 2006).

#### 4.2.3 Métrica de Seleção de Caminho

Um dos principais componentes considerado por Faccin et al. (2006) como essencial na escolha de uma rota entre dois nós, a métrica é um valor atribuído a uma rota e que identifica o custo associado com essa rota. Pode ser em termos de tempo de espera, velocidade do *link* ou contagem de saltos (*hop count*), essa, por sinal, é considerada a métrica tradicional utilizada para determinar a distância mínima entre dois nós de uma rede.

O IEEE 802.11s apresenta a *Airtime Link Metric* como sendo a quantidade de tempo para a transmissão de um quadro. Além de ser obrigatória na nuvem *mesh*, esse mecanismo possui uma característica multidimensional, dado que, leva em consideração a taxa de transmissão, o *overhead* determinado pela camada física e a probabilidade de retransmissão de quadros para definir a qualidade de um enlace sem fio (ALBUQUERQUE et al., 2008), além de observar nos cálculos de descoberta de rotas parâmetros de QoS, largura de banda, eficiência no consumo de energia e segurança (FACCIN et al., 2006).

Segundo Albuquerque et al. (2008), o mérito da *Airtime Link Metric* é poder evitar que nós transmitindo em uma taxa baixa possam usar toda a taxa de dados disponível do canal, além de impedir que um enlace com alta probabilidade de erro

possa ocupar o meio por tempo prolongado em razão das retransmissões sucessivas.

#### 4.2.4 Interconexão Mesh

Como citado no item 4.1, o MPP incorporou as funções de um *gateway*, dessa maneira, ele determinará o destino do encaminhamento dos quadros, isto é, se é para dentro ou fora da nuvem *mesh*.

Quando o destino dos pacotes é para fora da nuvem *mesh*, o MPP usará as funções tradicionais de roteamento IP no nível de rede, deste modo, o MPP correto será identificado, caso contrário, enviará a todos os MPP, e assim, o pacote será enviado a um destinatário específico (*unicast*). Assim, o MPP estará atuando como um *gateway* para outras sub-redes de nível 3, como mostrado na figura 9 (ALBUQUERQUE et al., 2008; CAMP e KNIGHTLY, 2008).

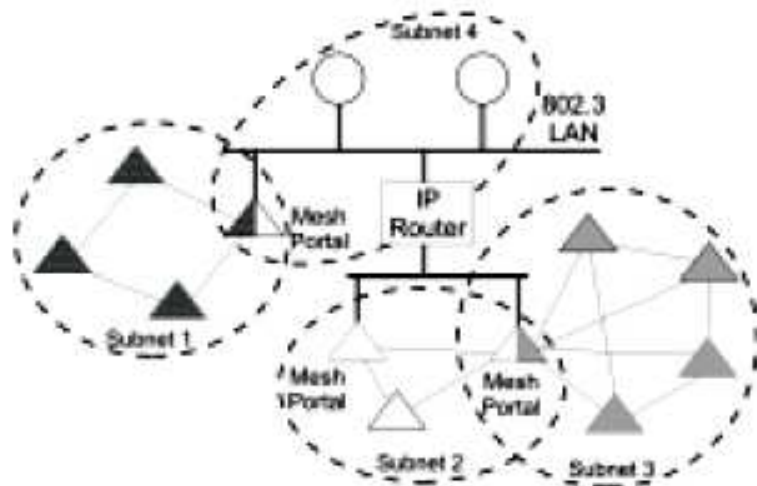


FIGURA 9 – MPP atuando como *gateway* na camada 3  
Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 43

E quando estiver encaminhando quadros no nível de enlace, quer dizer, dentro da nuvem *mesh*, o MPP usará funções incorporadas do padrão IEEE

802.1D<sup>18</sup> e trabalhará como uma ponte, onde todos os nós interconectados pertencem à mesma sub-rede de nível 3, possibilitando também interconectar redes cabeadas padrão IEEE 802.3 à nuvem *mesh*, como mostrado na figura 10 (ALBUQUERQUE et al., 2008; CAMP e KNIGHTLY, 2008).

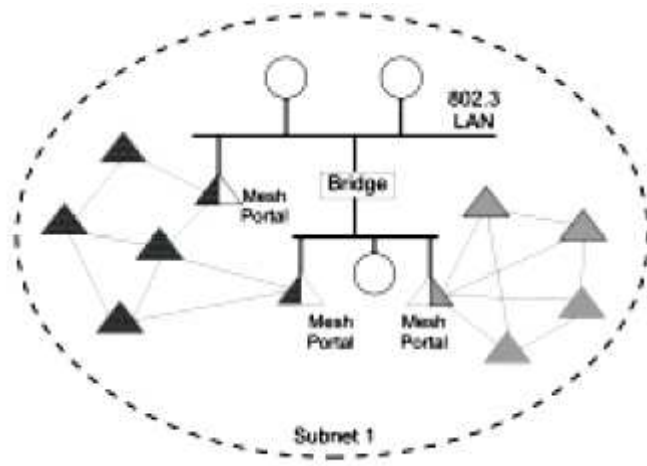


FIGURA 10 – MPP atuando como ponte na camada 2  
 Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 43

#### 4.2.5 Endereçamentos de quadros IEEE 802.11s

De acordo com Albuquerque et al. (2008) e Tanenbaum (2003), a emenda IEEE 802.11s utiliza as mesmas classes de quadros em trânsito que o padrão original IEEE 802.11: dados, controle e gerenciamento. O formato do quadro de dados IEEE 802.11 é apresentado na figura 11.

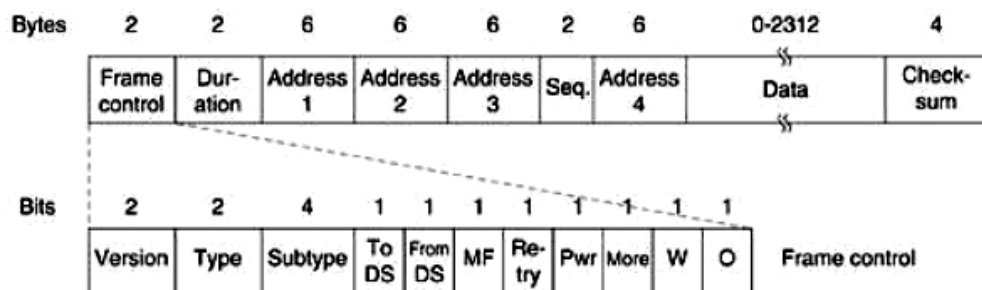


FIGURA 11 – Quadro de dados IEEE 802.11  
 Fonte: TANENBAUM, 2003, p. 320

<sup>18</sup> IEEE 802.1D – É o padrão que define a arquitetura para a conexão entre rede locais no nível da subcamada MAC, como se os nós das bordas estivessem em uma mesma LAN (IEEE, 2004a).

- Endereço 1 (*Receiver Address*) – endereço do próximo dispositivo que irá receber o quadro. Pode ser o endereço do dispositivo final do quadro ou de um nó intermediário, como um AP, seja conectado à rede cabeada ou a um WDS.
- Endereço 2 (*Transmitter Address*) – endereço do dispositivo de onde vem o quadro. Pode ser o endereço do dispositivo de origem do quadro ou de um nó intermediário, como um AP.
- Endereço 3 (*Destination Address*) – endereço do dispositivo que é o destino final do quadro.
- Endereço 4 (*Source Address*) – endereço do dispositivo de origem do quadro.

No entanto, o formato de quatro endereços MAC, do padrão original, não atende as necessidades de endereçamento dentro da nuvem *mesh*, visto que são necessários dois endereços adicionais para identificar os nós por onde entram e saem os quadros da nuvem *mesh* quando uma STA deseja se comunicar com outra STA associada a diferentes MAP (ALBUQUERQUE et al., 2008):

- *Mesh SA (Mesh Source Address)* – endereço do dispositivo que introduz o quadro na nuvem *mesh*, que pode ser um MAP ou um MPP.
- *Mesh DA (Mesh Destination Address)* – endereço do último dispositivo que recebe o quadro na nuvem *mesh*, que pode ser um MAP ou um MPP também.

As figuras 12a e 12b apresentam cenários de endereçamento IEEE 802.11s.

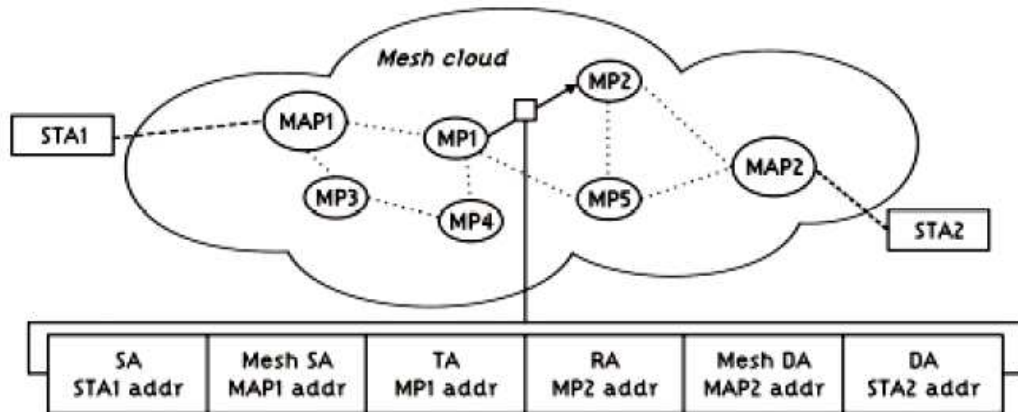


FIGURA 12a – Endereçamento entre duas STA  
Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 47

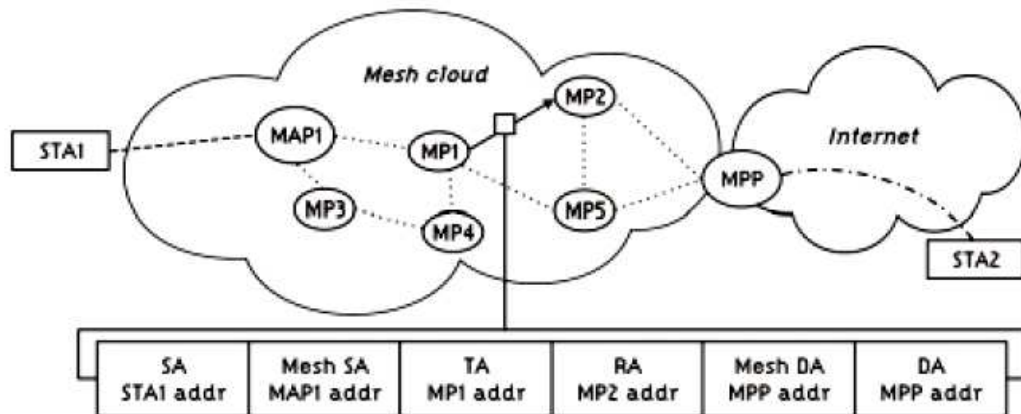


FIGURA 12b – Endereçamento entre uma STA e um MPP  
Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2008, p. 48

#### 4.3 QUALIDADE DE SERVIÇO

Segundo a RFC 2386 de Crawley et al. (1998, p. 3, tradução nossa), Qualidade de Serviço (QoS) é “um conjunto de requisitos de serviços a ser atendido pela rede enquanto transporta um fluxo de dados”.

Sendo assim, é a capacidade da rede prover garantia de serviços a tráfegos selecionados por meio de políticas definidas, tendo como base o controle de alguns parâmetros, tal como, largura de banda, taxa de perda de pacote, taxa de erros, atraso e variação de atraso (*jitter*), disponibilidade, e todos ajustados dentro de

limites bem definidos. A QoS é tipicamente expressa e solicitada em termos de um Contrato de Serviço ou Solicitação de Serviço, que é denominada de SLA (*Service Level Agreement*). Esse SLA deve definir quais requisitos devem ser garantidos para que os serviços na rede possam ser oferecidos com qualidade (FACCIN et al., 2006).

#### **4.3.1 Emenda IEEE 802.11e**

Inicialmente, o padrão IEEE 802.11 não oferecia nenhum mecanismo de priorização de tráfego, independente do tipo de rede sem fio – Ad-hoc ou Infraestruturada. Ou seja, tal qual fosse o tipo de tráfego a ser transmitido – dado, voz ou vídeo, todos estavam submetidos às mesmas regras de transmissão.

Baseando-se na classificação do tráfego a ser transmitido, o IEEE apresentou a emenda 802.11e para agregar qualidade de serviço às redes IEEE 802.11, o qual estabelece um método de priorização de acesso ao meio e cria uma nova função de coordenação de acesso ao meio – HCF (*Hybrid Coordination Function*), como já mencionado no item 2.4.2. A HCF opera com dois métodos para suportar requisitos de qualidade de serviço (IEEE, 2012b):

- ECDA (*Enhanced Distributed Channel Access*): provê suporte para entrega do tráfego usando diferentes prioridades de usuários, baseando-se em categorias distintas de acesso ao meio.
- HCCA (*HCF Controlled Channel Access*): provê reserva de oportunidade de transmissão (TXOP – *Transmission Opportunity*) por meio de um coordenador centralizado de qualidade de serviço (HC – *Hybrid Coordinator*) posto junto ao AP.



Como mencionado no item 2.4.2, a HCF deve ser implementada em todas as estações com QoS, exceto os nós *Mesh* (MP).

#### 4.3.2 QoS em Redes Mesh

Devido à natureza distribuída da rede *mesh*, o IEEE prega que somente os serviços da MCF (*Mesh Coordination Function*) devem estar disponíveis na nuvem *mesh*. Com isso, apenas a MCF deve estar implementada nos nós *mesh* que seguem o padrão 802.11s. Sendo assim, a MCF faz com que a subcamada MAC 802.11s assegure um nível mínimo de serviço garantido para o tráfego de *backbone* da nuvem *mesh* (FACCIN et al., 2006).

Dois mecanismos de controle de acesso ao meio são responsáveis pela operação MCF (IEEE, 2012b):

- ECDA (*Enhanced Distributed Channel Access*): neste caso, opera de forma idêntica ao padrão IEEE 802.11e.
- MCCA (*MCF Controlled Channel Access*): mecanismo opcional que permite um MP acessar o meio sem fio por meio de um agendamento de transmissão de quadros.

De acordo com Faccin et al. (2006), em função de aplicações multimídia serem cada vez mais utilizadas, além de serem sensíveis a atraso e variação de atraso e necessitarem cada vez mais de largura de banda, duas questões devem ser respeitadas nas redes *mesh* ao se decidir oferecer garantias de qualidade de serviço.

A primeira é que em uma nuvem *mesh* coexistem o tráfego de *backbone*, que normalmente flui de/para *gateways* cabeados, e o tráfego de acesso à rede, normalmente entre as STA e seus respectivos MAP. Deste modo, evidencia-se a

necessidade de um controle de admissão de chamadas (CAC – *Call Admission Control*) e de um procedimento que diferencie esses dois tipos de tráfego, de maneira a assegurar que ambos alcancem seus respectivos níveis de serviço apropriado. A segunda é que oferecer garantias de QoS através de múltiplos saltos necessita de recursos que se sobrepõem à camada 2 do modelo OSI, de maneira que fluxos fim a fim tenham garantidos seus serviços previamente alocados (FACCIN et al., 2006).

### 4.3.3 Arquitetura sem fio com Serviços Diferenciados

Conforme Braden et al. (1994), o conceito original da Internet oferecia apenas um modelo simples de qualidade de serviço, a entrega de dados ponto a ponto *best effort* (melhor esforço), ou seja, sem prioridade. Por conseguinte, uma aplicação enviava dados de acordo com sua necessidade, em qualquer quantidade e sem pedir permissão ou sem dar informação à rede. Neste modelo, a rede não garantia a largura de banda suficiente para a entrega e também não limitava um possível atraso.

A *Internet Engineering Task Force*<sup>19</sup> (IETF) apresenta duas abordagens quando trata de qualidade de serviço: Arquitetura de Serviços Integrados (IntServ – *Integrated Services Architecture*) e Arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ – *Differentiated Services Architecture*).

O modelo IntServ é uma solução que provê QoS por meio de um nível de fluxo de dados simples, significando basicamente fazer uso de reserva de recurso na rede e de um controle de admissão. Sendo assim, deve ser feita uma solicitação de reserva de recursos para o tráfego desejado de uma determinada aplicação, e

<sup>19</sup> *Internet Engineering Task Force* (IETF) – É uma comunidade internacional e aberta de *designers*, operadores, empresários e pesquisadores preocupados com a evolução da arquitetura da Internet e sua operação. Órgão responsável pela produção de RFC – *Requests for Comments*. (IETF, 2013).

dependendo da disponibilidade desses recursos na rede, a reserva é aceita ou não. Caso o resultado seja negativo, o tráfego recebe tratamento *best effort*, e se ficar fora do perfil anunciado, pode ter pacotes seus descartados (BRADEN et al.,1994).

Já o modelo DiffServ é uma solução que não utiliza reserva de recursos, e assim, provê QoS por meio de classes diferenciadas de serviços para o tráfego de dados da rede, agregando fluxos de dados que são de classes iguais, ou seja, é a garantia através de mecanismos de priorização de pacotes na rede. Desse modo, todo tráfego de uma rede é classificado e condicionado na sua entrada, e associado a um agregado de comportamento diferenciado, que por sua vez é também associado a um código. Conseqüentemente, os pacotes são encaminhados a cada nó usando um comportamento de encaminhamento (BLAKE et al.,1998).

Como já mencionado no item 4.3.2, existe na nuvem *mesh* o tráfego de *backbone* e o tráfego de acesso à rede entre usuários não-*mesh* e MAP. Portanto, em Saade et al. (2007), é apresentado a preferência pelo uso do modelo DiffServ na nuvem *mesh*, justificando ser uma arquitetura de QoS que melhor trata uma das principais características deste tipo de rede: a escalabilidade. Visto que ao utilizar o modelo IntServ, seria necessário manter o estado em cada MAP para cada fluxo de dados que passasse por ele, o que provocaria uma sobrecarga de processamento, além de um grande *overhead* no *backbone*. Ademais, outra melhoria da Arquitetura de Serviços Diferenciados é a flexibilidade, dado que são poucas as classes de QoS e assim não seria possível dar tratamento preferencial a uma classe apenas.

Dois importantes pontos diferenciam o Diffserv tradicional do DiffServ em redes sem fio. Primeiramente, os MAP, que fazem papel de roteadores e *gateways*, podem servir tanto como MAP de núcleo tanto como de borda e nesse último caso atenderá apenas os usuários de sua área de cobertura. Em segundo lugar, a

alocação de recursos é feita de maneira distribuída, ou seja, não existe um controle centralizado. Dessa maneira, a rede sem fio Diffserv estabelece os seguintes serviços: Prêmio (*Premium*), Garantido (*Assured*) e Melhor Esforço (*Best Effort*) (SAADE et al., 2007).

#### 4.4 SEGURANÇA

Além dos problemas comuns de segurança semelhante às das redes cabeadas, as redes sem fio são mais vulneráveis a ataques maliciosos devido ao meio de transmissão ser compartilhado e de livre acesso. Por essa razão, redes padrão IEEE 802.11 apresentam um risco maior à confidencialidade, integridade, autenticidade e disponibilidade de suas comunicações.

Inicialmente, o padrão de segurança do padrão IEEE 802.11 era o WEP (*Wired Equivalent Privacy*), e oferecia basicamente três serviços: confidencialidade, integridade e autenticação. Em 2004, a emenda IEEE 802.11i apresentou o WPA2 (*Wi-Fi Protected Access 2*) como seu padrão de segurança, eliminando os problemas característicos do WEP por meio de dois esquemas de criptografia, que podem ser utilizados simultaneamente na mesma rede. E assim permite que exista uma negociação entre o cliente e o AP, além do uso de um novo padrão para criptografia simétrica, o AES (*Advanced Encryption Standard*). São eles, o TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*) e CCMP (*CTR with CBC-MAC Protocol*) (IEEE, 2004b; IEEE, 2012b).

Ademais, a autenticação definida por essa emenda em redes IEEE 802.11 implementa mecanismos baseados no padrão IEEE 802.1X, o qual oferece autenticação e controle de acesso à rede baseado em portas, corrigindo vulnerabilidades do WEP, e assim, possibilitando uma comunicação segura entre

dispositivos de uma LAN. É relevante ressaltar que o padrão IEEE 802.1X pode estar em todos os padrões de redes locais ofertados pelo IEEE 802 (IEEE, 2010).

#### **4.4.1 Segurança em Redes 802.11s**

Para a proteção contra ataques maliciosos, além da prevenção de que dispositivos não autorizados transmitam ou recebam dados de uma rede *mesh*, o padrão IEEE 802.11s adotou o mecanismo conhecido como EMSA (*Efficient Mesh Security Association*), no qual utiliza os modelos de criptografia do IEEE 802.11i e de autenticação do IEEE 802.1X (CAMP e KNIGHTLY, 2008).

O ponto crucial que diferencia a segurança do IEEE 802.11s das WLAN tradicionais, é que não existe um ponto centralizador para autenticação do dispositivo que queira ingressar na nuvem *mesh*. Nesse caso qualquer MAP pode trabalhar como autenticador durante uma negociação para que uma STA possa utilizar os serviços da nuvem *mesh* (CAMP e KNIGHTLY, 2008).

## 5 TRABALHOS RELACIONADOS

As redes em malha são amplamente estudadas nos dias atuais. Este capítulo tem o objetivo de apresentar trabalhos desenvolvidos na área de redes de acesso sem fio faixa larga, utilizando o padrão IEEE 802.11 com topologia tipo *Mesh* e comunicação em modo Ad-hoc, expondo tanto projetos acadêmicos quanto produtos comerciais e redes comunitárias.

Como exemplos de projetos acadêmicos apresentamos a ReMesh e a RoofNet.

O projeto ReMesh é da Universidade Federal Fluminense (UFF), financiado pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), e tem como objetivo implantar uma rede sem fio de acesso comunitário em um de seus *campi* com o propósito de fornecer, a custo reduzido, acesso a banda larga para alunos, professores e funcionários. Inicialmente, foi prevista a instalação de apenas 07 nós para o *backbone* da ReMesh nos topos de edifícios, sendo que um deles seria o *gateway* para Internet, e os roteadores de acesso a rede foram instalados nas residências dos alunos, ao redor do *campus*. Os usuários tem acesso à rede, por meio de cabo conectado à porta LAN do roteador. Dispositivos móveis que, eventualmente, se conectarem a rede, poderão fazer obtendo um endereço estático ou dinâmico, no entanto, nessa segunda modalidade, ao se moverem para fora do alcance do roteador que lhe forneceu o endereço e entrarem no alcance de outro, ganharão um novo endereço e necessitarão de uma nova autenticação na rede (UFF, 2007).

O projeto RoofNet, do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), consiste em uma rede *mesh* de 37 nós espalhados numa área urbana de 4 km<sup>2</sup> da cidade de *Cambridge* no estado norte-americano de *Massachusetts*. Cada nó deve ser capaz de encontrar um *gateway* entre a rede RoofNet e a Internet, além de escolher a

melhor rota com múltiplos saltos até o *gateway*, todos eles operam no modo *Ad Hoc* para que seja possível a implantação de uma rede de múltiplos saltos. Os usuários ligam seus computadores aos nós da rede também por meio de cabo. A isso tudo, tem-se o objetivo de estudar redes sem fio de larga escala (AGUAYO, 2005).

A Nortel Networks Inc. e a Cisco Systems Inc. apresentam soluções comerciais para empresas, órgãos governamentais e cidades que pretendem instalar uma rede em malha sem fio com acesso à banda larga.

A Nortel apresenta uma solução que disponibiliza acesso à banda larga em cenários urbanos em diferentes partes de algumas cidades, como por exemplo, Ottawa (Canadá) e Filadélfia (EUA). Além de, também, propor soluções em áreas privadas ou públicas, como armazéns, portos e aeroportos (ROCH, 2005).

Sua arquitetura *mesh* consiste basicamente em vários *Wireless Access Points* (WAP) que fazem a comunicação entre os dispositivos móveis e a rede *mesh*, formando assim a nuvem *mesh*, que por sua vez é conectada à rede principal por roteadores, o qual possuem funções de camada três e de AP sem fio. E fazendo a conexão entre a rede distribuída e o *backbone* estão os *Wireless Gateways*, que proveem a mobilidade e tráfego de dados seguro entre os WAP. Esses, por sua vez, utilizam dois tipos de enlace: o primeiro para trânsito, ou seja, comunicação entre os WAP, no padrão IEEE 802.11a; e segundo como enlace de acesso, ou seja, comunicação entre dispositivos móveis e WAP, no padrão IEEE 802.11b/g. Ademais, o endereçamento é feito de forma dinâmica por meio de um servidor DHCP único. Aliado a tudo isso, a Nortel implementa um sistema de gerenciamento e monitoramento centralizado da rede (ROCH, 2005).

A Cisco prioriza soluções em *campi*, polos empresariais e em áreas metropolitanas, dando cobertura *mesh* a uma cidade, por exemplo. Apresenta uma arquitetura *mesh* baseada em vários subsistemas:

- *Wireless Control System*, que é uma plataforma de gerenciamento de todo o sistema *mesh* de um ponto centralizado.
- *Wireless LAN Controller*, que prove um ponto central das funções de controle dos AP, fazendo a ligação deles com a parte cabeada, além de gerenciar as políticas de segurança e as frequências de rádios, permitindo a mobilidade nas camadas dois e três da rede, e tudo isso aliado a tecnologia que utiliza o padrão IEEE 802.11e para efetuar reserva de banda, por meio de QoS via camada MAC.
- *Roof-top Access Point*, que fazem o papel de *gateways* de ligação entre os AP e a rede, normalmente instalados no alto de prédios, utilizando padrão IEEE 802.11a.
- *Mash Access Point*, que provê acesso à rede para os clientes não-*mesh*, utilizando padrão IEEE 802.11b/g. (CISCO, 2013a).

Apresentando um exemplo de sucesso de rede comunitária, temos o da *Trinity College Dublin* (TCD) e *Media Lab Europe* (MLE), que desenvolveram uma estrutura de comunicação em ambiente metropolitano para os cidadãos de Dublin (WEBER et al, 2003).

Projeto denominado de WAND – *Wireless Ad-hoc Network for Dublin*, cobre uma rota de 2 km no centro de Dublin (Irlanda), entre a TCD e o MLE. Os nós, que são pequenos PC embarcados com cartão WiFi PCMCIA e antena, com dimensões de 7,5 x 7,5 x 15 cm, foram distribuídos pela rota em edifícios, semáforos e



quiosques, provendo assim, um nível mínimo de conectividade. Esse projeto oferece uma oportunidade original de explorar o comportamento e o desempenho de protocolos de roteamento em um ambiente real, além de investigar as exigências que são necessárias para propiciar serviços tais como a informação de localização ou de QoS. Um exemplo de aplicação disponibilizada pelo WAND é a comunicação entre nós móveis da rede, como por exemplo, carros, ônibus, e nós fixos, como semáforos, pontos de ônibus e radares fixos com câmeras (WEBER et al, 2003).

Aproveitando o conceito de cidades digitais que oferece infraestrutura de comunicação sem fio em ambiente metropolitano, o presente trabalho propõe-se a oferecer uma proposta de comunicação eficiente entre usuários móveis de instalações portuárias, sejam eles embarcações, veículos de apoio em terra, equipamentos ou até pequenos dispositivos móveis. Tudo isso sem que tenha a necessidade de conexão com roteadores via cabo, mantendo assim a mobilidade, sem degradar o tráfego de informações. Além de aproveitar informações adicionais e serviços oferecidos por redes do tipo *Ad Hoc*.

## 6 ESTUDO DE CASO DO PORTO DE SANTOS

O trabalho tomou como base o maior porto brasileiro, o Porto de Santos, com características de uma cidade, por possuir uma área de 7,7 milhões de m<sup>2</sup>, onde 3,7 milhões de m<sup>2</sup> estão na margem direita e 4,0 milhões m<sup>2</sup> na margem esquerda de seu canal. Dispõe de 13 km de extensão de cais, 55 km de dutos e 100 km de linhas férreas, além de instalações para acondicionar mais de 2,5 milhões de toneladas em produtos e uma usina hidrelétrica para abastecimento próprio. O Complexo Portuário Santista responde por mais de um quarto da movimentação da balança comercial brasileira (SANTOS, 2013).

O estudo tem como objetivo buscar uma rede de dados que permita uma comunicação fim a fim sem a necessidade de comunicação com um nó central e que tivesse ao menos as seguintes características:

- Altas taxas de transferência de dados.
- Suporte à transmissão de dados, voz e vídeo.
- Suporte para posicionamento geográfico sem a utilização de GPS.
- Suporte para comunicação móvel.
- Acesso à Internet.
- Características dinâmicas de adição/remoção de nós.

Com a tecnologia *mesh* padrão IEEE 802.11s, os usuário fixos e móveis de instalações portuárias poderão ter acesso a vários serviços por meio de uma ampla conexão sem fio de alta velocidade, aos moldes de uma cidade digital, sem ter que remodelar estruturas pré-existentes.

Sua arquitetura *mesh* consiste basicamente em vários *Mesh Access Points* (MAP), distribuídos nos topos de armazéns, prédios e guindastes fixos, para criar a

nuvem mesh, fazendo desse modo, a conexão com usuários de duas maneiras: primeiramente de forma direta, por meio de dispositivos móveis, sejam eles celulares, *tablets* ou roteadores a bordo de navios e embarcações de apoio para acesso de seus dispositivos fixos, que teriam acesso a rede antes de atracar ao cais; e de forma indireta, por roteadores de acesso à rede, instalados em locais fixos, para usuários que não necessitem de mobilidade, a exemplo de funcionários em escritórios, postos de fiscalização e depósitos.

De acordo com a menção feita no início do capítulo quatro, o padrão IEEE 802.11s aproveita todas as funções de nível físico das emendas 802.11 a/b/g/n para aplicar as técnicas de múltiplos saltos no nível de enlace e, assim, construir uma infraestrutura escalável. Desse modo, os *Mesh Access Points* devem possuir dois tipos de enlace. O primeiro, o qual pode implementar enlaces IEEE 802.11a para comunicação entre si, ou seja, para rede de transporte (*backhaul*), e o segundo, que pode implementar enlaces IEEE 802.11b/g/n para comunicação com dispositivos móveis ou roteadores fixos, ou seja, para a rede de acesso. Além disso, são eles que irão fazer o papel de autenticador durante as negociações com uma estação não-*mesh* que queira utilizar os serviços da nuvem *mesh*, característica que diferencia da forma centralizada das WLAN tradicionais.

Tanto a rede de transporte quanto a de acesso, podem estar implementadas em um único rádio ou em rádios separados. A primeira forma apresenta as seguintes características: baixa taxa de transferência de dados (*throughput*) e baixo custo. A segunda forma possui *throughput* muito maior, pois cada rádio é dedicado à função de *backhaul* ou de acesso. No entanto, muitos rádios podem elevar os custos e ocasionar interferência interna.

Para aproveitar a infraestrutura legada, existem os *Mesh Portal Points* (MPP) para fazer a conexão entre a rede distribuída e o *backbone* sem fio, além de prover funções de *gateway*. Sendo assim, como mencionado no item 4.2.4, esse dispositivo determinará se o destino do encaminhamento dos quadros é para fora da nuvem *mesh*, onde usará funções tradicionais de roteamento IP no nível de rede, ou se é para dentro da nuvem *mesh*, onde trabalhará como uma ponte, possibilitando também interconectar redes cabeadas padrão IEEE 802.3 à nuvem *mesh*.

Devido à natureza distribuída de uma rede *mesh*, quanto à priorização de tráfego e qualidade de serviço, o presente trabalho sugere que somente sejam implementados os serviços da MCF – *Mesh Coordination Function* nos nós *mesh*, como já mencionado no item 4.3.2.

Como resultado, são inúmeras as aplicações identificadas para essa arquitetura *mesh* e que podem ser disponibilizadas em uma instalação portuária, dentre elas, o presente trabalho apresenta:

a) *Hot-Zones*

Uma rede sem fio no padrão tradicional IEEE 802.11, ao criar vários *Hot-Spots*, teria sua implementação dificultada para cada um, devido aos altos custos, além da área de cobertura se limitar a potência dos *Access Points*. Utilizando a arquitetura *mesh*, podem ser constituídas *Hot-Zones*, e não simplesmente *Hot-Spots*, com a colocação de diversos *Mesh Access Points* em áreas adjacentes. Dessa maneira, por exemplo, a conexão com a Internet pode ser limitada, em função do tráfego, a um ou apenas a alguns dos *Mesh Access Points* de um determinado *Hot-Zone*. Este conceito permitirá ter uma cobertura *broadband* em todos os 7,7 milhões de m<sup>2</sup> de área do Complexo Portuário Santista com possibilidade de oferta de diferentes serviços dependendo da localização geográfica do usuário.

## b) Sistemas Inteligentes

Seguindo o conceito de cidades inteligentes (MIT, 2012), existe a possibilidade de se distribuir pela área de cobertura *mesh* sensores para controle de diversos serviços, como por exemplo:

- Controle de semáforos e painéis luminosos de orientação de tráfego.
- Transmissão *on line* das multas aplicadas pelos dispositivos automáticos de registro de infração.
- Controle do nível de iluminação das vias internas. Por exemplo, caso uma área do porto esteja sendo pouco utilizada, a quantidade e/ou intensidade das lâmpadas é diminuída.
- Controle de poluição hídrica e do ar.
- Mapeamento do trânsito interno, permitindo orientar e escoar automaticamente o tráfego em caso de ocorrências de acidentes, obras ou sazonalidade do fluxo comercial.
- Informações aos funcionários e prestadores de serviços.
- Gerência da frota de caminhões que transportam as mercadorias de/para o porto.

## c) Aplicação de Telemetria e Telecomando

A rede *mesh* pode ser utilizada para as aplicações de telemetria e telecomandos que exijam a transmissão de grande volume de dados, como por exemplo, identificar o tipo, a quantidade e a qualidade de produtos manipulados nos terminais graneleiro ou de *container* em tempo real para produção de dados estatísticos. Além do uso de *scanners* portáteis utilizados em depósitos modernos, inicialmente controlados por meio de conexão Ethernet, facilitando, assim, a

implementação do controle de estoques e a logística de transporte pelo uso da arquitetura *mesh*.

d) Segurança

Além de um sistema de câmeras de vídeo, distribuído em pontos relevantes, todas as viaturas podem ser equipadas com dispositivos de acesso à base de dados, tanto internas, como de órgãos de segurança pública, permitindo uma atuação direta e eficaz na identificação e soluções de delitos na área interna e arredor do porto. Essa arquitetura possibilita manter todo o pessoal e estruturas em constante comunicação em situações de emergência.

Seguindo a arquitetura *mesh* proposta, uma instalação portuária, a exemplo do Complexo Portuário de Santos, consegue integrar bem três aspectos fundamentais: infraestrutura, planejamento/gerenciamento e inteligência humana, com a participação de seus funcionários, servidores públicos lotados, prestadores de serviços e população flutuante.

## 7 CONCLUSÃO

A despeito das inúmeras vantagens das redes sem fio, e mesmo com os diversos avanços introduzidos em sua arquitetura, como por exemplo, QoS – fornecido pela emenda IEEE 802.11e, além da possibilidade da elevação da taxa de dados a patamares de 100 a 300Mbps, fornecida pela emenda 802.11n, as redes sem fio tradicionais, que utilizam o padrão IEEE 802.11, ainda apresentam várias limitações.

Dentre elas, uma limitação muito significativa é a dependência de um *backbone* cabeado, principalmente quando existe a necessidade de ampliação da área de cobertura. As redes sem fio tradicionais ainda carecem de muitos fios, pois o sinal e o *throughput* se degradam muito rapidamente na medida em que a estação se afasta do AP, sendo assim, se faz necessário de uma estrutura cabeada para a instalação de novos pontos de acesso.

Visto que os AP não fala diretamente entre si, outra limitação expressiva do padrão 802.11 é a necessidade de um nó centralizador para troca de dados entre os usuários da rede. E quando ocorre a interrupção em algum ponto de acesso, existe o comprometimento da comunicação de todas as estações que o utilizam.

Este trabalho buscou apresentar uma solução para WLAN de diferentes portes, visto que poderia atender a um pequeno porto, obedecendo ao requisito de escalabilidade futura, e a instalações de dimensões similares ao Complexo Portuário de Santos. Os cenários de aplicação vão desde a cobertura de um campus até a implantação de redes metropolitanas sem fio, como apresentado em outros trabalhos descritos no capítulo cinco.

A arquitetura IEEE 802.11s visa a atender as necessidades apresentadas no início do capítulo seis, provendo inúmeros benefícios e vantagens em uma

instalação portuária, independente do seu tamanho e variação de quantidade de nós e usuários. O presente trabalho apresenta os principais pontos que fazem esse padrão atender tais necessidades:

- a) Utiliza tecnologia com os mesmos padrões de redes wireless tradicionais IEEE 802.11a/b/g/n já em funcionamento.
- b) Uso dos equipamentos dos próprios usuários, além de seus *Mesh Points*, para implementação e ampliação do *backhaul*. Com isso, existe a necessidade de menos cabos, significando um custo menor para montar uma rede, particularmente para grandes áreas de cobertura. Tornando-se, assim, uma arquitetura apropriada onde não há possibilidade para fazer a conexão *Ethernet*, tais como em pátios onde se acomodam containers ou automóveis e depósitos ou armazéns já existentes.
- c) Possibilidade do aumento da distância entre a origem e o destino sem prejudicar a taxa de transmissão, pois sempre se pode utilizar de saltos através de nós intermediários, que podem ser equipamentos móveis, inclusive de usuários, tornando a distância de cada salto compatível com a velocidade que se deseja transmitir.
- d) Quanto mais nós instalados, maior será o *throughput* da rede *mesh*. Além de que, quando um nó *mesh* está com o tráfego saturado, existe a possibilidade de realizar um balanceamento de carga, movendo parte do tráfego para nós menos exigidos, evitando, assim, o atraso na entrega de pacotes ou mesmo a perda devido ao congestionamento.
- e) Inexistência de um nó do qual dependa toda a rede. No caso da queda de um nó qualquer, as comunicações passam a serem feitas por meio de outros nós. Não havendo a necessidade da interrupção de uma comunicação já ativa,



pois os próximos pacotes serão encaminhados através de outros nós alternativos, ficando tudo transparente para o usuário. As configurações da malha sem fio permitem que as redes locais funcionem com mais rapidez, pois os pacotes locais não precisam voltar para um servidor central.

- f) São úteis para as configurações de rede NLoS (*Non-Line-of-Sight*), onde os sinais sem fio são bloqueados de forma intermitente. Por exemplo, guindastes móveis, torres e posicionamento de grandes navios no cais podem bloquear o sinal de um AP. Se houver inúmeros outros nós *mesh* ao redor, a rede *mesh* se ajustará para encontrar um sinal claro.
- g) É uma topologia autoconfigurável, uma vez que a rede incorpora automaticamente um novo nó na estrutura existente sem a necessidade de qualquer ajuste por um administrador de rede. Além de ser autorreparadora, devido a rede *mesh* encontrar automaticamente os caminhos mais rápidos e confiáveis para enviar os dados, mesmo que alguns nós *mesh* estejam bloqueados ou tenham perdido seu sinal.
- h) Outro grande diferencial no padrão IEEE 802.11s é o uso de um protocolo de roteamento híbrido, o HWMP – *Hybrid Wireless Mesh Protocol*, associado a uma métrica de seleção de caminho com características multidimensionais, a *Airtime Link Metric*, ambos já explicados em detalhes nos itens 4.2.2 e 4.2.3, respectivamente. O primeiro atenderá o dinamismo de uma instalação portuária, independente do seu porte. Pois mesmo grandes portos podem estar com fluxo pequeno de usuários, em uma determinada época do ano, ou seja, atenderá tanto redes com uma pequena quantidade de nós ativos, quanto uma com maior número de nós. E a segunda é ideal para capturar informações de cada enlace e definir a sua qualidade, sendo assim, consegue

prover um roteamento consistente, conseguindo suportar a complexidade de diferentes níveis de QoS, banda, latência e segurança.

- i) Como já detalhado no item 4.2.2, a nuvem *mesh* é formada basicamente por AP, que são tipicamente dispositivos da camada de enlace do modelo OSI. Dessa forma, quando deseja enviar um quadro para uma estação, usará uma tabela de encaminhamento, ao invés de um algoritmo de roteamento. E assim o tempo de processamento para encaminhar um quadro em redes IEEE 802.11s é menor que em redes que utilizam métodos tradicionais com múltiplos saltos no nível de rede. Além de que, os custos de aquisição de equipamentos de comutação, como *Mesh Access Point*, são menores que equipamentos de roteamento. Contribuindo sobremaneira em sua escolha de para a implementação de uma rede *mesh*, aliada ao exposto na alínea b.

Conforme o que foi exposto acima, o presente trabalho apresentou a *Wireless Mesh Network* padrão IEEE 802.11s como uma tecnologia promissora para a nova geração de redes sem fio, com possibilidade de uso eficiente em instalações portuárias independente de suas dimensões, fluxo comercial e possibilidade de crescimento.

## REFERÊNCIAS

AGUAYO, D.; BICKET, J.; BISWAS, S.; MORRIS, R. *Architecture and Evaluation of an Unplanned 802.11b Mesh Network*. In: *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2005)*, 2005, Cologne: ACM, p.31-42, ago. 2005.

AKYILDIZ, I. F.; WANG, X.; WANG, W. *Wireless mesh network: a survey*; *Computer Networks*, v.47, p.445-487, 2005

ALBUQUERQUE, C. V. N.; SAADE, D. C. M.; GOMES, A. G.; CARRANO, R. C.; MAGALHÃES, L. C. S.; TAROUÇO, L. R. *Multihop MAC: Desvendando o Padrão 802.11s*; Livro texto dos minicursos do XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC 2008, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: Informação e documentação. Referências: elaboração*. Rio de Janeiro, ago. 2002. 24p.

\_\_\_\_\_. *NBR 10520: Informação e documentação. Citações em documentos: apresentação*. Rio de Janeiro, ago. 2002. 7p.

\_\_\_\_\_. *NBR 14724: Informação e documentação. Trabalhos acadêmicos: apresentação*. Rio de Janeiro, mar. 2011. 11 p.

BISNIK, N.; ABOUZEID, A. *Delay and throughput in random access wireless mesh networks*. *IEEE International Conference on Communications (ICC 2006)*, 2006, Stambul: IEEE, v. 1, p. 403-408, jun. 2006.

BLAKE, S.; BLACK, D.; CARLSON, M.; DAVIES, E.; WANG, Z.; WEISS, W. *An Architecture for Differentiated Services*. RFC 2475, dec. 1998.

BRADEN, R.; CLARK, D.; SHENKER, S. *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*. RFC 1633, jul. 1994.

BRASIL. Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 5 jun. 2013. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm)>. Acesso em: 07 nov. 2013.

CAMP, J. D.; KNIGHTLY, E. W. *The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard*. *IEEE Communications Magazine*, v. 46, n. 8, p. 120-126, 2008.

CISCO. *Cisco Wireless Mesh Networking* In: CISCO. *Enterprise Mobility 7.3 Design Guide*, San Jose - CA, set. 2013a. cap. 8. Disponível em: <<http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/emob73dg/eMob73.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2014.

CISCO. *The Cisco Learning Network: Entendendo a diferença entre largura de banda e latência*, San Jose - CA, 2013b. Disponível em: <<https://learningnetwork.cisco.com/docs/DOC-20318>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

CRAWLEY, E.; NAIR, R.; RAJAGOPALAN, B.; SANDICK, H. *A Framework for QoS-based Routing in the Internet*. RFC 2386, ago. 1998.

DÍAZ, L. E. N.; DÍAZ, J. A. P. *A Model for designing WLAN's 802.11 for VoIP*. In: *Proceedings of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, v.2, Cuernavaca: IEEE, 2006.

FACCIN, S. M.; WIJTING, C.; KNECKT, J.; DAMLE, A. *Mesh WLAN Networks: Concept and System Design*. IEEE Wireless Communications, v. 13, n. 2, p. 10-17, 2006.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). *About IEEE*, New York, 2013. Disponível em: <<http://www.ieee.org/about/index.html>>. Acesso em 15 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802 – 2001: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*, New York, 2002

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802.1D – 2004: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Access Control (MAC) Bridges*, New York, 2004a.

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802.1X – 2010: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Port-Based Network Access Control*, New York, 2010.

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802.3 – 2012: IEEE Standard for Ethernet*, New York, 2012a.

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802.11 – 2012: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, New York, 2012b.

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802.11i – 2004: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Amendment 6: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements*, New York, 2004b.

\_\_\_\_\_. *IEEE Std. 802.16.2 – 2004: IEEE Recommended Practice for Local and Metropolitan Area Network: Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems*, New York, 2004c.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2010*, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 14 nov. 2013.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). *What is meant by ISM applications and how are the related frequencies used?*, Genebra, 2007. Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE (IETF). *About the IETF*, Fremont - CA, 2013. Disponível em: <<http://www.ietf.org/about/>>. Acesso em 30 dez. 2013.

KUROSE, James F.; ROSS Keith W. *Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down*. Tradução Arlete Simille Marques. 3.ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2006.

LEE, M. J.; ZHENG, J.; KO, Y. B.; SHRESTHA, D. M. *Emerging Standards for Wireless Mesh Technology*. IEEE Wireless Communications, v. 13, n.2, p. 56-63, 2006.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). *City Science*, Cambridge, 2012. Disponível em: <<http://cities.media.mit.edu/>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

MORAES, I. M. *VLANS: Redes Locais Virtuais*. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/grad/02\\_2/vlans/introducao.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/vlans/introducao.html)>. Acesso em: 22 dez. 2013.

ROCH, S. *Nortel's Wireless Mesh Network solution: Pushing the boundaries of traditional WLAN technology* In: LEBLANC, V.; CARBONE, P. (Orgs.) *Nortel Technical Journal*. 2.ed. Canadá, p. 18-23, jul. 2005. Disponível em: <[http://faculty.kfupm.edu.sa/COE/ashraf/RichFilesTeaching/COE072\\_543/Papers/ntj2.pdf](http://faculty.kfupm.edu.sa/COE/ashraf/RichFilesTeaching/COE072_543/Papers/ntj2.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2014.

SAADE, D. C. M.; ALBUQUERQUE, C. V. N.; ABELÉM, A. J. G.; MAGALHÃES, L. C. S.; AGUIAR, E. S.; DUARTE, J. L.; FONSECA, J. E. M. *Redes Mesh: Mobilidade Qualidade de Serviço e Comunicação em Grupo*; Livro texto dos minicursos do XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC 2007, Belém, 2007.

SANTOS. Imprensa - *Estrutura do Porto de Santos*, Santos, jun. 2013. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br/imprensa.php?pagina=art1>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

TANENBAUM, Andrew S. *Redes de Computadores*. Tradução Vandenberg D. de Souza. 4.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (UFF). *ReMesh: Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga Sem Fio*, Niterói, 2007. Disponível em: <<http://www.midiacom.uff.br/remesh>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

WEBER, S.; CAHILL, V.; CLARKE, S.; HAAHR, M. *Wireless Ad Hoc Network for Dublin: A Large-Scale Ad Hoc Network Test-Bed*; ERCIM News, vol. 54, jul. 2003. Disponível em: <[http://www.ercim.eu/publication/Ercim\\_News/enw54/weber.html](http://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw54/weber.html)>. Acesso em: 07 nov. 2013.

WI-FI. *Organization*, Austin - TX, 2013. Disponível em: <<http://www.wi-fi.org/about/organization>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

WIMAX. *Technical Specifications*, Clackamas - OR, 2013. Disponível em: < <http://www.wimaxforum.org/resources/technical-specifications> >. Acesso em: 05 dez. 2013.

ZIGBEE. *Specifications*, San Ramon - CA, 2013. Disponível em: < <http://www.zigbee.org/Specifications.aspx> >. Acesso em: 05 dez. 2013.