

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE
COMPUTADORES

Henrique Behenck Mohr

**TECNOLOGIAS PARA REDES COMUNITÁRIAS DE INTERNET
SEM FIO**

Santa Maria, RS
2016

Henrique Behenck Mohr

TECNOLOGIAS PARA REDES COMUNITÁRIAS DE INTERNET SEM FIO

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Redes de Computadores, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Tecnólogo em Redes de Computadores.**

Orientador: Me. Renato Preigschadt de Azevedo

Santa Maria, RS
2016



Este trabalho está licenciado pela [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)
This work is licensed under the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Henrique Behenck Mohr

TECNOLOGIAS PARA REDES COMUNITÁRIAS DE INTERNET SEM FIO

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Redes de Computadores, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Tecnólogo em Redes de Computadores.**

Aprovado em 06 de dezembro de 2016:

Renato Preigschadt de Azevedo, Me. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Guilherme Dhein, Dr. (UFSM)

Rafael Pereira, PhD. (UMINHO)

Santa Maria, RS
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, pelo afeto e motivação nas horas necessárias.

Aos amigos que fiz durante essa caminhada, especialmente: Elis, Thani, Luíz, Rodrigo, Macarena, Zeca Noya, José Lisik, Chimica. Obrigado!

Ao professor Renato, por aceitar o desafio de me orientar neste trabalho.

À todos que de alguma forma estiveram presentes, um muito obrigado.

Ninguém é livre sozinho.

(Autor desconhecido)

RESUMO

TECNOLOGIAS PARA REDES COMUNITÁRIAS DE INTERNET SEM FIO

AUTOR: Henrique Behenck Mohr

ORIENTADOR: Renato Preigschadt de Azevedo

As redes comunitárias de internet sem fio são um importante campo em redes de computadores e acessibilidade. O problema de acesso aos meios de comunicação é resolvido através de uma abordagem participativa, comunitária. Somando-se a isso, ferramentas baseadas em licenças livres são utilizadas, a fim de que o conhecimento sobre como a rede opera seja acessível. Esse modelo alternativo utiliza uma topologia em malha tornando a rede descentralizada, possibilitando a instalação por indivíduos ou grupos sem conhecimento prévio no assunto. Os projetos LibreMesh e Quick Mesh Project (QMP) objetivam isso. Protocolos de roteamento dinâmico, Better Approach to Mesh Ad-hoc Networks (B.A.T.M.A.N.-Adv) e B.A.T.M.A.N. Experimental 6 (B.M.X. 6), são utilizados em redes de produção e oferecem uma série de vantagens, por exemplo: baixo *overhead* em mensagens periódicas e *links* redundantes sem formar *loops*. Dois cenários são analisados: a construção de uma rede comunitária no estado do Rio de Janeiro, Brasil, e, um cenário fictício no qual propõe-se uma solução para um dado problema.

Palavras-chave: Rede Comunitárias em Malha. Redes Descentralizadas. Apropriação Tecnológica.

ABSTRACT

WIRELESS COMMUNITY NETWORKS TECHNOLOGIES

AUTHOR: Henrique Behenck Mohr
ADVISOR: Renato Preigschadt de Azevedo

Wireless Community Networks are an important subject in the field of computer networks and accessibility given the problem it solves and the manner it occurs. The problem of inability to access a medium of communication is solved by using a cooperative approach, community based. Given this demand, tools based in free software principles are developed aiming a common firmware for community networks and to keep the knowledge about the network open. This alternative model uses by default a mesh topology-like in order to obtain a decentralized network which can be build by individuals or groups without previous experience in this subject. Projects like LibreMesh and Quick Mesh Project (QMP) aim this. Dynamic routing protocols like Better Approach to Ad-hoc Mesh Networks Advanced (B.A.T.M.A.N.-Adv.) and B.A.T.M.A.N. Experimental 6 (BMX6) are used in production networks and offer a set of advantages e.g. low overhead in periodic messages and redundant links without forming loops. Two scenarios are analyzed: a deploy of a real community network in Rio de Janeiro, Brasil, and a fictitious scenario where is proposed a solution for a given problem.

Keywords: Community Networks. Accessibility. Dynamic Routing Protocols. WMN.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixas de frequência para redes sem fio.....	6
Figura 2 - Infraestrutura básica de uma rede sem fio.....	7
Figura 3 - Enlaces ponto a multi-ponto.....	10
Figura 4 - Broadcast de mensagens OGM do nó A através da rede.....	13
Figura 5 - Troca de frames entre nó A e nó B.....	16
Figura 6 - Representação interna dos nós.....	18
Figura 7 - Arquitetura de rede.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - subgrupos do padrão 802.11 e suas características.....	8
---	---

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>AP</i>	<i>Access Point</i>
<i>BSS</i>	<i>Basic Service Set</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>IP</i>	<i>Internet Protocol</i>
<i>POE</i>	<i>Power Over Ethernet</i>
<i>SHA-1</i>	<i>Secure Hash Algorithm 1</i>
<i>STA</i>	<i>Station</i>
<i>UDP</i>	<i>User Datagram Protocol</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO.....	2
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 REDES SEM FIO.....	5
2.2 IEEE 802.11.....	6
2.3 TIPOS DE ENLACE.....	9
2.3.1 Ponto a Ponto.....	9
2.3.2 Ponto a Multi-ponto.....	10
2.3.3 Multi-ponto a Multi-ponto (Mesh).....	10
2.4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO.....	11
2.4.1 B.A.T.M.A.N.-ADV.....	12
2.4.2 B.M.X. 6.....	13
2.5 SOLUÇÕES DE AUTOCONFIGURAÇÃO.....	18
2.5.1 QMP.....	19
2.5.2 LibreMesh.....	20
3 REDES COMUNITÁRIAS.....	22
3.1 MOTIVAÇÃO.....	22
3.2 MODELO DE GESTÃO.....	23
3.3 LICENÇAS DE USO.....	24
3.4 ECONOMIA LOCAL.....	24
4 ESTUDO DE CASO.....	26
4.1 CIDADES DIGITAIS: UM POSSÍVEL CENÁRIO.....	28
5 CONCLUSÃO.....	29
6 REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

A Internet possibilitou encurtar distâncias entre pessoas, viabilizando o desenvolvimento de inúmeros projetos construídos coletivamente. O funcionamento da Internet está documentado nas *Request for Comments* (RFC), que são elaboradas horizontalmente, de forma colaborativa, hoje mantidas pela IETF (Internet Engineering Task Force) (IETF, 2016).

O interesse em desenvolver tecnologias para interconectar computadores e formar uma rede futuramente, começou através do departamento de defesa norte-americano, no auge da Guerra Fria, na década de 60. A rede militar contou com a colaboração dos setores político, acadêmico e empresarial. Consequentemente, as empresas e universidades foram as pioneiras no desenvolvimento.

Os primeiros locais que foram contemplados com acesso à internet no Brasil foram as universidades, em 1988. Nessa mesma época é fundada a Rede Nacional de Pesquisa, com o objetivo de interligar instituições de ensino e pesquisa formando uma rede acadêmica. O acesso à internet é liberado ao público em 1992, aparecendo o primeiro provedor em 1995, na cidade de Campinas. Em junho de 2000 existiam oito provedores, após um ano, restaram três.

Segundo AKAMAI (2016, p. 24), a velocidade média de acesso à internet (IPv4) que o brasileiro obtém é de 4,5 Mbps, ocupando a 95ª posição no ranking global. Além do mais, o Brasil não troca dados diretamente com seus países vizinhos, sendo o tráfego carreado para os EUA antes de chegar às outras localidades.

O Brasil, sendo um país de grande extensão territorial necessita de outras estratégias para aumentar a oferta de conexão. Pode-se cogitar a utilização de um modelo alternativo para o desenvolvimento de redes descentralizadas, cuja instalação pode ser realizada por pessoas não especializadas. Este modelo baseia-se na filosofia “faça-você-mesmo”, popular na década de 60. Nesse contexto, existem projetos que visam resolver esse problema oferecendo um conjunto de ferramentas

disponibilizadas sob licenças livres, possibilitando a utilização em qualquer parte do globo.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo descrever algumas tecnologias que são utilizadas, principalmente na América Latina, para a construção de redes sem fio. Nesta abordagem, a rede possui caráter descentralizado tanto técnico quanto social. No aspecto técnico, serão abordados protocolos, B.M.X. 6 e B.A.T.M.A.N.-ADV., otimizados para topologias em malha sem fio, e projetos, qMp e LibreMesh, que objetivam fornecer um *firmware* que se autoconfigure conforme o dispositivo que for instalado para aproximar pessoas dos avanços da tecnologia.

1.2 JUSTIFICATIVA

Na época em que vivemos, tornou-se possível ser um produtor de mídias ao invés de apenas consumidor, além de ser possível escolher dentre os mais variados formatos e recursos. Este é o cenário em grandes centros, onde o acesso ao meio de comunicação digital está amplamente disponível à sociedade. Em zonas distantes destes centros, entretanto, não ocorre o mesmo. Devido à baixa densidade demográfica, as empresas não visualizam vantagens econômicas e deixam de ofertar serviços de telecomunicações.

Com base no contexto citado, buscam-se alternativas para as pessoas que moram nestas áreas distantes. Como marco, pode-se tomar por modelo a configuração inicial da Internet, cujas conexões se formavam espontaneamente, sem a necessidade de um provedor de acesso. Uma notável desvantagem era a complexidade de configuração dos aparelhos e seu custo elevado.

Garantir autonomia às comunidades em gerenciar o seu próprio meio de comunicação, de caráter livre e neutro, pode significar uma quebra de paradigma. Optando-se por um estilo descentralizado de infraestrutura, a rede começa onde, no modelo centralizado, ela termina:

na casa do usuário; ou seja, o ponto final torna-se o ponto inicial. Sendo assim, o usuário torna-se mantenedor de uma parte da rede e lhe é possibilitado desempenhar o papel de produtor de bens digitais.

A construção de redes descentralizadas baseiam-se em princípios de cooperação, compartilhamento e ajuda mútua, na perspectiva do meio de comunicação ser um bem comum a todos. Em tal modelo, cada nó tem a capacidade de expandir a rede e ser acessível por qualquer outro nó que faça parte da mesma rede. E, quando algum nó possuir acesso à rede mundial de computadores, a Internet, este, poderá ser compartilhado com os outros nós.

Comunidades que não são contempladas pelo modelo vigente, ao optarem por construir e manterem sua própria infraestrutura, podem ressignificar o acesso ao mundo digital. Essa ressignificação se origina do processo de transformação do usuário consumidor para o usuário produtor, que se materializa na apropriação da tecnologia. Diferentes abordagens podem ser tomadas nesse sentido.

A autonomia se dá no momento em que se opta por soluções que utilizam licenças de software livre, pois não impedem que o funcionamento da rede seja estudado por quem interessar. Além disso, por ser uma rede descentralizada, sem distinção entre cliente e servidor, serviços de hospedagem e *streaming* poderão ser oferecidos por quem estiver dentro da rede.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Para uma melhor compreensão de todos os tópicos abordados, o trabalho foi estruturado da seguinte maneira: primeiramente, no capítulo 2, foi realizada uma revisão de bibliografia com os principais conceitos necessários à compreensão das redes *mesh*, os projetos QMP e LibreMesh e os respectivos protocolos de roteamento dinâmico que utilizam. No capítulo 3, o tema redes comunitárias é abordado, discutindo como elas se formam e possíveis modelos de gestão. No capítulo 4, serão relatadas experiências na construção de uma rede comunitária no Rio de Janeiro, vivenciadas em agosto de 2015. Por fim, no capítulo 5, serão realizadas as

considerações finais, fruto das reflexões possibilitadas pela vivência e pela revisão de literatura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica necessária para compreender as redes *mesh* sem fio, o padrão IEEE 802.11, protocolos de roteamento orientados à redes *mesh*: B.A.T.M.A.N.-ADV. e B.M.X. 6. Além disso, será fornecida uma visão geral sobre os projetos que têm por objetivo facilitar a implementação de redes *mesh*. Estes, oferecem um conjunto de ferramentas que se autoconfiguram, diminuindo os conhecimentos necessários para a montagem da rede.

Neste trabalho serão abordados os protocolos de redes *mesh* supracitados. Entretanto, existem muitos outros protocolos que podem ser utilizados, tais como BABEL (BABEL, 2016) e OLSR (OLSR, 2016). Justifica-se a não utilização destes, pois, segundo GARCIA (2012), testes realizados com 33 roteadores espalhados numa área de 2.000m² demonstraram o bom desempenho dos protocolos B.M.X. 6 e B.A.T.M.A.N.-ADV. perante OLSR, BABEL e B.A.T.M.A.N. Em NEUMANN (2015, p. 12) utilizam-se duas topologias, uma baseada numa rede comunitária real e outra simulada, demonstrando que o protocolo B.M.X. 6 apresenta menor tempo de convergência, perante os protocolos OLSR e BABEL, quando um novo nó é adicionado na rede.

2.1 REDES SEM FIO

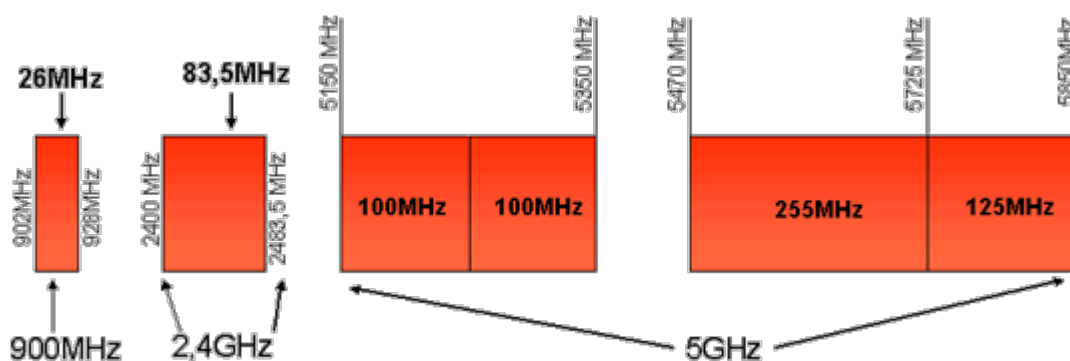
O desenvolvimento das redes sem fio tornou possível a mobilidade dos dispositivos, tanto celulares quanto computadores. Diferentemente das redes cabeadas, que utilizam um meio guiado para se interconectar, as redes sem fio utilizam o espaço para propagação de sinais. Por este motivo, faz-se necessário uma autoridade para definir o alocamento de frequências. No Brasil, a agência nacional de telecomunicações (ANATEL) faz este papel, enquanto que segue as definições da união internacional de telecomunicações (ITU) (ITU, 2016).

A tecnologia mais notável de redes sem fio é o padrão IEEE 802.11, que deu origem ao termo *Wireless Fidelity* - WiFi. As frequências

comumente utilizadas, no Brasil, são: 2,4 a 2,483Ghz e 5,150 a 5,350 Ghz e 5,470 a 6,850 Ghz, definidas pela Anatel como *Instrumental, Scientific and Medical frequencies* (ISM), que são de uso livre com a premissa de sofrer interferência de outros aparelhos que operem na mesma faixa. A banda de 900MHz é utilizada por celulares para transmissões de voz e dados, sendo de uso restrito e necessária licença para utilizar.

Na Figura 1 pode-se observar o tamanho de banda destinado as redes sem fio com espectro não licenciado.

Figura 1 - Faixas de frequência para redes sem fio



Fonte -

http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina_3.asp

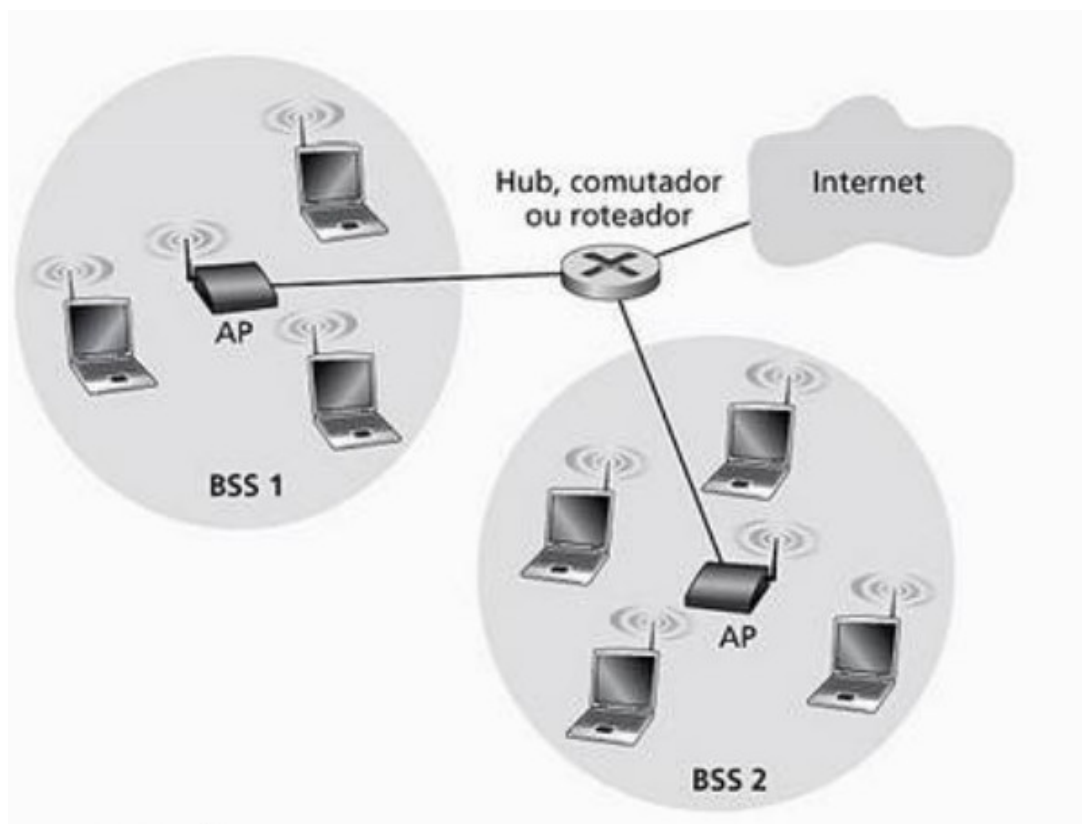
As redes sem fio possibilitaram a expansão para zonas remotas, reduzindo o custo ao utilizar meios não guiados. O padrão responsável por definir a arquitetura para redes *Wireless* é descrito à seguir.

2.2 IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 consiste na arquitetura utilizada para transmissão de dados em redes locais sem fio. Este padrão é desenvolvido e mantido por um grupo de trabalho e seus sub-grupos, que utilizam a mesma arquitetura, mas diferem em características. O projeto é mantido pela Associação de Padrões do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos, IEEE-AS (IEEE, 2016).

A base da arquitetura é o conceito de *Basic Service Set - BSS*, que caracteriza-se por cobrir uma área - *Basic Service Area* - e prover cobertura de infraestrutura para que as *Stations (STA)* se comuniquem. O equipamento, que provê infraestrutura de comunicação sem fio para um ou mais dispositivos, chama-se *Access Point - AP*. Portanto, cada *AP* terá seu próprio *BSS*. A Figura 2 demonstra os conceitos explicados anteriormente.

Figura 2 - Infraestrutura básica de uma rede sem fio



Fonte: Kurose, Ross.

Nesse contexto, um sistema de distribuição (DS) é caracterizado pelo conjunto de equipamentos que interligam as diferentes BSS. O conjunto de duas ou mais BSSs que possuem o mesmo SSID (Service Set Identifier) formam um ESS (Extended Service Set). Os dispositivos que transitarem de um AP para outro, dentro de uma mesma ESS, podem

realizar *roaming*; quer dizer, trafegar entre diferentes APs sem que haja quebra das conexões vigentes, a menos que seja necessário renovar seu endereço IP.

Os *Access Points* de uma rede sem fio podem ser interligados utilizando o padrão Ethernet 802.3, caracterizando os *Aps* de infraestrutura, ou, de maneira que não haja um ponto central na rede, caracterizando as redes *Ad Hoc*. Nas redes *Ad Hoc* será possível obter acesso a diversos sistemas de distribuição, visto que vários *gateways* para a Internet poderão existir.

O padrão 802.11 especifica vários subgrupos de trabalho, que possuem características e objetivos diferentes, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - subgrupos do padrão 802.11 e suas características

Padrão IEEE	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Ano de Adoção	1999	1999	2003	2009	2014
Frequência	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz	5 GHz
Taxa de Dados	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	1 Gbps
Alcance Indoor	30 Metros	30 Metros	38 Metros	68 Metros	27 Metros
Alcance Outdoor	122 Metros	137 Metros	137 Metros	251 Metros	304 Metros

Adaptado de: <http://wirelessdmx.com/news/review-of-the-802-11-standards>

A emenda 802.11s define a maneira que dispositivos devem se comunicar para formar uma rede *mesh* sem fio. Por exemplo: dois computadores que necessitam trocar arquivos entre si, podem fazê-lo sem a presença de um ponto de acesso. Utilizando essa emenda, junto de outras supracitadas, no roteador, será possível estabelecer conexão com outros roteadores através de enlaces sem fio, tornando o planejamento

dos pontos da rede flexível. Formar uma rede utilizando esta emenda significa substituir os cabos *ethernet* por enlaces sem fio, reduzindo os custos de implantação e manutenção dos enlaces.

Para uma abordagem mais aprofundada dos conceitos da arquitetura IEEE 802.11, consulte¹.

2.3 TIPOS DE ENLACE

Existem diferentes tipos de enlace no contexto de redes sem fio. Cada um deles tem destaque em determinado cenário. Caracterizam-se por manter um fluxo bidirecional de dados entre dois ou vários nós e, por serem transmitidos num ambiente livre, a degradação do sinal ocorre pelas mais variadas forças. Cada tipo de enlace tem suas vantagens e desvantagens.

O enlace do tipo ponto a ponto é usualmente utilizado em redes hierárquicas; em contraste, enlaces multi-ponto a multi-ponto são utilizados em redes distribuídas para conectar dois ou vários nós. A visada entre os nós oferece melhor qualidade de sinal. Entretanto, enlaces sem visada podem ser estabelecidos em distâncias menores, com perda na qualidade do sinal.

2.3.1 Ponto a Ponto

Quando duas localidades distantes desejam estabelecer um enlace para troca de dados, utiliza-se um enlace do tipo ponto a ponto. Este é utilizado em conjunto de uma antena direcional, a qual tem a finalidade de direcionar o sinal a uma determinada área. A visibilidade entre os dois pontos a serem interconectados pode existir ou não. Caso não exista, o enlace também poderá ser feito, mas com a desvantagem de talvez ser necessário um repetidor no meio do caminho ou utilizar mais potência no equipamento.

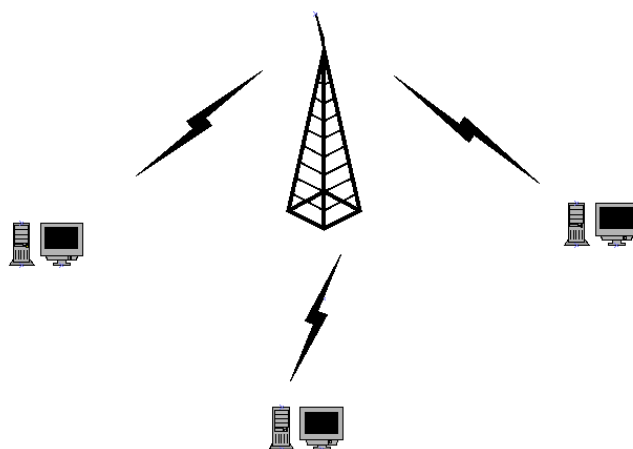
1 <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>

2.3.2 Ponto a Multi-ponto

Os enlaces ponto a multi-ponto caracterizam-se por transmitir o sinal de um nó para muitos. Geralmente, este é o tipo de enlace entre o AP e o cliente final.

O cenário que é mostrado na Figura 3, apresenta os enlaces de uma rede local sem fio:

Figura 3 - Enlaces ponto a multi-ponto



Fonte: próprio autor

2.3.3 Multi-ponto a Multi-ponto (Mesh)

Uma rede em malha – ou *mesh* – é a qual cujos nós participantes, em algum momento, conhecem todos os outros nós da rede. Essa característica, dentre várias outras, permite que a rede torne-se resiliente à falhas, visto que, múltiplos caminhos podem existir para um determinado nó.

Emprega-se esta topologia em redes comunitárias sem fio por dois motivos:

- a) autoridade central inexistente;
- b) redundância de enlaces;

c) a discriminação de tráfego, seja de cliente ou servidor, não ocorre. Ou seja, existe neutralidade no tráfego e o conhecimento de como a rede opera é distribuído pela mesma.

A utilização de técnicas de tradução de endereços de rede - NAT - numa rede em malha é desencorajada, visto que torna o tráfego assimétrico(CHUGH, 2003) e impossibilita que conexões sejam iniciadas por clientes que estejam fora da rede. Este mecanismo surgiu para suprir a escassez de endereços IP versão 4, não necessária a utilização em redes IP versão 6.

2.4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

Os protocolos de roteamento têm a função de trocar informações sobre os nós existentes na rede e atualizar suas tabelas de encaminhamento. Quando a rota solicitada não está presente na tabela, o protocolo realizará consultas a seus vizinhos. Esta consulta poderá ser feita de antemão, através de protocolos proativos, ou quando solicitado, caracterizando os protocolos reativos. As redes em malha usualmente utilizam protocolos híbridos, utilizando as duas técnicas, que se adaptam às mudanças na topologia da rede.

Para averiguar qual a melhor rota a ser escolhida, ou de menor custo, o protocolo utiliza dois tipos de métricas para preencher sua tabela de roteamento: estado de enlace ou vetor de distância. Segundo KUROSE(2010), os algoritmos de estado de enlace procuram descobrir toda a topologia da rede e os custos de cada enlace. Por outro lado, os algoritmos de vetor de distância utilizam uma abordagem distribuída, sendo que cada nó recebe informações de seus vizinhos, realiza cálculos e distribui os resultados.

Protocolos que utilizam a técnica de estado de enlace inundam a rede com suas rotas, com objetivo de que cada nó tenha um mapa completo da rede e saiba qual é o melhor caminho para determinada rota.

Os protocolos que utilizam a técnica de vetor de distância armazenam informações sobre a melhor rota somente para o próximo salto, determinando por quais nós intermediários deverá passar até

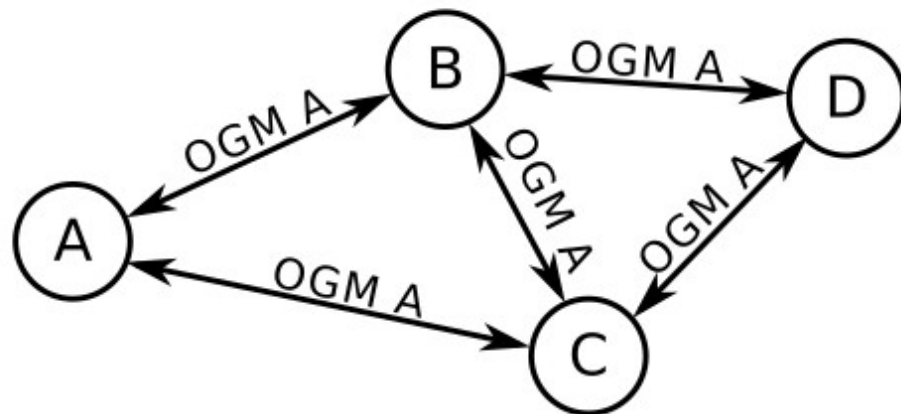
chegar ao nó de saída. Diversas métricas são utilizadas: número de salto, tempo estimado em milissegundos, etc.

2.4.1 B.A.T.M.A.N.-ADV.

O protocolo B.A.T.M.A.N.-ADV. (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networks Advanced) é um driver de kernel, e protocolo, que se encontra na camada de enlace e atua como um grande *switch* virtual. Essa característica torna o protocolo agnóstico quanto ao protocolo que for utilizado na camada de rede. Desenvolvido na linguagem C e publicamente disponível (OPENMESH, 2016) desde 2006, a versão ganhou o sufixo 'adv', de Advanced (avançado), quando passou a operar na camada de enlace.

O objetivo do protocolo é maximizar as chances de uma mensagem ser entregue, além de não verificar a qualidade do *link*, mas sua existência (JOHNSON, 2008). Para transmitir informações de si, descobrir outros nós existentes na rede e medir a qualidade de possíveis rotas, cada nó faz o *broadcast* de mensagens OGM (Originator Messages), conforme exemplificado na Figura 4:

Figura 4 - Broadcast de mensagens OGM do nó A através da rede



Fonte - HUNDEBOLL, M.; LEDET-PEDERSEN, J.

Para determinar se uma rota passa a fazer parte do próximo melhor salto, são verificadas quantas mensagens OGM já foram recebidas deste nó. Este valor é chamado de Qualidade de Transmissão (TQ).

2.4.2 B.M.X. 6

O protocolo BatMan-eXperimental versão 6 (BMX6, 2016) é baseado no protocolo B.A.T.M.A.N.-ADV., sendo utilizado para realizar funções de roteamento na camada de rede. Projetado para dispositivos embarcados, utiliza uma abordagem baseada em aspectos sociais para obter informações sobre a vizinhança e otimizar o desempenho. Na versão 7 (NEUMANN et. al., 2016), apresenta a adição de extensões de segurança, onde cada nó autentica os outros nós e cria uma topologia dos nós em quem confia.

O desenho do protocolo se baseia em características do cotidiano, como por exemplo, em um bairro, onde os vizinhos raramente mudam de lugar, as habilidades e fraquezas são bem conhecidas, e, sendo o vocabulário único de cada morador, quando essas informações são aprendidas a comunicação é otimizada. Podem-se elencar três características sociais utilizadas: egoísmo, tolerância e socialização. À seguir, segue a definição de cada uma, conforme (NEUMANN, 2011):

- a) Egoista: cada nó utiliza seu próprio vocabulário;
- b) Social: além de aprender o vocabulário, aprende as características de seus vizinhos;
- c) Tolerante: respeita a métrica de cada nó e retransmite mensagens que não foram recebidas.

O projeto e os desenvolvedores deste protocolo se mostram maduros ao entender a peculiaridade das redes em malha, visto a diversidade de aspectos sociais e a constante evolução da comunidade. No futuro, talvez seja possível que cada comunidade desenvolva o seu protocolo conforme as suas necessidades.

O protocolo trabalha utilizando técnicas de vetor de distância, focando na redução de processamento e no tráfego na rede. Funciona de maneira proativa, utilizando o protocolo da camada de transporte *User Datagram Protocol* (UDP) para disseminar suas mensagens. O protocolo utiliza tabelas para guardar informações sobre destino, próximo salto e custo, onde são mantidas e atualizadas.

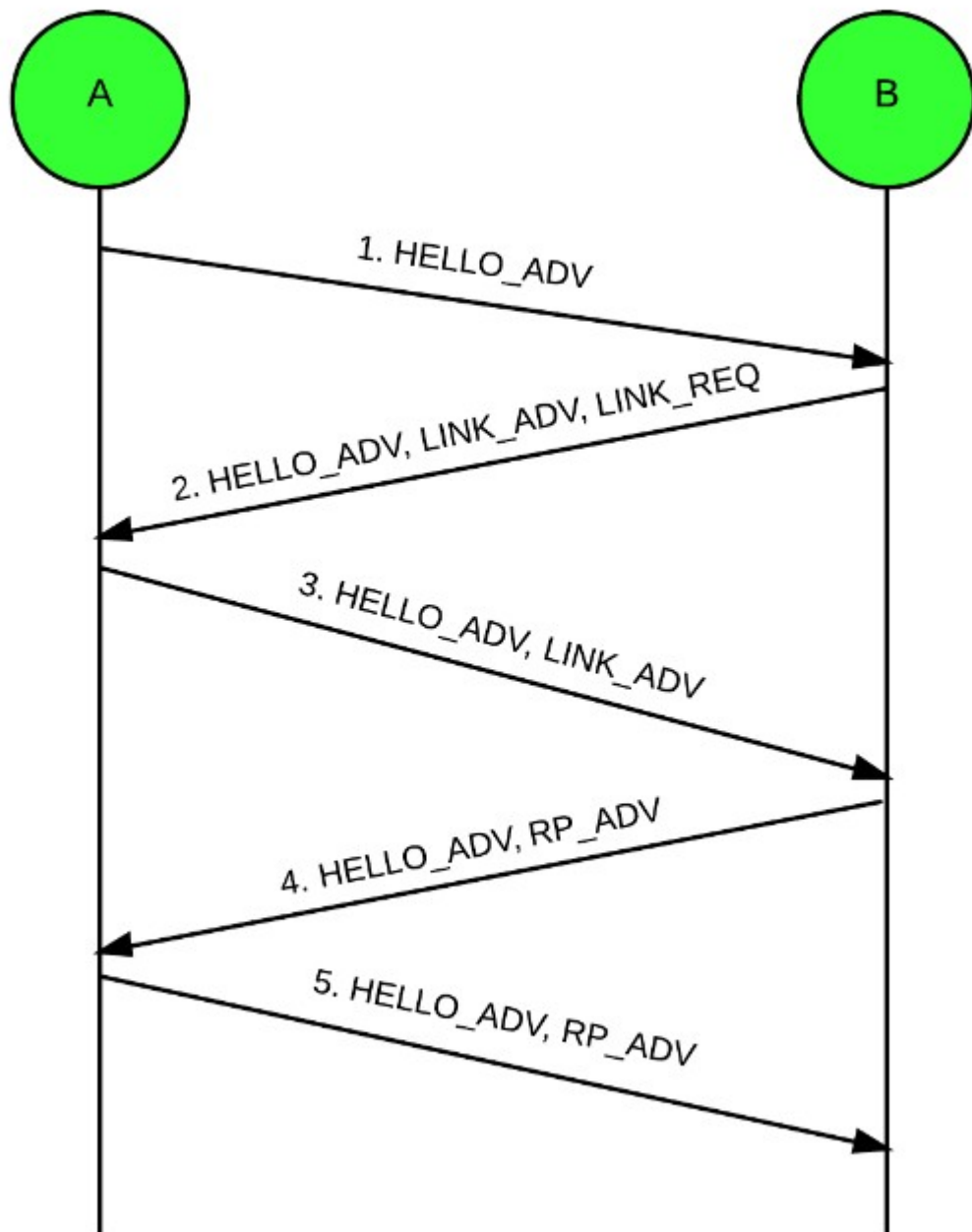
Dois estados regem o funcionamento do protocolo: transiente e estado contínuo. O primeiro estado ocorre quando um nó ingressa na rede. Informações sobre o nó em si, chamadas descrições, são distribuídas e recebidas de outros nós e o vocabulário da vizinhança é aprendido. Cada nó tem um vocabulário diferente, ou uma forma de nomear seus vizinhos. No estado contínuo, são disseminados pacotes com o objetivo de calcular a métrica de cada link e distribuir métricas ponto-a-ponto. O frame Report Advertisement é enviado em broadcast como resposta ao frame HELLO_ADV, que também é periódico. Dentro do frame RP_ADV, encontram-se mensagens HELLO_ADV que indicam quantas mensagens

desse tipo foram recebidas pelo nó num determinado link, sendo capaz de estimar a métrica do enlace.

Os frames do tipo LINK_ADV advertem *links* para os outros nós da rede, entretanto, somente os considerados de boa qualidade são anunciados. A qualidade irá depender de quantos frames do tipo HELLO_ADV foram recebidos pelo nó. Frames do tipo LINK_REQ serão enviados em *broadcast* junto do ID local do nó de destino para que este envie um frame LINK_ADV.

A Figura 5 mostra a troca de frames entre dois nós.

Figura 5 - Troca de frames entre nó A e nó B



Fonte - DANEELS (2013)

Descrições, *hashes* e identificadores internos são alguns conceitos fundamentais que o protocolo emprega. A descrição corresponde às características de cada nó, podendo variar nome de host, endereço IP, endereço MAC, entre outros parâmetros. As descrições somente trafegam pela rede quando solicitada através do frame DESC_REQ (requisição de descrição) ou quando a descrição muda, gerando e transmitindo um novo

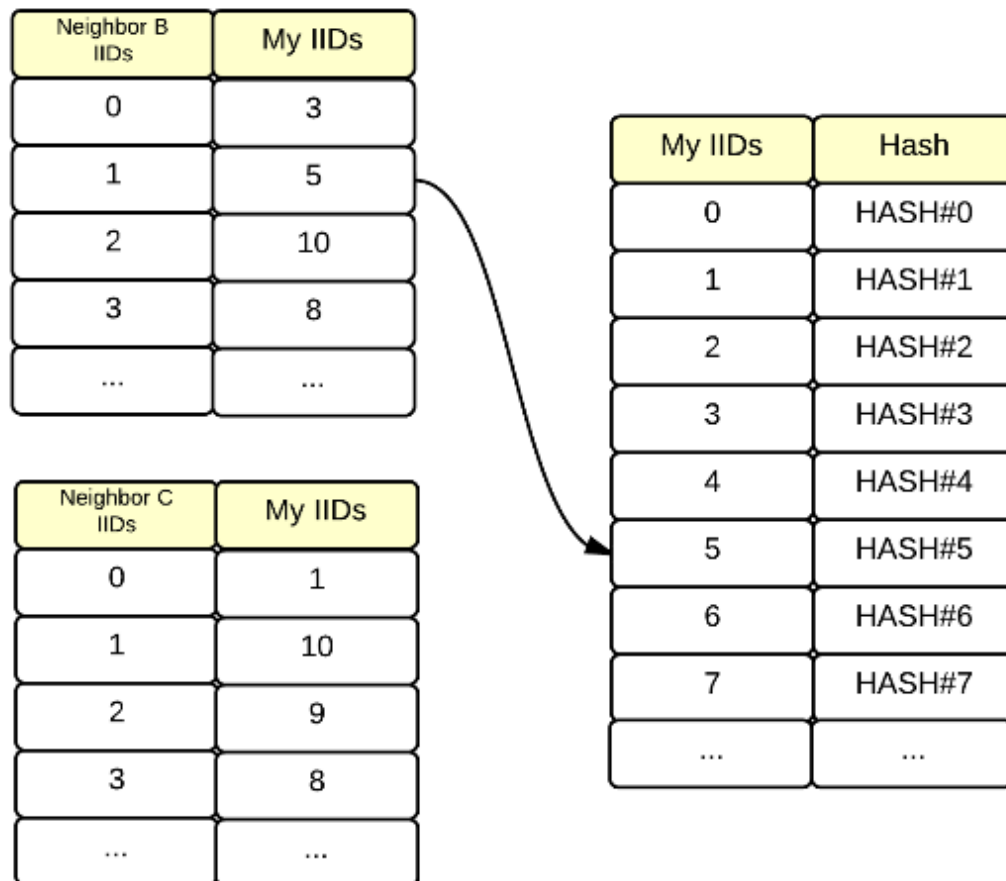
anúncio. O tamanho de uma descrição pode ter no máximo 1400 bytes e, para cada uma, cria-se uma *hash*.

As descrições podem ser grandes e complexas. Para diminuir o processamento e *overhead*, cada uma é mapeada para uma *hash* SHA-1 de 160 bits, única na rede. Por exemplo, ao receber um frame DESC_ADV contendo uma descrição, ela é transformada numa *hash* e comparada com todas as *hashes* que o nó possui, ao invés de comparar campo por campo da descrição. Se uma *hash* igual não for encontrada, o nó adicionará a descrição à sua lista de *hashes*.

O vocabulário de cada nó, sendo um aspecto egoísta, refere-se a como este irá identificar os outros nós na rede, cada qual a sua maneira. O que demonstra o aspecto tolerante, visto que, para iniciar a comunicação com outro nó, é preciso antes aprender o seu vocabulário. Este define-se como um identificador interno com tamanho de 16 bits, conhecido somente pelo próprio nó. Com 16 bits, um nó poderia, teoricamente, armazenar informações sobre mais de 10 mil nós na rede.

Na Figura 6, apresenta-se como cada nó identifica os outros nós na rede.

Figura 6 - Representação interna dos nós



Fonte - DANEELS (2013)

Cada nó tem um ID local de 32 bits, que se mantém o mesmo ainda que a descrição mude e, um ID global também é gerado, sendo reservado para usos futuros.

Existe a possibilidade de adicionar funções extras ao protocolo através de extensões, por exemplo, *plugin* que permite a troca de arquivos de qualquer tipo através de mensagens Short Message Service (SMS).

2.5 SOLUÇÕES DE AUTOCONFIGURAÇÃO

Para configurar e planejar uma rede de computadores devem ser analisados diversos fatores, como por exemplo: uso de endereçamento IPv4 ou IPv6, interfaces de rádio, nó que possui acesso à Internet -

gateway. Para cada equipamento existe uma configuração diferente, podendo resultar num problema complexo. Essa curva de aprendizagem, muitas vezes, impossibilita que pessoas com pouco conhecimento de informática construam uma rede, tornando o ciberespaço menos pluralista quanto deveria ser.

Constatando-se esta dificuldade e com intenções de fomentar o desenvolvimento de redes livres, projetos baseados em software livre são desenvolvidos com o intuito de diminuir essa barreira. As soluções que utilizam licenças livres garantem a liberdade do usuário final e possibilita que o código seja melhorado coletivamente.

As soluções apresentadas a seguir têm objetivos semelhantes: fornecer ferramentas que automatizem configurações básicas, para que, qualquer pessoa consiga montar uma rede sem conhecimentos prévios.

2.5.1 QMP

Segundo GARCIA (2012, tradução nossa), “o projeto QMP (QMP, 2016) foi iniciado por membros ativos da fundação *Guifi.net* em 2010, entretanto, foi idealizada em 2003 por entusiastas em redes livres”. O objetivo é fornecer um conjunto de ferramentas que facilite a construção de redes comunitárias sem fio, por pessoas sem conhecimento técnico prévio. Os pacotes produzidos baseiam-se na distribuição Linux OpenWrt, distribuído sob a licença GNU General Public License Version 2 (GPLv2, 2016), oferece um conjunto de ferramentas que se autoconfiguram dispensando a necessidade de projetar a topologia da rede ou definir o endereço de cada nó da rede.

Os protocolos de roteamento dinâmico foram escolhidos com base na sua performance e estão em constante desenvolvimento, pois, caso o protocolo deixe de ser suportado, falhas na rede poderão ocorrer. Então, para solucionar este problema, os desenvolvedores escolheram três alternativas: B.M.X. 6 sendo o principal, OLSR6 sendo secundário, e BABEL de caráter opcional. Essa gama de escolhas parece interessante num primeiro momento, entretanto, possibilita que haja redes com três nós e cada um deles utilize um protocolo de roteamento diferente do outro.

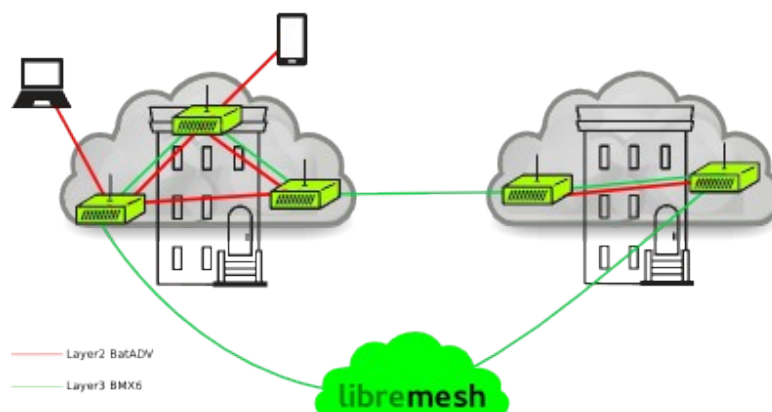
O projeto utiliza IPv6 como protocolo de endereçamento principal, sendo IPv4 apenas para conectar usuários finais. Oferece um sistema de autoconfiguração a partir da primeira inicialização e sem nenhuma configuração adicional o nó passar a integrar a rede. A interface Web pode ser acessada através dos seguintes endereços: <http://172.30.22.1> ou <http://admin.qmp>, utilizando as seguintes credenciais. Usuário root e senha 13f.

2.5.2 LibreMesh

O projeto LibreMesh (LIBREMESH, 2016) foi criado em 2013 por um conjunto de ativistas de redes livres de diferentes partes do mundo, com o objetivo de criar uma solução em comum para a fácil instalação de redes *mesh*. Este projeto utiliza a distribuição Linux OpenWRT, que é um sistema operacional de código aberto para dispositivos embarcados, sendo distribuído como pacotes para esta distribuição. Disponibilizado sob a licença GNU General Public License Versão 3 (GPLv3, 2016) e escrito utilizando a linguagem multi-paradigma Lua (LUA, 2016).

O projeto possui ferramentas que se autoconfiguram, com o objetivo de facilitar a configuração dos equipamentos, além de almejar os seguintes objetivos: escalabilidade – não tornar a rede indisponível à medida que expande; segmentar a rede – dividir a rede em pequenas “nuvens”, a fim de diminuir o domínio de colisão e otimizar a comunicação; possibilitar o *roaming* a nível da camada de enlace dentro das “nuvens”; seleção inteligente de *gateway* com redundância e a possibilidade que o usuário decida qual utilizar; e um único *firmware* para toda a rede. A Figura 7 exemplifica o que foi mencionado anteriormente.

Figura 7 - Arquitetura de rede



Fonte - <http://libremesh.org/howitworks.html>

Por padrão, os protocolos utilizados estão atuando em diferentes redes locais virtuais, VLANs. Essa característica permite que o tráfego seja segmentado. A VLAN utilizada pelo protocolo da camada de rede, BMX6, é a mesma para todos os roteadores, enquanto que a VLAN da camada de enlace é calculada com base no SSID do AP, segmentando o tráfego através de VLANs, como ocorre em redes cabeadas. Utilizando a mesma VLAN na camada de rede, quando houver conexão física entre os nós, automaticamente será estabelecida uma conexão na camada de rede.

A interface web de administração é acessível através do endereço: `http://anygw`, ou apenas `anygw`. Por padrão, a senha de administrador precisa ser definida.

3 REDES COMUNITÁRIAS

As redes comunitárias são formadas por grupos de indivíduos que desejam resolver coletivamente um problema de acesso aos meios de telecomunicação. Esses grupos podem integrar uma rede de pesquisa e educação, no caso as universidades e instituições de pesquisa, ou comunidades periféricas tanto do meio rural quanto urbano, em áreas de difícil acesso, que formam uma rede de troca de saberes. Nesse contexto, construir uma infraestrutura de rede compartilhada reduz o custo inicial de implantação e manutenção, podendo resignificar a utilização da mesma pela comunidade.

O modelo utilizado para que esses grupos se conectem digitalmente propõe que cada nó tenha a capacidade de expandir e fornecer acesso à quem tiver interesse em participar da rede. Levando isso em consideração, diferentes tipos de interações com o mundo digital podem surgir, por exemplo, o entendimento do funcionamento das redes de computadores.

A resolução deste traz consigo implicações que vão além do tradicional “quanto vai custar”, porque passa pelo aprendizado de novas tecnologias e apropriação das mesmas pela comunidade.

3.1 MOTIVAÇÃO

As principais vantagens em se optar por um modelo descentralizado de rede ao invés de um centralizado são as seguintes:

- a) resiliência: um nó pode falhar, mas a rede continuará ativa;
- b) neutralidade: tipos distintos de tráfego não sofrem diferenciação;
- c) serviços: arquivos multimídia e mensagens de texto poderão ser trocadas entre os usuários sem que haja conexão com a Internet.

Implementar uma rede sem fio pode ser trabalhoso, tanto pela aparente dificuldade em aprender suas tecnologias quanto em reunir participantes da rede. Muitas vezes, entretanto, esta é a única saída para populações que residem em zonas remotas. Além disso, o conhecimento gerado acerca da construção da rede permanece na comunidade, num

cenário ideal, dispensando na maioria das vezes a dependência de terceiros para resolução dos problemas.

3.2 MODELO DE GESTÃO

A fim de consolidar a rede, de preferência, um modelo de gestão deve ser adotado para garantir que cada parte sinta-se responsável pela infraestrutura e assuma um papel neste contexto. Uma sugestão de modelo a ser adotado pode ser constituído no formato de associação. Segundo o artigo 53 do Código civil brasileiro (BRASIL, 2016), onde são definidas diretrizes para a gestão da infraestrutura, as associações legalmente formalizadas oferecem respostas aos problemas enfrentados por empreendimentos coletivos considerando estes como prestadores de serviços. No estatuto da associação podem ser definidos os seguintes aspectos: condutas de utilização – ou licenças, execução de controles financeiros, abertura de contas correntes, representatividade para com o cenário político local, possibilitando a participação em políticas públicas, editais, subsídios e reconhecimento da sociedade.

Associações podem promover encontros e integrar redes de solidariedade, pesquisa, além de ter este marco regulatório oficial. Também estabelece entre os associados um regimento interno onde são estabelecidos normas de comportamento e as penalidades em caso de não observância do estatuto ou das licenças de uso, conforme são explicadas no próximo tópico.

A viabilidade econômica pode se dar através da cobrança de taxas mensais, ou através da ajuda de colaboradores, para garantir que despesas de eletricidade e manutenção dos equipamentos sejam garantidas. Para aquisição dos equipamentos, podem ser feitas campanhas de financiamento coletivo ou participar de editais que contemplem esse tipo de iniciativa.

Ainda assim, a realização de eventos ou doações, sendo vedada às associações a compra e venda de qualquer bem; ou seja, a compra de equipamentos somente é permitida para sua própria utilização, sendo vedada a venda para terceiros.

3.3 LICENÇAS DE USO

Para garantir que o acesso à infraestrutura de rede permaneça democrático, faz-se necessário que licenças de uso sejam utilizadas. Nelas, serão especificadas diretivas que os usuários e mantenedores da rede devem seguir, garantindo a qualidade e segurança do serviço de comunicação.

Uma das licenças que pode servir de base é o acordo Pico Peering (PICO, 2016), o qual define diretivas sobre livre fluxo de dados, garantias que os equipamentos da infraestrutura devem respeitar, termos de uso por parte dos usuários, entre outros. Não muito diferente, a fundação Guifi.net, que possui a maior rede de wifi livre do mundo, utiliza princípios denominados FONN (FONNC, 2016) – Free, Open & Neutral Network (Rede livre, aberta & neutra, tradução nossa). Neste acordo especifica-se o seguinte:

a) Liberdade de utilizar a rede para qualquer propósito contanto que não danifique as operações vigentes na rede, os direitos de outros usuários, ou os princípios de neutralidade que permitem conteúdos e serviços transitarem livremente sem interferências.

b) Direito de entender a rede e seus componentes e de compartilhar o conhecimento dos seus mecanismos e princípios.

c) Direito de oferecer serviços e conteúdo para a rede em seus próprios termos.

d) Direito de fazer parte da rede, e a obrigação em estender os direitos anteriormente citados para qualquer um que deseje participar.

Estes princípios são incentivados a serem modificados conforme a necessidade da comunidade, sempre preservando a autoria da licença original, pois está sob a licença de Creative Commons.

3.4 ECONOMIA LOCAL

A economia local pode ser fortalecida à medida que relações entre vizinhos são fortalecidas através da infraestrutura de rede, podendo evoluir para formas mais concretas.

Utilizando a rede como aliada no momento de pesquisa de novas atividades e também na divulgação da produção para venda, poderão se estabelecer comunicação direta do produtor com o consumidor, entre vizinhos, e, até mesmo pessoas que estiverem passando pelo local podem ter acesso aos produtos disponíveis através de seus *smartphones*. Tal serviço poderia ser oferecido por cooperativas ou empresas convencionais.

Essa e outras ideias podem ser desenvolvidas utilizando a infraestrutura de rede existente e de propriedade da comunidade, abrindo um leque pouco explorado no contexto de redes, que é a utilização da infraestrutura local para benefício da comunidade local.

4 ESTUDO DE CASO

Entre os dias 24 de julho e 1 de agosto de 2015, ocorreram no laboratório rural de arte e tecnologia “Nuvem” (NUVEM, 2016), oficinas de construção de uma rede comunitária de internet sem fio, sendo denominado o evento Fumaça *Data Springs*. O laboratório está localizado na Vila da Fumaça, Resende-RJ, Brasil. As atividades foram promovidas pelo laboratório, em conjunto com a organização. Participaram das atividades integrantes de redes comunitárias, voluntários e moradores da Vila da Fumaça que demonstraram interesse em participar da rede bem como aprender a base de seu funcionamento. O autor deste trabalho participou como voluntário.

É importante ressaltar que tanto as tarefas domésticas, na casa em que os voluntários que se inscreveram no evento ficaram hospedados, quanto o preparo e a realização das oficinas foram levados a cabo de forma autônoma e descentralizada. Este ambiente proporcionou rica experiência no que se refere a organização coletiva.

A demanda por serviços de telecomunicações é uma realidade, tanto que, como descreveu uma moradora: “a população chegou a fazer abaixo-assinado para operadoras de celular, pedindo instalação do serviço na região, sem que houvesse resposta”, como relata o comunicado para imprensa². Devido a um programa do estado do Rio de Janeiro, que visa disponibilizar sinal de Wi-Fi e acesso à internet nas praças das cidades, os moradores obtiveram acesso à rede mundial de computadores. O acesso, entretanto, ficou restrito às condições do tempo e ao equipamento que o usuário possui, pois o sinal é disponibilizado apenas na praça. Além disso, mesmo que o usuário tenha os equipamentos para se comunicar ou compartilhar arquivos com alguém da comunidade, terá de utilizar os serviços de terceiros devido à impossibilidade de modificar as configurações do ponto de acesso sem fio.

No evento Fumaça *Data Springs*, os equipamentos foram previamente adquiridos pelos organizadores, através da doação de uma Organização não Governamental (ONG) chamada Commotions Wireless, 2 http://nuvem.tk/wiki/index.php/Arquivo:ComunicadoDeImprensa_FDS.pdf

sediada nos Estados Unidos. De qualquer forma, para suprir os custos de novos equipamentos no futuro, devem ser pensadas maneiras de arrecadar fundos. Algumas possíveis maneiras são: editais de ONGs, editais de programas de inclusão, financiamento coletivo.

As ferramentas utilizadas na construção da rede foram: roteadores TP-LINK WDR 3500 com LibreMesh instalados pelos próprios moradores nas oficinas, antenas caseiras, caixa hermética, antenas com melhor ganho para enlaces maiores. Para energizar os roteadores colocados em postes, foram utilizados injetores de energia sobre *ethernet* (POE), que possibilitam a transmissão de dados e energia num mesmo cabo de par trançado.

Grande parte do trabalho de organização da comunidade, no sentido de esclarecer o que se estava propondo, foi realizado pela comunidade interna da estação rural através de reuniões prévias às oficinas. Iniciou-se num projeto de proteção de nascentes. O trabalho de abrir uma convocatória para o evento, reforça as intenções desse grupo de indivíduos em disseminar o conhecimento sobre redes comunitárias sem fio.

Os temas das atividades realizadas foram diversos: integração, crimpagem de cabos, montagem de kits e discussões sobre desafios em se adotar este paradigma alternativo, e, o significado dessa mudança. Foram passadas instruções de como e porque alterar o *firmware* do roteador. Para gerá-lo, foi utilizada uma ferramenta web disponibilizada pela associação civil AlterMundi (ALTERMUNDI, 2016) e o projeto LibreMesh, denominada Chef (CHEF, 2016). Esta, facilita a personalização do *firmware* a ser gerado.

A disposição dos nós ocorreu conforme a participação dos interessados, sendo colocados em pontos estratégicos com visada para os outros nós, e, pôde ser melhor visualizado através da construção de um mapa falado, que é a representação gráfica da localidade.

Até o momento da escrita deste trabalho, fez-se necessário planejar a aquisição de novos equipamentos para estabelecer um *link* melhor com Resende, pois o contrato que a prefeitura tinha com a empresa que

fornecia o sinal Wi-Fi na praça terminou. Para isso, foi necessário estabelecer uma determinada mensalidade para cada usuário da rede.

4.1 CIDADES DIGITAIS: UM POSSÍVEL CENÁRIO

As mesmas ferramentas utilizadas na construção de redes comunitárias sem fio podem ser aplicadas em outros cenários. Como, por exemplo, no planejamento e construção de cidades digitais, ou seja, que o acesso a serviços básicos é oferecido gratuitamente pelo poder público.

Neste cenário, as tecnologias citadas na revisão bibliográfica poderiam ser utilizadas na elaboração e consolidação do projeto, visto que podem ser um. Serviços de acesso à informação poderiam ser acessíveis através da rede e a cidade em si poderia tornar-se mais eficiente na solução de conflitos e acessibilidade a meios públicos de cultura e lazer ao optar-se por divulgá-los de maneira dinâmica:

- a) Atrações artísticas, tais como teatro, cinema, exposições, cursos de música e artes variadas, etc;
- b) Informações de saúde pública, informações sobre meio ambiente, atrelado a um sistema de denúncia de crimes ambientais;
- c) Informações sobre violência doméstica e um sistema de denúncia à violência (física, sexual e moral) contra mulheres;

Através dessa ampliação na comunicação entre os atores sociais, pode-se criar ferramentas de gestão participativa de recursos naturais, como tratamento e distribuição de água, e de aparelhos públicos como praças e parques naturais.

Optando em utilizar as ferramentas do projeto LibreMesh em conjunto dos protocolos da camada de rede e enlace, a cidade poderia ser dividida em diversas “nuvens”, sendo dividida em setores.

Compartilhar arquivos entre os usuários não poderia ser permitido, uma vez que estes podem infringir leis de direitos autorais. De outra maneira, a infraestrutura de rede poderia ser utilizada para divulgação de eventos, sinistros ou coleta de opinião pública.

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foram apresentadas ferramentas que podem ser utilizadas na construção de redes comunitárias. Este modelo, que pode utilizar as ferramentas apresentadas, é geralmente adotado em áreas que não são contempladas com a oferta de serviços de telecomunicações.

A fim de obter experiência neste tema, optou-se por participar do processo de construção de uma rede comunitária. Essa participação revelou-se emancipadora, no sentido de averiguar que as pessoas estavam dispostas a participar do processo de construção coletiva. E, para isso, foram realizadas oficinas de capacitação atinentes ao objetivo proposto: construção da rede comunitária.

A construção desse tipo de rede envolve a aquisição de equipamentos e ferramentas, sendo necessário fazer um levantamento do quanto cada participante está disposto a contribuir. Cada projeto terá um custo diferente, devido às características de relevo e os equipamentos necessários. Estes, sendo de uso e propriedade coletiva, precisam ser mantidos em segurança.

Em se tratando de segurança digital, esta é obtida utilizando-se criptografia de ponta a ponta e protocolos de roteamento com extensões de segurança. Na parte da segurança física dos equipamentos, podem-se tomar medidas afim de que furtos sejam evitados, tais como: dispor os equipamentos em áreas com luminosidade ou no terraço de casas.

Verificou-se a necessidade de atendimento contínuo até que aconteça realmente a apropriação das tecnologias pela comunidade. Esse atendimento pode ocorrer por via digital, entretanto, não substitui a vivência na localidade.

6 REFERÊNCIAS

Altermundi and LibreMesh Firmware Kitchen. Disponível em: <<https://chef.altermundi.net/>>. Acesso em: 8 out. 2016 .

AKAMAI: state of the Internet report, 2016. Disponível em: <<https://www.akamai.com/us/en/multimedia/documents/state-of-the-internet/akamai-state-of-the-internet-report-q1-2016.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2016.

Babel: a loop-avoiding distance-vector routing protocol. Disponível em: <<https://www.irif.fr/~jch/software/babel/>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

BMX6. Better Approach to Ad-hoc Mesh Networks 6. Disponível em: <<http://bmx6.net>>. Acesso em: 19 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Código Civil Brasileiro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406compilada.htm>. Acesso em: 12 out. 2016.

CHUGH, S. S. **Impact of Network Address Translation on Router Performance.** 2003. 49 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Politécnica do Estado da Virgínia. Falls Church, Virginia, Estados Unidos da América. Set. 2003.

DANEELS, G. **Analysis of the BMX6 routing protocol.** 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade de Antwerp, 2013.

GARCIA, P. E. **Quick deployment network using MANET.** 2012. 62 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas de Informática) – Faculdade de Informática de Barcelona. Jan. 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2099.1/14103>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

HUNDEBOLL, M.; LEDET-PEDERSEN, J. **Inter-Flow Network Coding for Wireless Mesh Networks**. Master Thesis in Networks and Distributed Systems, Aalborg University, 2011.

International Telecommunication Union. Disponível em: <<https://www.itu.int>>. Acesso em: 21 ago. 2016.

IETF. The Internet Engineering Task Force. Disponível em: <<http://ietf.org>>. Acesso em: 1 nov. 2016.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down**, 5. Ed. São Paulo: Addison Wesley, 2010.

LUA. The Programming Language. Disponível em: <<https://www.lua.org>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

NEUMANN, A.; LÓPEZ, E.; CERDÀ, L.; NAVARRO, L. **Securely-Entrusted Multi-Topology Routing for Community Networks**. 12th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services. Jan. 2016.

NEUMANN, A. **BMX6 - a routing protocol with social aspects**. Wireless Battle Mesh V4. Sant Bartomeu del Grau, Catalonia. Março 2011. Disponível em: <<http://battlemesh.org/BattleMeshV4/Agenda?action=AttachFile&do=get&target=bmx6.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

NEUMANN, A.; LÓPEZ, E.; CERDÀ, L.; NAVARRO, L. **Evaluation of mesh routing protocols for wireless community networks, Computer Networks**. Dez. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.07.018>>. Acesso em: 14 out. 2016.

Optimized Link State Routing Protocol. Disponível em: <<http://www.olsr.org>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

OpenMesh Home page. Disponível em: <<https://www.open-mesh.org>>. Acesso em: 3 nov. 2016.

Quick Mesh Project: easy deployment of mesh networks. Disponível em: <<http://qmp.cat/Home>>. Acesso em: 23 out. 2016.

Sítio Rural de Arte e Tecnologia “Nuvem”. Disponível em: <<http://nuvem.tk>>. Acesso em: 6 nov. 2016.

Sítio Padrão IEEE 802.11. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>> . Acesso em: 29 out. 2016.

The Compact for a Free, Open & Neutral Network (FONN). Disponível em: <<https://guifi.net/en/FONNC>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

GPLv2. GNU General Public License Version 3. 19 November 2007. Disponível em: <<https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.html>>. Acesso em: 2 dez. 2016.

GPLv3. GNU General Public License Version 3. 19 November 2007. Disponível em: <<https://www.gnu.org/licenses/gpl.html>>. Acesso em: 13 set. 2016.