

Especificação de Bancada de Testes em Redes Wi-Fi IEEE 802.11 para Detecção de Anomalia na Camada MAC

CLAUREM PAULUS CEOLIN MARQUES

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil

clauem.marques@puc-campinas.edu.br

ARGEMIRO BEVILACQUA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil

argemiro.bevilacqua@hp.com

LIA TOLEDO MOREIRA MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil

lia.mota@puc-campinas.edu.br

ALEXANDRE DE ASSIS MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil

amota@puc-campinas.edu.br

Resumo - Este artigo descreve a montagem de uma bancada de testes por meio de um arranjo de hardware e software, a fim de que se possa coletar dados de operação de redes sem fio padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi). Dados coletados tais como a potência do sinal recebido e a taxa de transferência efetiva das estações conectadas à rede sem fio, nos permitem fazer uma análise do comportamento dessas redes diante da presença de ofensores - dispositivos causadores do fenômeno conhecido como "Anomalia da MAC". Esta anomalia causa uma grande perda na eficiência da rede, baixando em muito sua vazão total. A partir da análise destes dados coletados, espera-se identificar com uma precisão satisfatória o dispositivo causador da anomalia na rede.

Palavras-chave: Anomalia da MAC, IEEE 802.11, Bancada de Testes, Gerência de Redes.

Abstract – This article describes the mounting of a test workbench by means of a hardware and software arrangement, in order to collect operation data of wireless networks, standard IEEE 802.11, commonly known as "Wi-Fi". Collected data such as: the strength of the received signal and the throughput of the stations connected to the wireless network, enable us to do a deep analysis of the network behavior when exposed to offenders – devices that cause the phenomenon known as "The MAC Anomaly". This anomaly causes a great loss in the network's efficiency, heavily decreasing its total throughput. By means of the collected data, we expect to identify the device that is causing the anomaly, with acceptable precision.

Keywords: MAC Anomaly, IEEE 802.11, Test Bench, Network Management.

1. Introdução

As redes sem fio estão por toda parte, provendo acesso móvel, barato e fácil à internet; é inegável a sua importância nos dias de hoje. Além dos computadores pessoais convencionais, as redes sem fio oferecem conectividade a uma vasta gama de dispositivos tais como: *smart-phones*, filmadoras, impressoras, leitores de código de barras, entre outros. Tem-se observado uma demanda crescente por conexões sem fio vindas dos mais diversos tipos de dispositivos. Esta demanda crescente causa um aumento da competição pelo acesso ao meio de transmissão sem fio, acabando por afetar negativamente o desempenho da rede. Pois, é na competição pelo acesso que o maior problema que afeta severamente a rede sem fio pode acontecer. Esse problema é conhecido como anomalia da MAC (HEUSSE, 2003).

Neste trabalho, especifica-se uma bancada de testes que torna possível a verificação de quando a Anomalia da MAC se instala. Além disso, tem-se com a bancada de testes uma ferramenta em que o administrador de redes pode coletar os dados para a análise do desempenho e das falhas da rede. Essa bancada representa uma evolução das configurações de hardware e software utilizadas nos trabalhos de Peris et. al. (2011), Marques et. al. (2012) e Marques et. al. (2013).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2 é apresentada a tecnologia Wi-Fi e na seção 3 a bancada de testes em termos da especificação de hardware, software e configuração. A seguir, nas seções 4 e 5, são apresentados os resultados com a coleta de dados e discussão.

2. Referencial Teórico – A Anomalia da MAC em Redes IEEE 802.11

Nesta seção, são apresentadas as principais características das redes sem fio do padrão IEEE 802.11. Também é apresentada a anomalia da MAC, como parte da fundamentação teórica deste trabalho.

2.1 Padrão IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 teve o início de seu desenvolvimento em 1991, após instauração de um comitê para definição de um padrão para conectividade sem fio, tendo sido finalmente lançado em 1997 (IEEE-SA, 2012). Seu propósito consistiu em definir um método de acesso ao meio físico e várias especificações físicas para conectividade de rede sem fio dentro de uma WLAN (STANDARD IEEE, 2012). O objetivo dessa especificação é definir padrões associados à camada 2 do modelo OSI, conforme ilustra a figura 1. A camada de enlace de dados é composta por duas subcamadas: MAC (*Media Access Control*) e LLC (*Logical Link Control*). A subcamada MAC é descrita mais detalhadamente na seção que se segue.



Figura 1: Subcamadas MAC e LLC da Camada de Enlace

2.2 Anomalia da MAC

Por meio do método DCF (*Distributed Coordination Function*), que usa o algoritmo CSMA/CA, a camada MAC do padrão IEEE 802.11 prevê condições de igualdade de acesso ao meio à todos os dispositivos presentes na rede. Isso faz com que todas as estações tenham a mesma probabilidade de acessar o meio, não importando a diferença entre suas condições de conectividade da camada física, nem de taxa de transferência. A taxa de transferência é determinada mediante negociação entre o ponto de acesso sem fio e o dispositivo admitido na rede e se baseia nas condições de propagação do sinal, ou seja, principalmente na relação sinal/ruído (*Signal-to-Noise Ratio*, SNR). Portanto, a determinação das condições da camada física são fundamentais para a identificação dos dispositivos que estão submetidos a condições desfavoráveis de propagação do sinal; possibilitando a tomada de alguma ação do ponto de vista de gerência da rede antes que esses dispositivos causem a anomalia da MAC (BRANQUINHO, 2006); (HEUSSE, 2003) e (GUIRARDELLO, 2008).

A anomalia da MAC foi demonstrada pela primeira vez em (HEUSSE, 2003) quando se observou um desempenho consideravelmente degradado de algumas estações em relação à outras da rede. Essa anomalia faz com que uma estação em condições desfavoráveis provoque uma redução na taxa de transferência das demais estações, ao estabelecer comunicação efetiva com o ponto de acesso (GUIRARDELLO, 2008). A anomalia resulta da forma como o controle de acesso ao meio é feito nas redes IEEE 802.11. Conforme citado anteriormente, a técnica de controle de acesso ao meio físico implementada pelo padrão IEEE 802.11 é a DCF (*Distributed Coordination Function*). Essa técnica faz com que todas as estações conectadas ao ponto de acesso sem fio tenham condições de igualdade ao acessar o meio físico; pois essa técnica usa o método de múltiplo acesso CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Existem outras técnicas de controle de acesso ao meio físico tais como a PCF (*Point Coordination Function*), a HCF (*Hybrid Coordination Function*) e a MCF (*Mesh Coordination Function*). Mas, por ser a técnica primária de controle de acesso do IEEE 802.11, a técnica DCF é usada neste trabalho. A figura 2 ilustra a técnica DCF (FERREIRA, 2007).

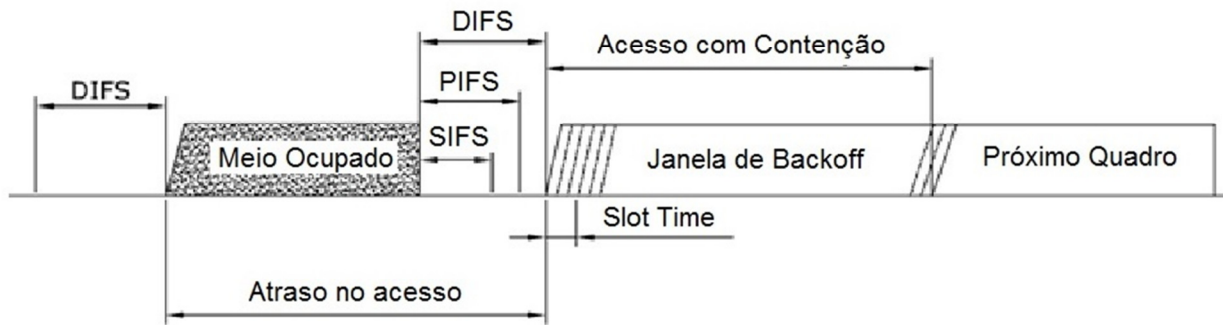


Figura 2: Distributed Coordination Function (DCF)

O fato de todas as estações possuírem a mesma chance de acessarem o meio físico, é algo que funcionaria bem num cenário em que todas as estações se encontram com as mesmas condições físicas de propagação do sinal rádio frequência pela rede. Entretanto, a disposição física, normalmente dispersa, dos dispositivos conectados à rede faz com que as estações tenham condições favoráveis ou desfavoráveis de propagação do sinal. A taxa de transferência é determinada pela negociação entre uma estação e o ponto de acesso sem fio ao qual ela está conectada. Essa negociação leva em consideração a relação sinal-ruído que está diretamente relacionada com as condições de propagação do sinal de rádio frequência.

A anomalia da MAC acontece por causa das condições de igualdade no acesso à rede a todos os dispositivos; desconsiderando completamente as condições da camada física, quando se tem dispositivos com diferentes taxas de transferência conectadas à mesma rede sem fio. Então, se um dispositivo com uma taxa de transferência baixa começar a transmitir dados pela rede, ele levará mais tempo para terminar a transmissão. Portanto, utilizará o meio físico por mais tempo para transmitir a mesma quantidade de informação em comparação com outros dispositivos com taxas de transferência mais altas. No momento em que uma estação está transmitindo dados em uma rede sem fio, somente ela poderá fazer uso do meio físico. Enquanto isso, as outras estações esperam para transmitir suas informações até conseguirem acesso ao meio físico; ou seja, ficam com seus dados represados. Portanto, se um dispositivo estiver transmitindo informações pela rede ao mesmo tempo em que está em condições desfavoráveis de propagação do sinal, os outros dispositivos terão que esperar um longo tempo para transmitirem seus próprios dados. Por isso, uma condição de subutilização dos recursos se instala, correspondendo ao momento em que a anomalia da MAC está afetando a rede. Na figura 3, observam-se as condições que favorecem o aparecimento da anomalia da MAC descrita acima.

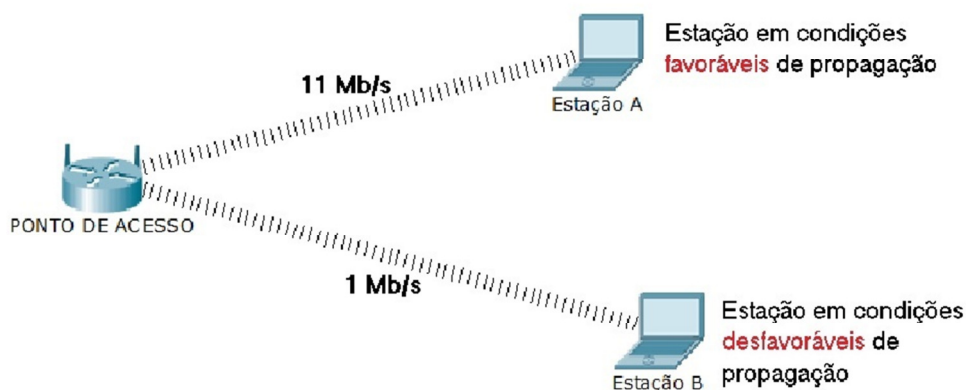


Figura 3: Taxa de Transmissão das Estações

3. Materiais e Métodos

Os materiais e métodos usados para o desenvolvimento deste trabalho foram os mecanismos por meio dos quais a coleta de dados foi feita tornando possível a análise desses dados, a instalação e observação da anomalia da MAC. É basicamente, um arranjo de tecnologias de hardware e software que possibilita o estudo das redes sem fio IEEE 802.11.

3.1 Plataforma de Testes

A bancada desenvolvida para os testes é composta basicamente por um dispositivo sem fio que atua como ponto de acesso e estações configuradas em computadores portáteis, devidamente equipados com placas que permitem o acesso à rede sem fio. A mobilidade das estações é importante para que seja possível a criação de diferentes condições de camada física. A topologia da rede básica com duas estações (Estações A e B) está ilustrada na figura 4.



Figura 4: Topologia da Rede com Duas Estações

3.1.1 Hardware

Ao longo deste trabalho, vários experimentos foram realizados com uma, duas ou três estações, além do próprio ponto de acesso. Com exceção do ponto de acesso sem fio, as outras estações usadas pelos experimentos são dispositivos portáteis (*notebooks*). Esses *notebooks* são dispositivos seminovos e relativamente diferentes entre si. O dispositivo mais robusto, chamado aqui de Estação A, tem uma placa de rede sem fio Intel com capacidade de conexão nos padrões IEEE 802.11 a, b, g e n. Possui um processador Intel I5 e 4 GB de memória RAM. O dispositivo mais modesto é o chamado aqui de Estação B e tem uma placa de rede sem fio IEEE 802.11 a, b, g e n. Possui um processador Intel Core I3 e 4 GB de memória RAM. O dispositivo intermediário foi utilizado apenas nos experimentos com três estações e suas características físicas incluem uma placa de rede sem fio IEEE 802.11 a, b, g e n, um processador Intel Core I4 quad, e 4 GB de memória RAM.

O Ponto de Acesso possui uma placa de rede sem fio do fabricante Mikrotik Router Board RB14. Essa é uma placa PCI que está acoplada à placa-mãe de um computador Pentium 4 com processador de 1.5 GHz e 2 GB de memória RAM.

Todas as estações foram inicializadas e configuradas para fazer o carregamento

do sistema operacional Linux Ubuntu a partir de um dispositivo de armazenamento em massa USB (*Universal Serial Bus*) que foi configurado previamente para ser a origem do carregamento do sistema operacional, conforme especificado a seguir.

3.1.2 Software

3.1.2.1 Sistema Operacional

Os dispositivos da bancada (ponto de acesso e estações) usam o mesmo sistema operacional, o Linux Ubuntu, escolhido por ser um *software* livre e por possuir robustez e flexibilidade necessárias para atender as necessidades dessa proposta. A instalação padrão do sistema operacional somente foi feita no ponto de acesso sem fio, pois, nas estações, ao invés de uma instalação tradicional do sistema operacional no disco rígido, optou-se pelo carregamento do sistema por meio de dispositivos de armazenamento em massa também conhecido como *pen drive*. Um *pen drive* é constituído por memória *Flash* que é um chip EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* – Memória Apenas de Leitura Programável e Apagável Eletricamente) e pode ser acoplado a um dispositivo por meio da porta USB (*Universal Serial Bus*).

Para carregar o sistema operacional a partir de um *pen drive*, é necessário que se instale um sistema operacional no mesmo. Esse procedimento foi executado em três *Pen Drives* e é ilustrado nos dois seguintes passos:

1. Fazer o *download* do Sistema Operacional Linux Ubuntu a partir do *website* oficial. O arquivo tem o formato ".iso" e o nome do mesmo é *ubuntu-12.04.3-desktop-i386*.
2. Fazer *download* do programa *Universal USB Installer* a partir do site (PENDRIVELINUX, 2013) e executar o programa conforme mostrado no web site.

3.1.2.2 Gerador de tráfego

Para estabelecimento dos fluxos de dados, o software de geração de tráfego de dados conhecido como *Iperf* foi ajustado para ser cliente nas estações e servidor no ponto de acesso. O objetivo no uso desse gerador de tráfego é criar tráfego de rede de forma a reproduzir um ambiente o mais próximo possível do real. A anomalia da MAC somente pode ser observada ou instalada na rede se algum dispositivo cujas características operacionais sejam desfavoráveis, fizer uso da rede.

3.1.2.3 Linguagem de *Script*

A linguagem *Bash Script* foi utilizada para desenvolver os *scripts* para a coleta de dados necessários a este trabalho. A *Bash* é uma *shell* do *UNIX*, ou interpretador de linguagem de comando. É por meio desta linguagem de linha de comando que interagimos com o sistema operacional.

3.2 Método de Descoberta e Gerência da Rede.

O método de descoberta da rede consiste em atender às solicitações de associação dos clientes. Essa descoberta é dinâmica no sentido em que o monitoramento das solicitações de associação é constante e ocorre concomitantemente ao gerenciamento das estações em diferentes condições de tráfego.

O gerenciamento das estações consiste em usar comandos de *Bash* com filtros para separar e armazenar as informações consideradas necessárias a partir do sistema

operacional em execução no ponto de acesso sem fio. As informações necessárias são capturadas por meio de *scripts*, que filtram as saídas dos comandos, exibindo somente o que é preciso para se identificar os dispositivos da rede, bem como os parâmetros importantes para avaliação da ofensividade. Como um exemplo do que foi descrito acima, pode-se usar o comando:

"iw dev wlan1 station dump"

a partir da console do *Linux Ubuntu*, cuja saída fornece várias informações operacionais usadas para se determinar a vazão total da rede. A taxa de bits nominal na qual a interface aérea WLAN 1 está operando e a sua taxa de bits efetiva, também podem ser determinadas. A figura 5 ilustra a saída do comando.

```
$ iw dev wlan1 station dump
Station 12:34:56:78:9a:bc (on wlan0)
  inactive time: 304 ms
  rx bytes: 18816
  rx packets: 75
  tx bytes: 5386
  tx packets: 21
  signal: -29 dBm
  tx bitrate: 54.0 MBit/s
```

Figura 5: Saída do Comando "iw"

Com a linguagem descrita, pode-se coletar cada um dos valores exibidos pelo comando "iw dev wlan1 station dump" e armazená-los em variáveis de forma que os dados possam ser processados adequadamente e posteriormente armazenados.

3.2.1 Estimação da Vazão Máxima da Rede

Sob condições normais, a vazão máxima da rede pode ser estimada por meio de uma tentativa de transferência de dados por parte de uma estação conectada à rede, usando um *software* específico para emular o fluxo de dados (*Iperf*). Ajusta-se o *Iperf* para operar em uma taxa superior à taxa nominal da rede. O estresse causado à rede devido a transferência forçada de dados, faz com que o *throughput* máximo seja atingido.

Essa tentativa de estressar a rede também é válida com múltiplas estações fazendo uso intensivo da rede. Na teoria, a divisão da vazão máxima suportada pela rede pelo número de estações conectadas deveria resultar em uma taxa igual para todas as estações, mas na prática o que se observa é diferente. Algumas estações transmitem dados pela rede a taxas superiores às das outras; no entanto, a soma das taxas de transferência de todas as estações equivale à vazão total da rede (considerando aqui que não há o aparecimento da anomalia da MAC).

A importância em se estimar a vazão máxima, é saber quando uma rede está sofrendo com a presença de um ofensor, pois a principal consequência da anomalia da MAC é o impacto negativo na vazão total. Se várias estações se conectarem à rede, mas a vazão total se mantiver, então, a anomalia da MAC não está instalada.

4. Resultados e Discussão

Como primeiro teste, foi observado o compartilhamento da capacidade do canal, a partir do momento em que a estação B passa a fazer uso da rede, em condições normais de operação, com a estação A já conectada. Não houve caracterização da anomalia, pois a capacidade total de vazão da rede, igual à soma das vazões de ambas as estações, é mantida aproximadamente constante, conforme ilustrado na figura 6.

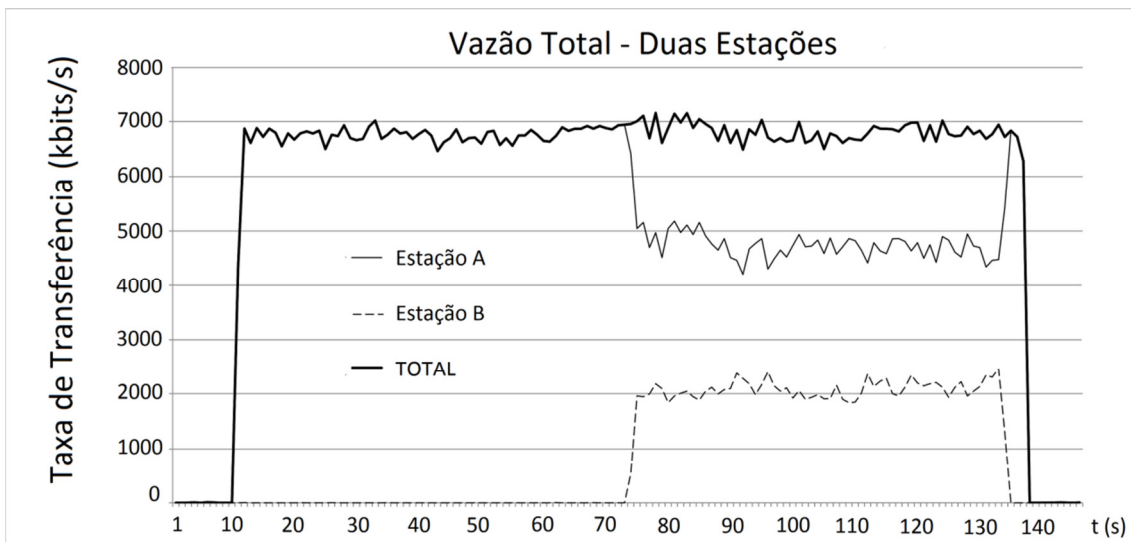


Figura 6: Teste de Vazão Total da Rede com Duas Estações

Em um segundo teste, a estação B foi também inserida na rede, mas com condições desfavoráveis de operação; nesse caso, sua vazão máxima foi limitada em 1 Mb/s. Nesse caso, a gerência da rede resultou em uma coleta de dados que reflete os efeitos das medições monitoradas na placa de rede do ponto de acesso.

Nesse teste, desde o início do experimento, a estação A está transmitindo dados a uma taxa média de 6966251 bits/s, ou aproximadamente 6,96 Mb/s, quando a Estação B entra transmitindo a 1 Mb/s aos 65 segundos. Nesse ponto, pode-se ver claramente a anomalia se instalando na rede, pois a vazão total fica bastante degradada, passando a ser menos de 30% de seu valor original. Aos 134 segundos a Estação B pára de transmitir dados pela rede e a anomalia deixa de ocorrer, conforme ilustrado na figura 7.

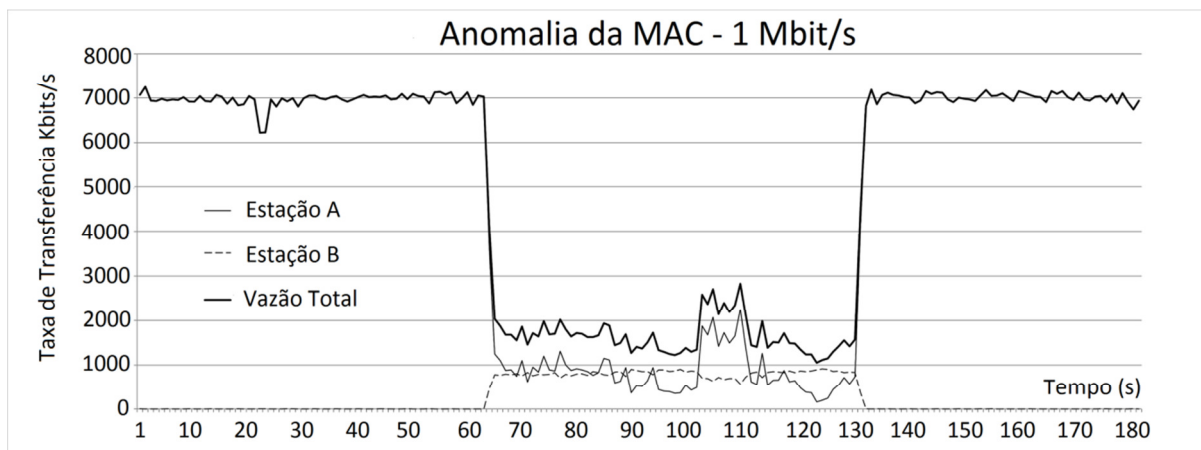


Figura 7: Anomalia da MAC com Taxa de Transferência de 1 Mb/s na Estação B

4.1. Testes de Sensibilidade

O teste de sensibilidade é outro indicativo para determinação do ofensor da rede. A sensibilidade S_i da vazão de uma estação em relação à vazão total da rede, calculada sobre um intervalo de amostragem ΔT , é definida pela Equação (1):

$$S_i = \frac{\Delta V_i}{\Delta V_T} \quad (1)$$

Onde ΔV_i é a variação na vazão da estação i e ΔV_T é a variação na vazão total da rede, que ocorre entre os instantes inicial e final do intervalo de amostragem ΔT . Em termos gerais, o comportamento dos dados no momento em que ocorre a anomalia, mostra que uma pequena queda na taxa de transferência da estação ofensora representa um aumento significativo na vazão total da rede; por essa razão, conforme a Equação 1, observa-se que a sensibilidade da estação ofensora tende a ficar com valores menores e negativos de sensibilidade S_i . O intervalo de amostragem ΔT adotado nos experimentos executados neste trabalho é de 10 segundos. A figura 8 ilustra os efeitos da sensibilidade numa rede com duas estações. Nesta figura observa-se que a estação B, representada por "SensB", apresenta consistentemente valores negativos de sensibilidade ao longo das medições e, portanto, é a provável ofensora da rede.

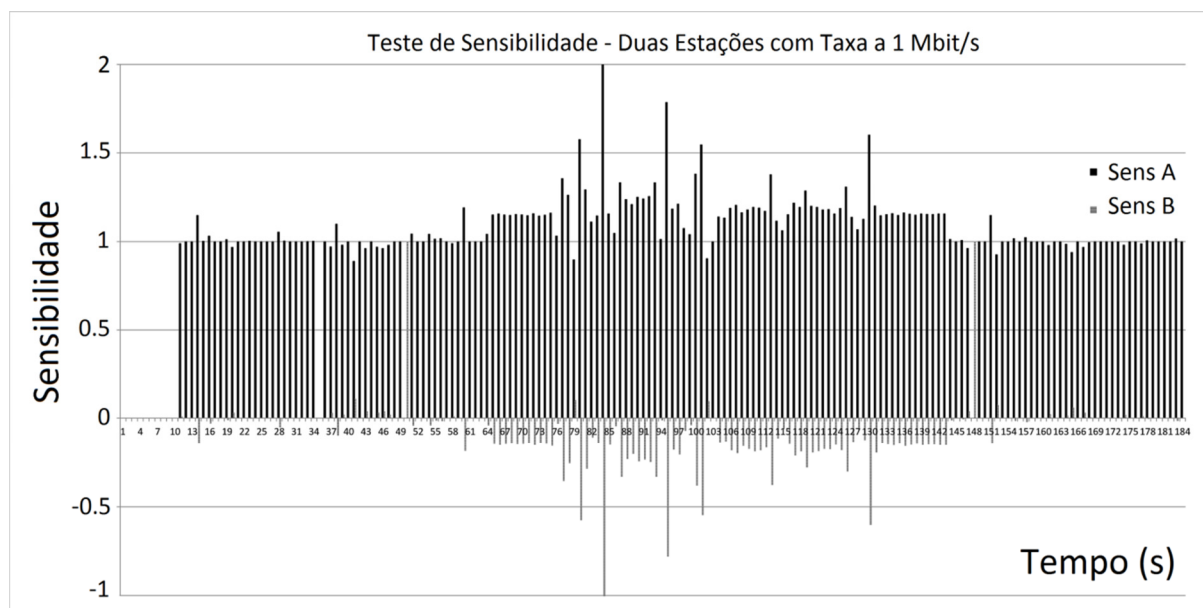


Figura 8: Teste de Sensibilidade - Duas Estações com Taxa de 1 Mb/s

5. Considerações finais

Neste trabalho, foi proposta uma bancada para investigar um fenômeno de redes sem fio padrão IEEE 802.11 conhecido como Anomalia da MAC. Verificou-se que a estação ofensora afeta negativamente a vazão total (*throughput*) da rede, o que caracteriza a presença de anomalia. Sob os efeitos dessa anomalia, as vazões das estações da rede ficam semelhantes, o que acarreta um ocultamento do dispositivo causador da anomalia da MAC.

Com a adoção do conceito de sensibilidade de vazão, a partir da experimentação nessa bancada, verificou-se que em condições de anomalia, a variação da vazão da

estação ofensora é, em geral, inversa à variação total da rede. Mais ainda, pequenas alterações na vazão da estação causadora da anomalia, provocam uma resposta significativamente maior na vazão da rede. Essas características não foram observadas como comportamento geral das estações não ofensoras.

Desta maneira, tornou-se possível diferenciar a estação ofensora das demais a partir da observação do seu comportamento na rede. Esse comportamento pode ser caracterizado pelo índice de sensibilidade, através do qual as estações que apresentam esse índice negativo e de dimensão reduzida são as prováveis ofensoras.

Futuros desenvolvimentos deste trabalho incluem a experimentação para outras tecnologias de rede sem fio, e a observação do comportamento da rede sob o efeito da anomalia criada por múltiplos ofensores.

Referências

BRANQUINHO, O. C.; REGGIANI, N.; FERREIRA, D. M. Mitigating 802.11 Mac Anomaly Using SNR to Control Backoff Contention Window. In: IEEE Computer Society, v. 4, p. 55-61, 2006.

FERREIRA, D. M. Minimização do efeito da anomalia em redes IEEE 802.11 usando SNR para controlar o CW. Dissertação para obtenção do grau de mestre na UNICAMP, Campinas, 2007.

GUIRARDELLO, M. Política de QoS com Priorização de Acesso ao Meio para Redes IEEE 802.11. 2008. 104f. Dissertação para obtenção do grau de mestre na Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2008.

HEUSSE, M and ROUSSEAU, F; BERGER-SABBATEL, G; DUDA, A. Performance Anomaly of 802.11b, IEEE INFOCOM 2003.

MARQUES, C. P. C.; PERIS, A. J. F.; MOTA, Alexandre de Assis; MOTA, Lia Toledo Moreira (2012). Bancada de Testes para Controle de Vazão em Redes Wi-Fi (#107425). In: VII Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza – WPGCPS 2012, São Paulo (SP). Anais.

MARQUES, C. P. C. ; SIQUEIRA, A. R. C. ; PIRANI, D. ; APOLONIO, T. A. ; ABBADE, M. L. F. ; MOTA, Alexandre de Assis ; MOTA, Lia Toledo Moreira . Identificação de Ofensores em Redes IEEE 802.11 Utilizando Lógica Nebulosa. In: XXXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES SBrT2013, 2013, Fortaleza (CE). Anais, 2013.

PENDRIVELINUX (Universal USB Installer). Acesso em 03/04/2013, disponível em: www.pendrivelinux.com

PERIS, A. J. F.; CYRIACO, F. S.; BIAZOTTO, L. H.; BRANQUINHO, O. C.; MOTA, Alexandre de Assis; MOTA, Lia Toledo Moreira (2011). Projeto de bancada de testes para estudos em transmissões Wi-Fi. In: 40º IGIP - Simpósio Internacional de Educação em Engenharia, 2011, Ubatuba (SP). Anais. Santos: COPEC. v. 1. p. 72.