

Resumo: É possível presenciar atualmente um crescimento constante na utilização de soluções tecnológicas sem fio, entre elas as redes WLAN. Porém, essas redes possuem níveis menores de recursos em relação às redes cabeadas. Uma das ferramentas que podem auxiliar na análise do comportamento de uma rede WLAN é a simulação, sendo o Network Simulator (NS) um dos ambientes que se pode destacar devido a sua aceitação no universo acadêmico. No entanto, quando se refere a simulações de rede utilizando NS para WLAN infraestruturada, dificuldades em relação à disponibilidade de documentação detalhada para realizar essa tarefa ainda são encontradas. A proposta deste artigo é planejar e executar simulações WLAN no NS a fim de esclarecer as funcionalidades dos principais parâmetros de configuração, tornando possível ao estudante ou pesquisador de rede recriá-las facilmente, adaptando ao seu cenário. Foram executadas diversas experiências com os padrões B e G, a fim de verificar e analisar os resultados obtidos.

Palavras-chave: sem fio, simulação, 802.11.

Abstract: You can now witness a steady increase in the use of wireless technology solutions, including WLAN networks. However, these networks have lower levels of resources compared to wired networks. One of the tools that can help in analyzing the behavior of a WLAN network is the simulation, the Network Simulator (NS) of the environments that can highlight due to its acceptance in the academic world. However, when referring to simulated network using NS for WLAN infrastructure, difficulties in relation to the availability of detailed documentation to accomplish this task are still found. The purpose of this article is to project and execute simulations WLAN in NS to clarify the features of the main parameters of configuration, enabling the student or

researcher of network recreates them easily, adapting to your scenario. Have performed several experiments with the standard B and G, to verify and analyze the results.

Key-words: wireless, simulations, 802.11.

1. Introdução

A grande popularização das conexões em rede sem fio na atual realidade das organizações, instituições e universidades, evidencia o aumento da importância da conectividade e da mobilidade no cenário atual. Essas características são constantemente vinculadas nos meios de comunicação, comprovando que não é apenas o “está conectado” que atrai o mercado, mas o “está conectado sempre” (SINGH et al., 2008).

Entre algumas tecnologias sem fio em destaque atualmente podemos citar o infravermelho, bluetooth, wimax e wlan. Em sistemas de comunicação para celular existem também o gsm, cdma, 3g e 4g.

É interessante notar que a maioria dessas soluções já não são apenas tendências ou inovações, mas são tecnologias que já fazem parte da realidade, seja empresarial, acadêmica ou pessoal da comunidade.

Em um ambiente local de rede de computadores a tecnologia sem fio mais utilizada é a WLAN (Wireless Local Area Network) que significa rede de área local sem fio. É regulamentada pelo padrão IEEE 802.11 como apresentado em IEEE Standard 802.11 (1999) e Rubinstein et al. (2002). A popularização das WLANs se deve a sua diversidade em termos de capacidade e cobertura, além do baixo custo dos dispositivos de rede (RUBINSTEIN et al., 2002).

As redes WLAN assim como as principais tecnologias sem fio possuem

¹ Graduando de Graduação de Sistemas de Informação da Faculdade Católica do Tocantins – Campus Sede.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, e-mail: ccm@ifto.edu.br

³ Faculdade Católica do Tocantins, e-mail: ccm.monteiro@ieee.org

problemas relacionados ao baixo nível de tolerância a falhas e interferências, aspectos que envolvem mobilidade e handoff, e instabilidade nas taxas de transmissão. Esses fatores podem ser modelados e avaliados utilizando ferramentas como a simulação, que se apresenta como uma opção das mais utilizadas para se mensurar e analisar o comportamento de uma rede de computadores (CROW et al., 1997) e (MARGALHO, 2004). A *Tabela 1* apresenta alguns benefícios do uso da simulação em redes de computadores.

Alguns benefícios que a simulação pode trazer	
1.	Adicionar e retirar nós
2.	Configurar taxas de transmissão
3.	Adicionar tráfego
4.	Determinar a mobilidade dos nós
5.	Visualizar ações e comportamentos da rede
6.	Gerar gráficos e dados estatísticos

Tabela 1 – Alguns benefícios da simulação

Em resumo, as ferramentas de simulação proporcionam maior flexibilidade em relação a um ambiente real, porque, além de não exigir uma estrutura física disponível, também é possível executar várias simulações variando os valores dos parâmetros de acordo com o cenário definido pelo usuário.

Um dos principais simuladores de rede utilizados é o Network Simulator. No entanto, quando se refere a simulações sem fio em ambiente infraestruturado, nota-se uma grande ausência de documentação que apresente de forma detalhada e funcional os procedimentos necessários para criar, alterar e modelar a estrutura de forma adaptada ao cenário desejado. Além disso, o NS até pouco tempo não fornecia suporte a simulações WLAN infraestruturada, onde apenas nas versões mais recentes isso se tornou possível.

Portanto, o objetivo inicial desse artigo é apresentar os principais parâmetros necessários para simular rede WLAN infraestruturada. Além de utilizar conhecimentos teóricos das redes WLAN com o objetivo de comparar se os resultados obtidos no NS condizem com os sub-padrões B e G do 802.11.

Esse artigo está disposto da seguinte maneira: Na seção 2 é estudado o funcionamento do padrão 802.11, mais especificadamente a camada MAC, seus conceitos e atuação. A seção 3 apresenta uma breve explanação sobre o Network Simulator, além do cenário de simulação proposto.

Na seção 4 inicia-se a programação da simulação, mostrando os principais parâmetros de configuração para simular uma rede sem fio e suas possíveis variações. Na seção 5 pode ser visualizado os resultados obtidos através de gráficos de vazão, com o objetivo de demonstrar o comportamento e a atuação do NS em redes sem fio infraestruturada.

Finalmente na seção 6 é feita a conclusão e os possíveis trabalhos que possam ser desenvolvidos a partir ou em complemento a este.

2. O padrão 802.11

Em 1999, o IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) definiu a normatização das redes locais sem fio através da especificação chamada “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”. Como todos os protocolos da família 802.x, o padrão 802.11 padroniza e especifica a camada física (PHY) e a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) (RUBINSTEIN et al., 2002).

A arquitetura do IEEE 802.11 é constituída de vários componentes que visam prover em um ambiente local uma conectividade sem fio, com suporte a mobilidade das estações de modo transparente para as camadas superiores.

O padrão IEEE 802.11 possui várias sub-padronizações que se diferenciam entre si, seja pela frequência de rádio ou pelas taxas de transmissão. Os dois modelos mais usados atualmente são:

- 802.11b: Trabalha em um intervalo de frequência entre 2,4 GHz e 2.4835 GHz e sua taxa de transmissão de dados pode chegar a 11Mbps. Foi o primeiro a ser adotado em larga escala.
- 802.11g: É o sucessor do 802.11b e sua taxa de transmissão de dados chega a 54 Mbps.

A base da arquitetura 802.11 é conhecida como um Conjunto Básico de Serviço (Basic Service Set – BSS), no qual pode ser definido como um grupo de estações e dispositivos que são controlados por uma função de coordenação DCF e/ou PCF. A área de cobertura de um BSS é chamada de Área Básica de Serviço (Basic Service Área – BSA).

Assim como nas redes cabeadas, onde existem topologias que direcionam a maneira como os dados trafegarão, um BSS em redes WLAN possui duas estruturas de configuração física, conhecidas como: Ad Hoc e Infraestruturada.

2.1. REDE AD HOC

As redes móveis ad hoc são também conhecidas como MANET (*Mobile Ad Hoc Network*), e consistem de nós dentro de um BSS que podem trocar informações diretamente entre si. Ou seja, cada nó pode se tornar consciente da presença de outros nós no âmbito de sua cobertura. Conexões estabelecidas no modo ad hoc não dependem da utilização de um ponto de acesso ou estação base. Os dispositivos podem comunicar diretamente uns com os outros. Porém, quaisquer pares de nós não estão diretamente conectados, eles só se comunicam se existir um caminho, que é formado por cada um dos nós que se conectam, assim, os dados são encaminhados através dos dispositivos desde a origem até o destino. Isso implica dizer que cada nó desempenha um papel ativo na transmissão dos dados para outras unidades nós (PERKINS, 2001), e (CROW et al., 1997) e (BARBEAU e KRANAKIS, 2007).

O gerenciamento de redes ad hoc é uma tarefa muito complexa devido as suas características, onde os dispositivos móveis tendem a se mover freqüentemente e de forma arbitrária e imprevisível. Com isso, muda-se a conectividade entre os nós também nessa mesma medida, exigindo controle, adaptação e reconfiguração de rotas

constantemente (PERKINS, 2001) e (BARBEAU e KRANAKIS, 2007).

Geralmente uma rede móvel Ad Hoc é utilizada onde não exista a possibilidade de implantar uma rede infraestruturada, ou então, onde exista a necessidade de instalar de forma rápida uma rede de comunicação.

As principais aplicações possíveis de redes Ad Hoc são:

- Área Militar – na troca de informações em campos de treinamento ou guerra.
- Resgates Militares.
- Compartilhamento de informações em uma área específica, como reuniões.

2.2. REDE DE INFRAESTRUTURA

Uma rede Infraestruturada utiliza-se de um ponto de acesso (Access Point – AP) o qual exerce a função de centralizador, que atua na distribuição dos dados na rede. Ou seja, os dados que trafegam entre os nós, seja internamente ou para fora da rede local, são controlados e encaminhados através do AP ao destino.

Uma forma de aumentar a cobertura em uma rede infraestruturada é interligando vários pontos de acesso através de um *backbone* conhecido sistema de distribuição (Distribution System - DS). O conjunto de todas as conexões entre vários BSS's feitas por sistemas de distribuição é definido como um conjunto de serviços estendido (Extended Service Set – ESS), (RUBINSTEIN et al., 2002). Essa estrutura é demonstrada na *Figura 1*.

A especificação da sub-camada MAC do padrão 802.11 referentes as funções de coordenação, backoff exponencial, janela de contenção e outros fatores, são apresentados em Nunes (2009), Ferreira (2007) e Crow et al., 1997.

3. Planejamento e modelagem da simulação

3.1. NETWORK SIMULATOR

O Network Simulator foi desenvolvido através de um projeto chamado VINT (Virtual InterNetwork

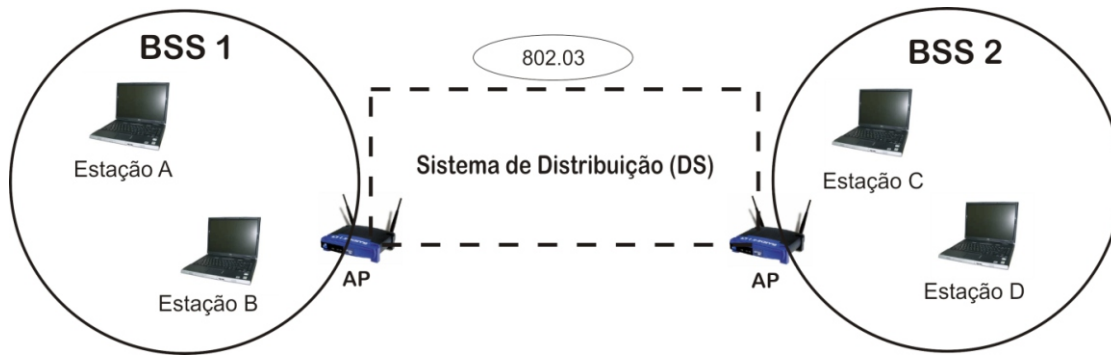


Figura 1. Rede sem fio infraestruturada com sistema de distribuição

encontra atualmente na versão 2.34.

O NS é um simulador de eventos discretos, ou seja, sua atuação é baseada em uma seqüência de eventos que possibilita o controle e o comportamento do cenário proposto. O fato de o NS ser um software livre e de código aberto permite ao usuário efetuar ajustes que se façam necessários no núcleo do sistema, desde que se tenha conhecimento para isso. O simulador fornece suporte a simulações de diversas tecnologias de rede, seja sem fio ou cabeada, tornando possível explorar os mais diversos cenários baseados nos protocolos de transporte TCP e UDP.

A utilização do NS é feita através de duas linguagens distintas de programação, e que possuem utilizações específicas. Devido à necessidade de se manipular grande quantidade de dados, assim como tratar variáveis de mais baixo nível em relação à rede, como a manipulação de pacotes e bytes, a linguagem escolhida para formar a estrutura básica do NS foi o C++.

Outro fator importante esperado durante as simulações é a interatividade entre o código escrito e o resultado. Diante dessa realidade a linguagem escolhida para criação dos scripts de simulação no NS foi o OTCL, versão orientada a objetos do TCL (Tool Command Language). É através dessa linguagem que se cria efetivamente as simulações.

Trabalhos já desenvolvidos sobre a instalação, configuração, e simulação de redes cabeadas usando NS podem ser encontrados em Nunes (2008), Greigs e Margalho.

O NS em versões anteriores não possuía suporte a simulações sem fio em ambiente infraestruturado, suportava

apenas as redes ad hoc. Isso era uma grande desvantagem partindo do ponto de vista que a maioria das redes WLAN são implementadas com infraestrutura. No entanto, uma extensão desenvolvida por Purushothaman e Roy, da Universidade de Washington, foi incorporada ao NS a fim de prover essa funcionalidade.

Ao passo que estaremos abordando os principais parâmetros de configuração do código, já incluindo a utilização dessa extensão, iremos também efetuar simulações que possam mostrar os resultados obtidos através dessa nova funcionalidade.

Essa experiência será visualizada utilizando diversas taxas de transmissão no AP, referentes aos sub-padrões B e G do 802.11, como: 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps, 36Mbps e 54Mbps. Através da vazão encontrada em cada simulação será possível entender a atuação dessa nova extensão, comparando com a vazão já estimada em um ambiente real.

3.2. CENÁRIO DAS SIMULAÇÕES

Propõe-se, portanto, um cenário formado por cinco nós móveis e um AP, todos concorrendo ao meio. Dentre os cinco nós um servirá como servidor de FTP, enquanto os demais gerarão tráfego simultâneo na rede acessando esse servidor, como ilustrado na *Figura 2*. O AP estará conectado a uma rede cabeada, servindo assim como extensão da rede.

As taxas de transmissão do AP para os nós serão variadas de acordo com as taxas dos modelos 802.11B e 802.11G, a fim de demonstrar a atuação do NS nesse tipo de simulação.

Os detalhes dos parâmetros

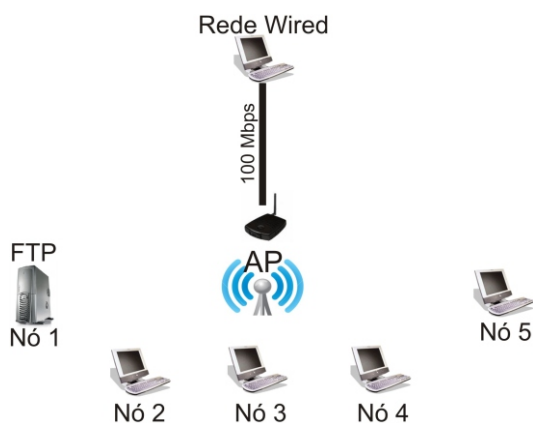


Figura 2. Cenário de simulação

utilizados serão abordados na próxima sessão, com o objetivo de instruir o leitor a implementar as suas próprias simulações adaptando a um cenário específico. Os resultados obtidos serão comentados na sessão 5, analisando os dados e os gráficos de vazão.

4. Simulando WLAN com NS

De acordo com o cenário proposto é possível iniciar a implementação do código em tcl, programando manualmente todas as características da rede e seus parâmetros. Cabe aqui uma observação no sentido de mostrar que essa talvez seja a maior desvantagem e dificuldade das simulações em NS, logo porque é necessário que todas as variáveis, os conceitos e os atributos particulares de cada tipo de rede sejam informados e configurados manualmente. Isso remete dizer que, para se fazer simulações em NS, é preciso conhecer muito bem as especificações do modelo e a teoria envolvida, além de ter a consciência daquilo que se deseja simular. Se não conhecermos o que determinado comando em tcl realiza, a omissão ou a falta de atenção a esse detalhe pode influenciar diretamente nos resultados encontrados e também nas conclusões a serem feitas.

4.1. PARÂMETROS INICIAS

```
set val(chan) Channel/WirelessChannel
– Define o canal de propagação como sendo Wireless
set val(prop) Propagation/TwoRayGround
– Define o modelo de propagação.
```

O NS implementa três modelos de propagação:

- Free Space – modelo usado para simular a comunicação sem fio onde existe um caminho livre entre transmissor e receptor. É mais indicado em cenários onde as interferências naturais ou obstáculos (paredes, árvores, sombras) não são considerados.

- Two Ray Ground – modelo de dois raios usado quando se deseja considerar reflexão de solo, objetos e obstáculos durante a simulação.

- Shadowing – modelo que simula o efeito de obstruções de sombra entre o transmissor e o receptor. Ele é usado principalmente para simular canal sem fio em ambiente in-door.

```
set val(netif) Phy/WirelessPhy – Define o tipo de camada física como sendo Wireless.
Phy/WirelessPhy set
CSThresh_5.011872e-12
Phy/WirelessPhy set
```

O NS utiliza limiares para determinar se um frame é recebido corretamente pelo receptor, o sinal **CSThresh_** faz essa verificação. Se a intensidade do sinal do frame é inferior ao sinal **CSThresh_** este frame é descartado na camada física (PHY) e não será visível na camada MAC. O NS tem outro limiar, o **RxThresh_** que define a intensidade de um frame recebido pelo receptor. Se um frame é recebido e a intensidade do sinal é maior que **RxThresh_**, o frame é recebido corretamente, caso contrário, o frame é tido com corrompido e a camada MAC o descarta. Para configuração desses parâmetros é necessário conhecer os detalhes do funcionamento da camada física e dos modelos de propagação. Pode-se configurar a simulação sem esses dois parâmetros.

```
Phy/WirelessPhy set bandwidth_11Mb
```

Esse parâmetro define a largura de banda na camada física. A frequência 11Mb é referente ao padrão 802.11b.

```
set val(mac) Mac/802_11 – Define o tipo da camada MAC como sendo 802.11. O NS também implementa a camada MAC do tipo TDMA.
Mac/802_11 set dataRate_11Mb – Define a taxa máxima dos dados que podem trafegar pela camada MAC.
set val(ifq) Queue/DropTail – Define o tipo de interface de fila.
```

O NS implementa dois tipos de interface de fila:

- **DropTail** – O algoritmo DropTail é um algoritmo simples de controle de congestionamento. Ele armazena os pacotes na ordem em que chegam, e, assim que a rede permitir são enviados nessa mesma ordem, portanto, não existe nesse algoritmo o conceito de prioridade, a ordem de chegada é o determinante do fluxo. No caso da fila atingir seu limite, isto é, a rede estiver sofrendo grande tráfego, o algoritmo pode descartar os pacotes que chegarem a partir de então (DropTail).

- **RED (Random Early Detection)** - O algoritmo de RED tem a finalidade de evitar o congestionamento em uma rede, e é utilizado em tráfegos que necessitem de QoS. Ele otimiza a taxa de transmissão de acordo com o tráfego e é apropriado para serviços que utilizam o protocolo de transporte TCP, como no caso da Internet.

```
set val(ll) LL – Define a camada de enlace.
set val(ifqlen) 50 – Define a quantidade máxima
de pacotes na fila.
set val(nn) 6 – Número de nós móveis.
set val(rp) DumbAgent – Protocolo de
roteamento.
set val(x) 600 – Coordenada x da topologia.
```

4.2. DEFINIÇÃO DE DOMÍNIOS - REDE SEM FIO COM REDE CABEADA

Geralmente, as redes sem fio são utilizadas como extensões de redes cabeadas, portanto, é normal realizar simulações desse tipo. Nesse caso é necessário definir o conceito de domínio.

Um domínio seria uma rede particular composta por um ou mais nós dividindo uma mesma faixa de endereçamento, como ilustrado na *Figura 3*.

Os parâmetros para se trabalhar com domínios em NS são comentados abaixo:

```
- Define o número de domínios
AddrParams set domain_num 2
- Define quantos subdomínios haverá dentro de um
domínio
lappend cluster_num 1 1
- Define o número de nós em cada domínio
AddrParams set cluster_num_ $cluster_num
lappend eilastlevel 1 6
```

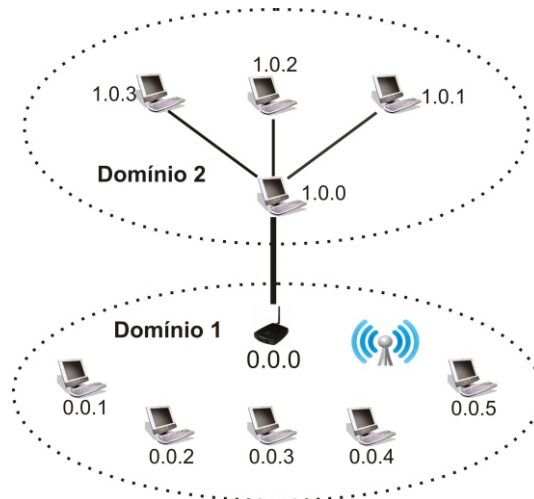


Figura 3. Modelo de domínio

Com essa configuração feita todos os nós que forem criados no código precisarão de um endereçamento que identifique o domínio a qual pertence e sua identificação única dentro desse domínio, o que pode ser comparado com o número IP da máquina, como no exemplo abaixo:

```
set n0 [$ns_node 0.0.0]
```

Esse nó pertence ao domínio 0, subdomínio 0 e é o nó 0 dentro dessa estrutura.

```
set n3 [$ns_node 0.0.3]
```

Esse nó pertence ao domínio 0, subdomínio 0, e é o nó 3 dentro dessa estrutura.

Para um nó sem fio é a mesma idéia.

```
set node_(2) [$ns_node 1.0.2]
```

Esse nó pertence ao domínio 1, subdomínio 0, e é o nó 2 dentro dessa estrutura.

Lembrando que se for adicionado uma quantidade de nós maior do que o especificado no parâmetro `lappend eilastlevel` a execução do código apresentará erro. O mesmo acontece se as configurações de endereçamento forem configuradas e não for atribuído nenhum endereço a um determinado nó.

4.3. CRIAÇÃO DE NÓS SEM FIO E DEFINIÇÃO DE “AP”

Os nós podem ser criados um por

um, porém, se forem muitos essa configuração pode ser feita através de um laço for como no código abaixo que cria os 6 nós móveis atribuídos a variável val(nn) com endereçamento:

```
set temp {1.0.0 1.0.1 1.0.2 1.0.3 1.0.4
1.0.5}
for {set i 0} {$i < [expr $val(nn)]} {incr i} {
set node_($i) [$ns_node [lindex $temp $i]]
# desabilita mobilidade randômica
$node_($i) random-motion 0
set mac_($i) [$node_($i) getMac
0]
```

A definição de um ou mais nós como AP é feito através do código abaixo, nesse caso o nó 0 está sendo definido como AP:

```
set AP_ADDR1 [$mac_(0) id]
$mac_(0) ap $AP_ADDR1
```

Configurações como o nome, a posição e a cor do nó que aparecerá no nam pode ser feito através do seguinte código:

```
$ns_at 0.0 "$node_(0) label \"AP\""
$node_(0) set X_ 0.0692067
$node_(0) set Y_ -70.243
$node_(0) set Z_ 0.0
$node_(0) color "red"
```

4.4. CRIAÇÃO DE TRÁFEGO

A fim de simular um estado real de uma rede sem fio nós podemos definir a criação de dois tipos de tráfego: FTP e CBR. Onde o FTP define um tráfego que simula a transferência de arquivos, e o CBR define um tráfego que simula a distribuição de vídeo na rede.

Tráfego FTP

```
set tcp1(1) [new Agent/TCP]
$ns_attach-agent $node_(2)
$tcp1(1)
set ftp1(1) [new Application/FTP]
$ftp1(1) attach-agent $tcp1(1)
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns_attach-agent $node_(1) $sink1
```

O nó 2 envia pacotes FTP ao nó 1.

Tráfego CBR

```
set udp1(1) [new Agent/UDP]
$ns_attach-agent $node_(2)
$udp1(1)
set cbr1(1) [new
Application/Traffic/CBR]
$cb1(1) attach-agent $udp1(1)
set base0 [new Agent/Null]
$ns_attach-agent $node_(1) $base0
```

O nó 2 envia pacotes CBR ao nó 1. Todas essas configurações podem ser adaptadas facilmente ao cenário desejado.

5. Resultados

Um dos objetivos desse trabalho é colocar em evidência a capacidade do Network Simulator em realizar simulações em rede sem fio infraestruturada. Como abordado anteriormente o NS em versões anteriores a 2.29 não possuía suporte a simulações sem fio nesse tipo de ambiente, suportava apenas as redes ad hoc. O que caracterizava uma grande desvantagem partindo do ponto de vista que a maioria das redes WLAN são implementadas com infraestruturada. No entanto, a partir das últimas versões uma extensão desenvolvida por Purushothaman e Roy, da Universidade de Washington, foi incorporada ao NS a fim de prover essa funcionalidade. Portanto, serão apresentados resultados que demonstram a utilização dessa extensão.

5.1. DEMOSTRANDO A INFRAESTRUTURA

Em um primeiro momento o que caracteriza uma rede infraestruturada é a presença de um centralizador que irá exercer a função de distribuição do tráfego de dados na rede sem fio. Portanto, toda comunicação entre os nós precisam obrigatoriamente passar por esse nó centralizador ou Access Point – AP.

As simulações feitas no NS geram um arquivo com extensão .tr, um arquivo trace que informa tudo o que aconteceu na rede durante o tempo de

simulação. Através desse arquivo e da ilustração da simulação é possível verificar se a rede pode ser caracterizada como uma rede infraestruturada. Pode-se destacar algumas linhas do trace a fim de demonstrar o envio de um pacote entre o nó 1 e o nó 2. Os trechos em negrito destacam esses nós e o AP que é caracterizado pelo nó 0.

```
# Linha 1 #
s 0.204968988_2_ MAC 0 tcp 98 [13a 0 2
800] [2:0 1:0 32 0] [0 0] 0 0
```

Essa linha do trace descreve o envio de um pacote tcp tendo como origem o nó 2 e destino o nó 1, porém o envio não é feito diretamente, pois o nó 2 envia o pacote para o nó 0 que no caso é o AP, que tem por função encaminhar o pacote ao nó 1.

```
# Linha 1 #
r 0.205215177_0_ MAC 0 tcp 40 [13a 0 2
800] [2:0 1:0 32 1] [0 0] 1 0
# Linha 2 #
s 0.205225177_0_ MAC 0 ACK 38 [0 2 0 0]
# Linha 3 #
r 0.205529548_2_ MAC 0 ACK 38 [0 2 0 0]
```

Seguindo, na linha 1 o AP recebe o pacote do nó 2 e retorna na linha 2 a confirmação ACK. Na linha 3 o nó 2 recebe o pacote ACK enviado pelo AP.

```
# Linha 1 #
s 0.205699177_0_ MAC 0 tcp 98 [13a 1 0
800] [2:0 1:0 32 1] [0 0] 1 0
# Linha 2 #
r 0.205945483_1_ MAC 0 tcp 40 [13a 1 0
800] [2:0 1:0 32 1] [0 0] 2 0
# Linha 3 #
s 0.205955483_1_ MAC 0 ACK 38 [0 0 0 0]
```

Em seguida na linha 1 o AP envia o pacote tcp que ele recebeu do nó 2 ao seu destino que é o nó 1. O nó 1 recebe o pacote na linha 2 e emite a confirmação ACK de recebimento ao AP na linha 3.

```
# Linha 1 #
s 0.207599788_0_ MAC 1 ack 98 [13a 2 0
800] [1:0 2:0 32 2] [0 0] 1 0
# Linha 2 #
r 0.207845977_2_ MAC 1 ack 40 [13a 2 0
800] [1:0 2:0 32 2] [0 0] 2 0
```

E finalmente na linha 1 o AP envia a confirmação ACK ao nó 2, atestando que o nó 1 recebeu o pacote. Na linha 2 o nó 2 recebe a confirmação.

Todo esse processo pode ser visualizado através do **nam**, que emula o arquivo trace gerado, criando o ambiente visual da simulação. As Figuras 4 e 5 mostram a simulação sendo ilustrada pelo **nam**.

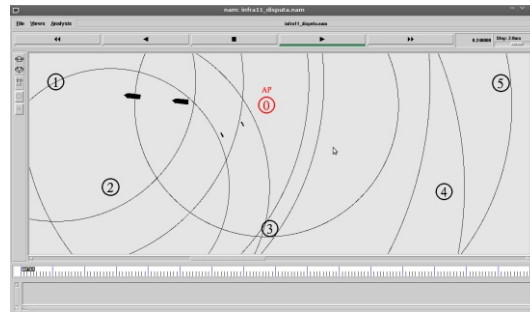


Figura 4. Nó 2 enviando pacotes para o Nó 1

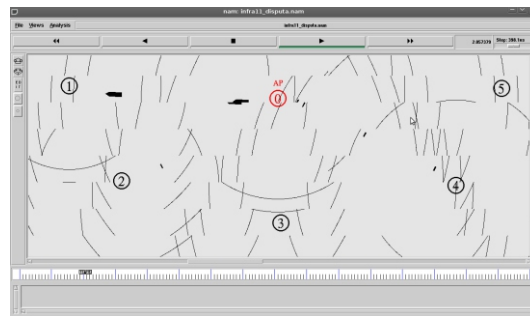


Figura 4. Nó 2 enviando pacotes para o Nó 1

Nessas ilustrações é possível visualizar que todos os tráfegos gerados na rede são distribuídos pelo AP.

Com esses dados e ilustrações, verifica-se que o NS através dessa extensão consegue simular satisfatoriamente a infraestrutura de uma rede sem fio.

5.2. DEMOSTRANDO OS SUB-PADRÕES “B” E “G”

Os sub-padrões 802.11b e 802.11g podem ser simulados utilizando o NS através da variação nas taxas de transmissão. A partir do arquivo trace é possível utilizar programas auxiliares para descobrir a vazão da rede. Com esse objetivo foram feitas diversas simulações baseadas no cenário demonstrado na Figura 2, alterando as taxas de transmissão em cada simulação, como na *Tabela 2*:

Simulação	Taxa de Transmissão
1	1 Mbps
2	2 Mbps
3	5.5 Mbps
4	11 Mbps
5	36 Mbps
6	54 Mbps

As taxas das simulações de 1 a 4 correspondem as do sub-padrão 802.11b, enquanto as taxas das simulações 5 e 6 só podem ser alcançadas no sub-padrão 802.11g.

Após a realização das simulações foi utilizada uma ferramenta auxiliar chamada tracegraph que analisa os arquivos traces gerados, e possibilita a visualização de diversos gráficos referentes ao comportamento da rede simulada.

Nas figuras abaixo demonstra-se os gráficos de vazão gerados pelo *tracegraph* de cada simulação mostrada na Tabela 2.

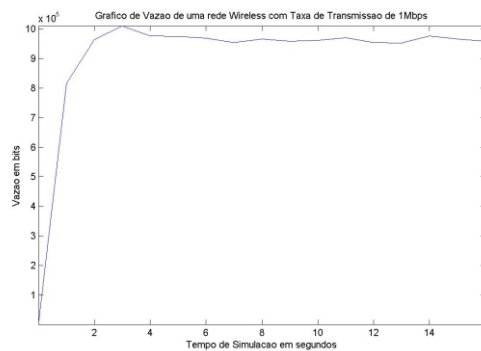


Figura 16. Vazão – 1Mbps

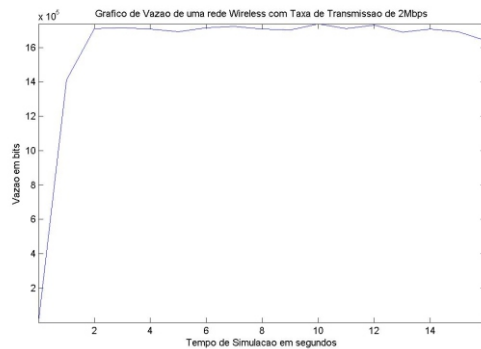


Figura 17. Vazão – 2Mbps

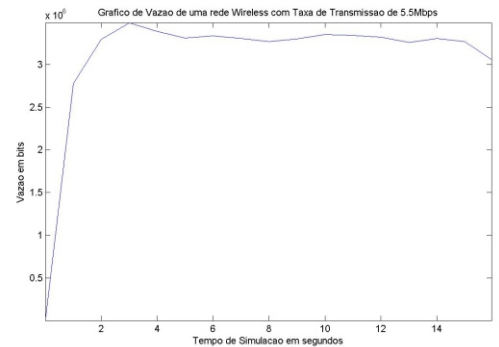


Figura 18. Vazão – 5.5Mbps

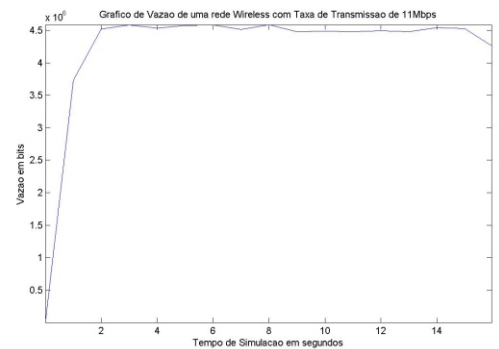


Figura 19. Vazão – 11Mbps

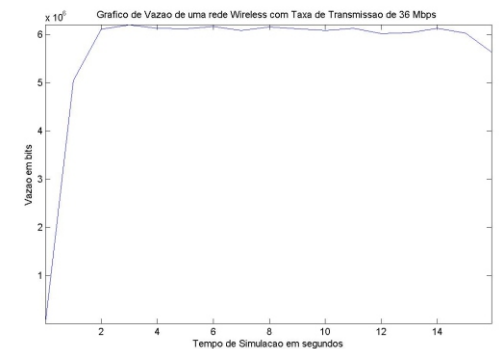


Figura 20. Vazão – 36Mbps

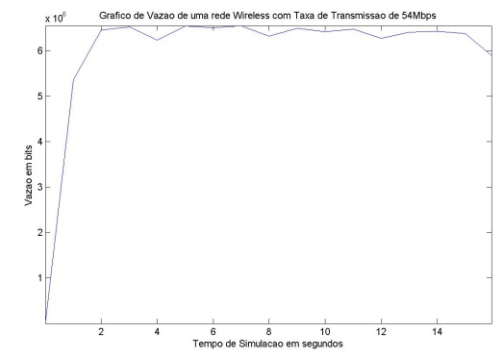


Figura 21. Vazão – 54Mbps

O tracegraph retorna os gráficos em bits, sendo necessário fazer um cálculo nos resultados a fim de encontrar a vazão de

cada simulação em Mbps. A Tabela 3 demonstra os cálculos e os resultados, levando em consideração a vazão máxima aproximada encontrada em cada gráfico.

Taxa	Cálculo	Vazão
1 Mbps	$(10 \cdot 10^5)/1024$	~ 976 Kbps
2 Mbps	$(16,5 \cdot 10^5)/1024$	~ 1,61 Mbps
5.5 Mbps	$(3,5 \cdot 10^6)/1024$	~ 3,41 Mbps
11 Mbps	$(4,5 \cdot 10^6)/1024$	~ 4,39 Mbps
36 Mbps	$(6 \cdot 10^6)/1024$	~ 5,85 Mbps
54 Mbps	$(6,5 \cdot 10^6)/1024$	~ 6,34 Mbps

Tabela 3 – Tabela de cálculo de vazão

Comparando o resultado encontrado nos gráficos é possível afirmar que as vazões obtidas nas taxas de transferência referentes a 1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps e 11 Mbps estão condizentes com a vazão esperada em um ambiente real utilizando o padrão 802.11b.

Porém, como mostrado na tabela, as taxas de transferência de 36 Mbps e 54 Mbps não estão de acordo com o padrão 802.11g, que em tese alcançariam por volta de 15 Mbps e 25 Mbps de vazão respectivamente, considerando que o ambiente de simulação para cada taxa demonstrada é idêntico, inclusive em termos de distância entre nós.

Com esses resultados é possível dizer que o NS consegue simular adequadamente redes sem fio infraestruturada utilizando a especificação 802.11b, mas, possui uma tendência a não apresentar resultados satisfatórios em simulações com taxas acima de 11Mbps alcançados na especificação 802.11g, sendo uma limitação importante em relação a essa extensão do NS. Essa tendência é indiretamente demonstrada em Monteiro (2009), onde o autor teve que alterar rotinas internas do simulador para obter os resultados desejados com taxas alcançadas pelo padrão 802.11g.

6. Conclusão

O Network Simulator é utilizado para analisar e avaliar modelos e cenários reais de rede de computadores. Ele permite também que se desenvolvam modificações no código a fim de propor

possíveis melhorias e alternativas em determinado modelo de rede (MONTEIRO, 2009). Pode-se encontrar diversos exemplos dessa utilização em artigos científicos aprovados em eventos renomados, provando que é possível alcançar resultados interessantes e satisfatórios através dessa ferramenta. Em razão disso, o NS é uma alternativa bastante atraente de estudos e pesquisas.

Porém, ainda é muito fácil implementar erradamente uma simulação utilizando NS, onde os resultados encontrados pareçam estar certos, no entanto, nem sempre é possível comprovar isso. O que evidencia a necessidade de saber exatamente o que se deseja simular e o que se deseja alcançar de resultados, tendo um domínio satisfatório da teoria do modelo utilizado na simulação.

Nesse trabalho foi apresentado os principais parâmetros de configuração em redes sem fio infraestruturada utilizando o NS, demonstrando até que ponto ele tende a nos fornecer resultados adequados no que tange aos sub-padrões B e G do 802.11.

As principais dificuldades encontradas foram exatamente as limitações em reunir dados e informações relevantes e esclarecedoras sobre simulações sem fio em NS. Grande parte dos trabalhos relacionados apresenta apenas resultados e experiências realizadas, sem necessariamente disponibilizar detalhes dos procedimentos de configuração adotados. Portanto, existe um horizonte bastante amplo de possibilidades para novos estudos e pesquisas que podem utilizar a simulação em NS como ferramenta de auxílio, inclusive até propondo melhorias no modelo 802.11.

Nesse sentido, diversos trabalhos futuros podem ser desenvolvidos, utilizando outras medidas de tráfego, outros cenários e outras configurações de rede. Além de trabalhos que possam programar melhorias, codificando e alterando diretamente rotinas do NS.

7. Referências

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC AND ENGINEERS.

Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. IEEE Standard 802.11, 1999.

RUBINSTEIN, M. G.; BAHL, P.; REZENDE, J. F. **Qualidade de Serviço no Controle de Acesso ao Meio de Redes 802.11.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.

SINGH, H.; KWON, C. Y.; KIM, S. S.; NGO, C. **IPTV over WirelessLAN: Promises and Challenges.** IEEE Communications Society, Korea, 2008.

PERKINS, E. C. **Ad Hoc Networking.** New York: Addison-Wesley, 2001.

CROW, B. P.; WIDJAJA, I.; KIM, J. G.; SAKAI, P. T. **IEEE 802.11 wireless local area networks.** *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 9, pp. 116–126, setembro de 1997.

BARBEAU, M.; KRANAKIS, E. **Principles of Ad Hoc Networking.** Carleton University - Canada, 2007.

PURUSHOTHAMAN, I.; ROY, S. **Infrastructure mode support for IEEE 802.11 implementation in NS-2.** Department of EE, University of Washington – 2009.

VELAYOS, H.; KARLSSON, G. **Techniques to Reduce IEEE 802.11b MAC Layer Handover Time.** IEEE ICC, vol. 7, pp. 3844-3848 - 2004.

MONTEIRO, Claudio de Castro, GONDIM, Paulo de Lira. **Improving Video Quality in 802.11 Networks.** Mobile Video Delivery Workshop in INFOCOM2009, Rio de Janeiro, 2009.

FERREIRA, G. **Avaliação de Transmissão de Fluxo Contínuo de Vídeo em Redes IP Sem Fio – Padrão IEEE 802.11B e 802.11G.** Dissertação (Mestrado) – PUC, Campinas, 2007.

NUNES, J. **Network Simulator** – 2008. Disponível em: http://www.4shared.com/file/109835510/d5fb0aa5/Parte_5_Network_Simulator.html. Acessado em maio de 2009.

NUNES, J. **Especificação da Camada MAC do Padrão 802.11** – 2009. Disponível em: http://www.4shared.com/file/119350925/9955a142/Especificacao_da_Camada_MAC_do_Padro_802.html. Acessado em maio de 2009.

GREIGS, M. **Tutorial NS** – 2004. Disponível em:

<http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial>. Acessado em maio de 2009.

MARGALHO, M. **Simulações utilizando NS** – 2004. Disponível em: <http://www.cci.unama.br/margalho/simulacao/simulacao.htm>. Acessado em junho de 2009.

THE NETWORK SIMULATOR – SITE. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>. Acessado em fevereiro de 2009.