

# CPE846 – Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

## Trabalho 2: Avaliação de uma Aplicação em Redes Usando o NS-3

Thales Teixeira de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Teleinformática e Automação (GTA)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)  
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

almeida@gta.ufrj.br

**Abstract.** *This paper aims to evaluate, through simulations, the performance of a data transfer application between a client and a UDP server in scenarios with and without obstacles, with different sizes of datagrams. The present paper has as reference the results obtained with the previous practical experiments. As in the previous paper, the following metrics were evaluated: RSSI (Received Signal Strength Indication) of datagrams; Time of contact with the server; Maximum flow per second; Average flow as a function of contact time; Average RTT (Round-Trip Time) of received datagrams; And loss rate of datagrams sent. The simulations were performed in the NS-3 discrete event simulator (The Network Simulator) by modifying and implementing new routines in the codes available for testing. The results obtained in some metrics corroborate with the findings of the previous paper. However, some results reinforce that the simulated environment differs from the real environment in some aspects, and may not represent it with total accuracy.*

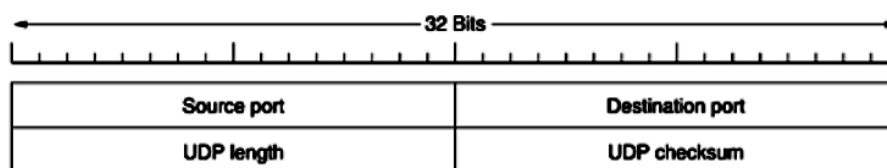
**Resumo.** *Este trabalho tem por objetivo avaliar, por meio de simulações, o desempenho de um aplicativo de transferência de dados entre um cliente e um servidor UDP em cenários com e sem obstáculos, com diferentes tamanhos de datagramas. O presente trabalho tem como referência os resultados obtidos com os experimentos práticos anteriores. Como no trabalho anterior, foram avaliadas as seguintes métricas: RSSI (Received Signal Strength Indication) de datagramas; Tempo de contato com o servidor; Vazão máxima por segundo; Vazão média em função do tempo de contato; RTT médio (Round-Trip Time) de datagramas recebidos; e taxa de perda de datagramas enviados. As simulações foram realizadas no simulador de eventos discretos NS-3 (The Network Simulator), modificando e implementando novas rotinas nos códigos disponíveis para testes. Os resultados obtidos em algumas métricas corroboram com os resultados do trabalho anterior. No entanto, alguns resultados reforçam que o ambiente simulado difere do ambiente real em alguns aspectos, e pode não representá-lo com total precisão.*

### Introdução

O UDP (User Datagram Protocol) é, junto ao TCP (Transmission Control Protocol) um dos dois principais protocolos na camada de transporte da Internet

[Tanenbaum and Wetherall 2011]. Basicamente o IP (Internet Protocol) com um cabeçalho, o UDP permite que as aplicações enviem datagramas IP sem que seja necessário estabelecer uma conexão. Serviços típicos do TCP, como controle de fluxo, controle de erros ou retransmissão não são realizados pelo UDP.

A Figura 1 apresenta a estrutura do cabeçalho do protocolo UDP. Principais campos do cabeçalho, os campos *Source port* e *Destination port* identificam os pontos extremos (soquetes) nas máquinas de origem e destino (ou seja, o processo emissor do datagrama e aquele para o qual o mesmo deve ser enviado). Cada soquete consiste de um endereço IP do *host* e um número de porta. Um soquete pode ser utilizado por várias conexões simultaneamente.



**Figura 1. O cabeçalho do UDP [Tanenbaum and Wetherall 2011]**

Mais especificamente, o campo *Source port* é usado quando uma resposta deve ser devolvida à origem. Por essa razão, o UDP é especificamente útil em aplicações do tipo cliente/ servidor, onde o cliente envia uma solicitação ao servidor e espera uma resposta de volta. Caso a solicitação ou a resposta se percam, o temporizador do cliente se esgotará e o mesmo enviará uma nova mensagem.

O protocolo da camada de transporte UDP e a programação para soquetes são dois dos principais conceitos utilizados por este trabalho. O objetivo é avaliar o desempenho de uma aplicação de transferência de dados entre um cliente e um servidor UDP em cenários com e sem a simulação de obstáculos, utilizando-se diferentes tamanhos de datagramas.

Espera-se que, com a realização deste trabalho, seja possível visualizar os desafios pertinentes à transmissão de dados em ambientes com barreiras, bem como a influência da variação do RSSI e de diferentes tamanhos de datagrama nas métricas de rede avaliadas (tempo de contato entre o cliente e o servidor; vazão máxima a cada segundo; vazão média em função do tempo de contato; RTT médio dos datagramas recebidos; e taxa de perda dos datagramas). Espera-se, também, que os resultados apresentados no presente trabalho auxiliem aos demais pesquisadores interessados pelo tema aqui abordado.

## **Trabalhos Relacionados**

A realização dos experimentos simulados executados no presente trabalho se deu a partir da utilização do simulador de eventos discretos NS-3 [The Network Simulator v3 ], um dos mais populares simuladores de rede de código aberto, desenvolvido principalmente para uso educacional e acadêmico. Atualmente em sua atualização 26, parâmetros que modelam o meio sem-fio, como a perda de propagação devido à atenuação do sinal, atraso de propagação do canal, potência de transmissão e frequência de operação dos nós podem ser facilmente configurados no simulador.

O trabalho foi desenvolvido tendo como ponto de partida os códigos disponibilizados para testes no diretório de exemplos do simulador NS-3. O código foi imple-

mentado para envio de sondas usando objetos das classes *UdpEchoServerHelper* e *UdpEchoClientHelper*. As implementações realizadas se deram a partir da modificação de dois arquivos principais: (1) *third.cc*, que configura uma aplicação de comunicação via programação de soquete no servidor UDP, enquanto o cliente UDP se conecta ao servidor através de seu endereço IP e número de porta; e (2) *udp-echo-client.cc*, onde, efetivamente, estão implementadas as funções relacionadas à aplicação do cliente UDP.

O código disponível em [The Network Simulator v3 ] foi alterado de forma a permitir o envio, *contínuo*, de datagramas UDP de diferentes tamanhos (146, 1173 e 2347 bytes, este último o MTU máximo do *Wi-Fi*). Além disso, foram implementadas novas rotinas de forma a tornar possível a simulação do cenário real onde foram realizados os experimentos práticos, como uma função para geração de mobilidade do nó executando o cliente UDP a partir do ponto de acesso estático e uma função para obter o RSSI dos datagramas de *echo* recebidos pelo cliente UDP.

## Simulações

Nesta Seção, são apresentados os detalhes das simulações realizadas, como o cenário utilizado como referência, o *hardware* e *software* empregados, bem como os parâmetros utilizados.

### Resumo do Cenário Anterior

As simulações foram realizadas a partir do cenário real apresentado no trabalho anterior, baseado em redes IEEE 802.11 b/g e implementado no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade Leopoldina. No trabalho anterior, os experimentos foram realizados nos corredores do 1º e 2º andar de um dos prédios da instituição supracitada. O servidor UDP fora conectado diretamente à rede local, enquanto o ponto de acesso fora colocado em uma das extremidades do corredor, também conectado à rede local. Já o cliente se conectava à rede local (e ao servidor) por meio de conexão *Wi-Fi* estabelecida com o ponto de acesso.

As Figuras 2(a) e 2(b) apresentam, respectivamente, o cenário onde os experimentos foram realizados, bem como a topologia física utilizada nos experimentos.

No presente trabalho, foi realizada a criação de 4 objetos simulados: (1) computador executando o cliente UDP; (2) ponto de acesso; (3) comutador; e (4) computador executando o servidor UDP. O ponto de acesso e o computador formavam o *backbone* da rede, possibilitando a comunicação direta entre o cliente e o servidor UDP.

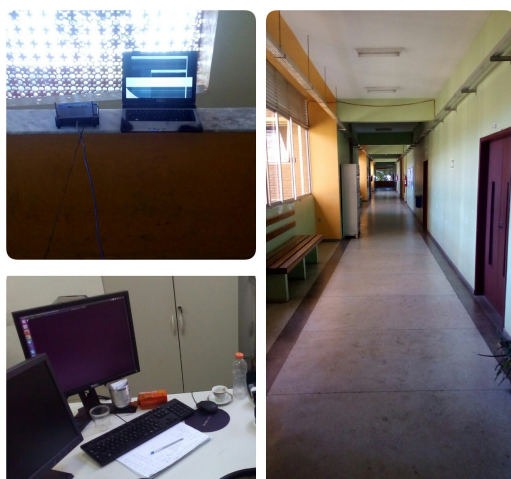
### Hardware e Software empregados

As simulações foram executadas em um computador tipo *Desktop*, cujas características e informações sobre sua respectiva configuração e modelo são apresentadas na Tabela 1:

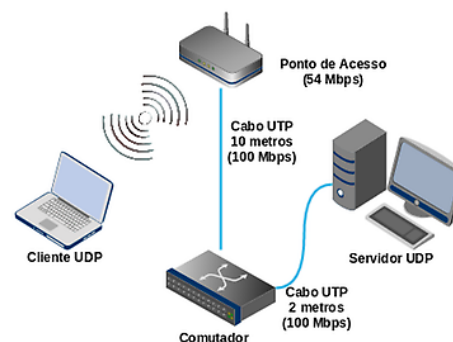
**Tabela 1. Configuração do hardware utilizado.**

Item	Modelo	Processador	Memória	Sistema
<i>Desktop</i>	Dell 7010	Core i5-3470	4GB SDRAM	Linux Ubuntu 16.04

Como mencionado anteriormente, as simulações foram realizadas utilizando o simulador de eventos discretos NS-3, em sua atualização 26.



(a) Cenário dos Experimentos.



(b) Topologia do Cenário.

**Figura 2. Cenário e Topologia dos Experimentos.**

### Parâmetros das Simulações

Com o objetivo de se obter, nas simulações, um ambiente mais próximo possível do cenário onde os experimentos práticos foram realizados, os parâmetros configurados nas simulações foram projetados tendo como referência as características físicas dos equipamentos utilizados no experimentos práticos, bem como as propriedades do meio onde se deram os experimentos.

Como exemplo, utilizou-se nos experimentos o modelo de perda de propagação denominado *LogDistancePropagationLossModel*, que gera uma atenuação do sinal proporcional à distância entre transmissor e receptor, tendo como base os valores de referência para a taxa de dados dos dispositivos e atraso no meio de transmissão.

A taxa de dados entre o ponto de acesso e o comutador foi configurada em 100 Mbps, com um atraso de propagação no meio de 2 ms. Entre o comutador e o servidor UDP, a taxa de dados configurada também foi de 100 Mbps, porém com atraso de 6560 ns. Já entre o cliente UDP e o ponto de acesso, configurou-se uma taxa de 54 Mbps e atraso padrão. Todos os valores foram baseados nos itens utilizados nos experimentos práticos, como cabos e ponto de acesso. Em relação a este último, os valores para a potência de transmissão (18 dBm) e ganho de antena (2 dBi) também foram baseados nos equivalentes reais.

Como no trabalho anterior, empregou-se nas simulações a mesma mobilidade à conexão do cliente UDP em relação ao servidor. A avaliação iniciou-se do momento em que o cliente se encontrava mais próximo ao ponto de acesso, com afastamento progressivo de 1 m/s. Todos os demais elementos mantinham-se geograficamente estáticos.

Como nos experimentos práticos, também é objetivo do presente trabalho representar a transferência de dados em um ambiente contendo obstáculos. Para isso, utilizou-se na simulações deste cenário (além do modelo de perda de propagação *LogDistancePropagationLossModel*) o modelo *NakagamiPropagationLossModel*, que implementa as variações na intensidade do sinal devido ao desvanecimento por caminhos múltiplos. Todos os valores de atributos (necessários à configuração dos modelos) foram baseados nos

valores de referência encontrados na literatura [The Network Simulator v3 ].

Com relação aos parâmetros específicos do ambiente de simulação, definiu-se um tempo de simulação de 200 segundos, que gera (devido à mobilidade implementada) um afastamento entre o cliente e servidor suficientemente grande para que haja a perda de conexão entre ambos. Considera-se uma perda de conexão quando o cliente deixa de receber, consecutivamente, 100 respostas de datagrama de *echo* enviados para o servidor.

Sobre o número de datagramas configurados para envio do cliente para o servidor, definiu-se um valor suficientemente grande (1 milhão de datagramas), caracterizando assim um envio contínuo de dados. O intervalo entre os datagramas foi definido como sendo de 1 milissegundo (0.001 segundo). Este valor foi o mais próximo encontrado da taxa "real", calculada com base na taxa de transmissão do ponto de acesso.

Foram realizadas simulações com datagramas de 146, 1173 e 2347 *bytes* (MTU máximo do *Wi-Fi*). A Tabela 2 apresenta os cenários derivados das variações das simulações.

**Tabela 2. Cenários Simulados.**

Cenário	Obstáculo	Tamanho do Datagrama ( <i>bytes</i> )
1	Não	146
2	Não	1173
3	Não	2347
4	Sim	146
5	Sim	1173
6	Sim	2347

## Resultados das Simulações

Nesta Seção, são apresentados os resultados das simulações realizadas nos cenários descritos na Seção anterior.

### Métricas Avaliadas

A Tabela 3 apresenta as métricas de rede avaliadas nos experimentos realizados em cada um dos cenários simulados.

**Tabela 3. Métricas avaliadas.**

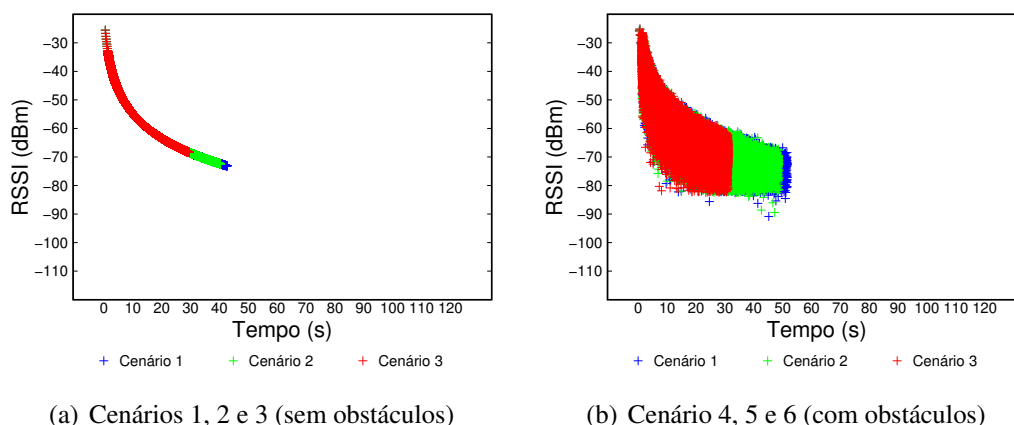
Métrica	Descrição
RSSI	Força do sinal de todos os datagramas recebidos pelo cliente (medido a cada segundo)
Tempo de contato	Intervalo entre o primeiro e último datagrama recebido pelo cliente
Vazão máxima	Contagem, pelo cliente, dos dados recebidos a cada segundo
Vazão média	Total de dados recebidos pelo cliente em função do tempo de contato
RTT	Média do tempo de ida e volta de todos os datagramas recebidos pelo cliente
Taxa de perdas	Percentual de datagramas recebidos em função do total de datagramas enviados

## Resultados

De forma a se obter certa robustez a possíveis anomalias, para cada um dos seis cenários elaborados foram realizadas cinco repetições das simulações. Os resultados finais, aqui apresentados, foram gerados com base na média destes resultados individuais. A escala utilizada nos gráficos aqui apresentados é a mesma utilizada nos gráficos dos experimentos práticos, de forma a facilitar o efeito comparativo.

## RSSI

As Figuras 3(a) e 3(b) apresentam os resultados relacionados ao RSSI dos datagramas de diferentes tamanhos (2347, 1173 e 146 *bytes*) recebidos no cliente, em cenários simulando a presença de obstáculos (cenários 1, 2 e 3) e cenários sem obstáculos simulados (cenários 4, 5 e 6).



**Figura 3. RSSI dos datagramas de 2347, 1173 e 146 *bytes* (cenários com e sem obstáculos).**

Como pode-se perceber, nos cenários onde não são simulados obstáculos (cenários 1, 2 e 3), o tamanho do datagrama influencia diretamente na probabilidade de recebimento com sucesso dos datagramas (diferente do resultado do trabalho anterior). Nota-se, também, que o tempo de contato entre o cliente e o servidor UDP é muito inferior se comparado aos resultados obtidos no trabalho anterior, demonstrando que experimentos realizados por meio de simulações podem não representar com total acurácia um ambiente real.

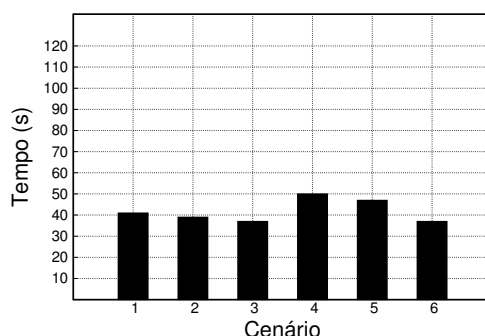
Também nos cenários onde há simulação de obstáculos, o tamanho do datagrama influencia diretamente na probabilidade do mesmo ser recebido com sucesso no cliente. Quanto maior o tamanho do datagrama, maiores são as chances de que ocorram falhas de integridade. Percebe-se, ainda nestes cenários, que o tempo de contato entre o cliente e o servidor UDP é maior do que em cenários onde obstáculos não são simulados (o que contrapõe diretamente aos resultados obtidos no trabalho anterior). Tal situação ocorre devido à multiplicação do sinal transmitido pelo servidor UDP, ocasionada pela reflexão do sinal por múltiplos caminhos (consequência do modelo de perda de propagação *NakagamiPropagationLossModel*).

Cabe destacar a uniformidade obtida nas simulações (principalmente ao avaliar os cenários 1, 2 e 3). Tal uniformidade reforça que os resultados obtidos em um ambiente simulado pode diferir fortemente dos resultados obtidos no mundo real, apresentando resultados com pouca variação e que dificilmente serão encontrados em experimentos de campo.

## Tempo de Contato

A Figura 4 apresenta o tempo de contato entre o cliente e o servidor UDP. O tempo de contato, dado em segundos, é baseado no intervalo de tempo entre o primeiro e o último

datagrama recebido pelo cliente.



**Figura 4. Tempo de contato entre o cliente e o servidor UDP.**

Como mencionado anteriormente, nos cenários onde não há a simulação de obstáculos (cenários 1, 2 e 3), o tempo médio de contato entre o cliente e o servidor foi de aproximadamente 40 segundos, valor este inferior ao encontrado nos experimentos práticos.

Já em cenários onde obstáculos são simulados, o tempo de contato entre o cliente e o servidor UDP foi proporcional ao valor encontrado no mundo real. Como já fora mencionado, este tempo é superior ao encontrado nos cenários sem obstáculos simulados devido ao recebimento de múltiplas cópias do sinal transmitido, decorrente do uso do modelo de perda de propagação específico para estes cenários.

Para ambos os casos, a utilização de datagramas de maior tamanho interfere diretamente no tempo que cliente e servidor UDP mantém a comunicação ativa, devido a menor probabilidade destes datagramas serem recebidos com sucesso devido a falhas de integridade (independente do cenário).

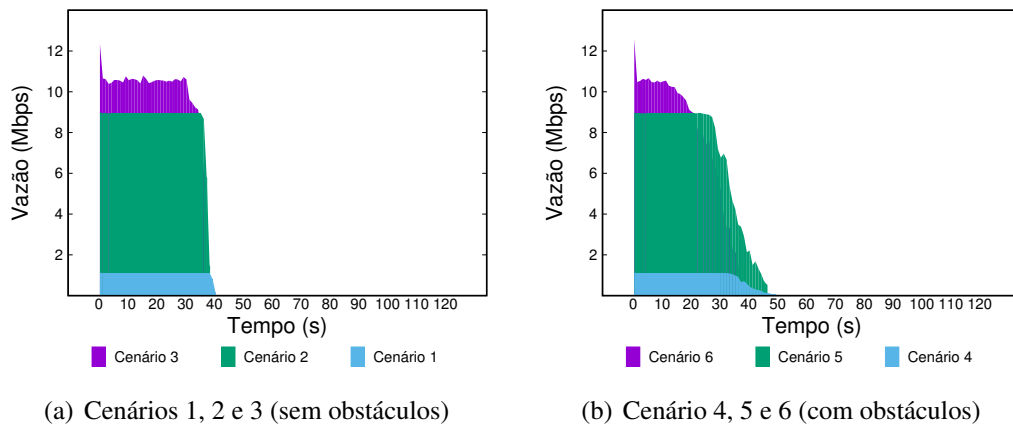
### **Vazão Máxima e Vazão Média**

Os resultados desta seção apresentam os valores relacionados à vazão máxima em um determinado período (a cada segundo), no cliente, dos dados enviados pelo servidor, bem como a vazão média (total de dados recebidos pelo cliente durante o tempo de contato com o servidor).

As Figuras 5(a) e 5(b) apresentam os resultados da vazão máxima (total de dados recebidos com sucesso a cada segundo) considerando datagramas de diferentes tamanhos (2347, 1173 e 146 *bytes*) recebidos no cliente, em cenários com (cenários 1, 2 e 3) e sem obstáculos simulados (cenários 4, 5 e 6).

É possível perceber que, em todos os cenários, o tamanho do datagrama influencia diretamente na vazão de dados do cliente. Datagramas de tamanho inferior (como 1173 e 146 *bytes*) não são uma boa escolha quando a finalidade é maximizar a vazão de dados, uma vez que a eficiência da rede fica comprometida devido aos atrasos inerentes de processamento do cabeçalho do datagrama em função de sua carga útil de dados.

Com relação à Figura 5(b) (que analisa a vazão em cenários onde há simulação de

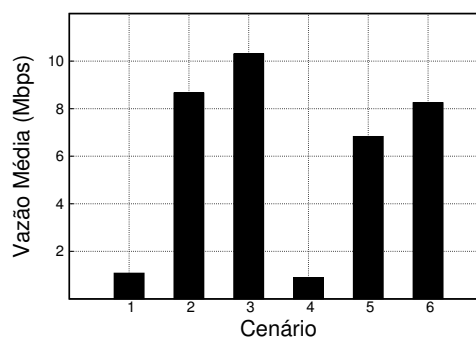


**Figura 5. Vazão máxima com datagramas de 2347, 1173 e 146 bytes (cenários com e sem obstáculos).**

obstáculos), percebe-se uma diminuição temporal da vazão máxima no cliente. Tal resultado corrobora com a hipótese de que o tempo de contato nestes cenários só é superior aos tempo de contato em cenários sem obstáculos devido ao recebimento de múltiplas cópias do sinal transmitido. Apesar de receber múltiplas cópias, os múltiplos sinais recebidos são considerados ruído pelo receptor, gerando interferência e prejudicando diretamente a vazão.

Independente do cenário, a vazão máxima obtida nas simulações é muito superior (cerca de 6 vezes maior) à encontrada nos experimentos práticos. Isto se deve, principalmente, ao comportamento da aplicação desenvolvida no trabalho anterior, cuja taxa de geração de datagramas dependia, diretamente, dos recursos computacionais do *hardware* utilizado no cliente UDP.

Já com relação à vazão média (total de dados recebidos no cliente em função do tempo de contato com o servidor), novamente os maiores valores estão em cenários sem obstáculos, potencializados em cenários onde o tamanho do datagrama é maior. Mais uma vez, os valores encontrados nas simulações são superiores àqueles encontrados nos experimentos práticos.



**Figura 6. Vazão média.**

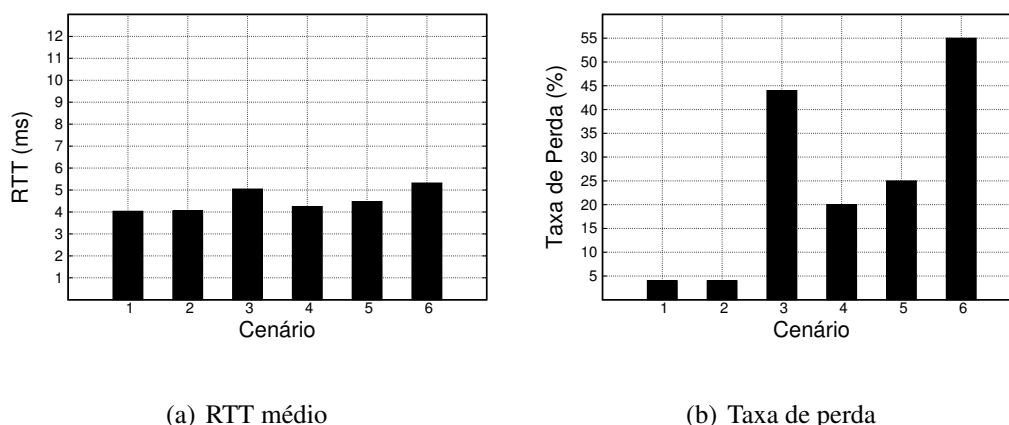


## RTT e Taxa de Perda de Datagramas

Conforme mencionado na Subseção 3.3, o intervalo entre o envio de datagramas definido nas simulações foi de 1 milissegundo. A opção por usar este valor se deu por ser o valor mais próximo a taxa de transmissão "real" do ponto de acesso utilizado nos experimentos práticos (54 Mbps), e que não gerava uma taxa de perda de 100% de datagramas no cliente UDP. Entretanto, devido à carga massiva de datagramas enviados à esta taxa, tornou-se inviável realizar o controle sobre os datagramas que são enviados pelo cliente, e aqueles que são recebidos pelo mesmo após serem enviados de volta pelo servidor. Desta forma, com este intervalo entre datagramas, não foi possível calcular o RTT dos datagramas.

Para tanto, decidiu-se calcular, exclusivamente para esta métrica, o valor do RTT dos datagramas enviados com intervalo de 1 centissegundo (0.01 s). À esta taxa, foi possível calcular o valor do RTT com sucesso. O RTT médio é apresentado pela Figura 7(a). Considera-se este valor como sendo a soma de todos os RTT de datagramas recebidos com sucesso no cliente, em função do número de datagramas recebidos com sucesso. O valor do RTT é dado em milissegundos.

Já a Figura 7(b) apresenta a taxa de perda total no cliente, ou seja, o percentual de datagramas recebidos com sucesso pelo cliente em função do total de datagramas enviados para o servidor.



**Figura 7. RTT de datagramas recebidos e taxa de perda total no cliente UDP.**

Como é possível perceber, há um compromisso entre o RTT e o tamanho do datagrama. Conforme esperado, quanto maior o datagrama, maior será o RTT. Além disso, apesar de pequena, há uma diferença entre o tamanho do RTT de datagramas recebidos em cenários onde não há simulação de obstáculos comparado aos cenários onde há obstáculos simulados (com tamanho de datagrama equivalente).

Já com relação à taxa de perda, como esperado, ela é maior em cenários onde há obstáculos simulados. Cabe destacar a grande diferença destes resultados com os obtidos no trabalho anterior. Nas simulações, a taxa de perda de datagramas foi quase 20 vezes superior aos valores encontrados nos experimentos práticos. Isto se deve, principalmente, aos modelos de perda de propagação utilizados, bem como a utilização de alta taxa de geração de datagramas, o que pode não ter sido obtido nos experimentos práticos devido à limitação do *hardware* utilizado como cliente UDP.

## Conclusões

Nos resultados do trabalho anterior, podia-se perceber um forte compromisso entre o RSSI dos datagramas recebidos pelo cliente e a taxa desejada de sucesso para as métricas de rede avaliadas. Quanto maior o RSSI, menor era a atenuação do sinal e maiores o tempo de contato entre o cliente e o servidor. Este compromisso podia facilmente ser percebido nos cenários práticos sem obstáculos, uma vez que em cenários com obstáculos, a forte atenuação provocada pela barreira influenciava significativamente o sucesso das métricas avaliadas.

Já os resultados das simulações demonstraram que o ambiente simulado difere do ambiente real em alguns aspectos. Além de resultados muito uniformes e com pouca variação, observou-se, no presente trabalho, um menor tempo de contato entre o cliente e servidor UDP (independente do cenário), o que pode ser provocado pelo modelo de perda de propagação utilizado. Ainda com relação ao tempo de contato, diferente do que ocorreu nos experimentos práticos, nas simulações de cenários com obstáculos o tempo de contato entre o cliente e o servidor UDP é superior à mesma métrica em cenários sem obstáculos simulados. Tal ocorrência pode ser explicada pelo recebimento, nestes cenários, de múltiplas cópia do sinal transmitido, proveniente do trajeto por múltiplos caminhos.

Métricas como vazão máxima no cliente e taxa de perda dos datagramas recebidos apresentaram, nas simulações, valores muito superiores aos encontrados nos experimentos práticos. Entende-se que tal variação pode ser explicada pela limitação dos recursos computacionais do *hardware* utilizado como cliente UDP nos experimentos práticos, que poderia prejudicar a taxa máxima de geração de datagramas.

Como no trabalho anterior, com relação ao tamanho do datagrama, conclui-se que a escolha por um determinado tamanho deverá ser feita com base na análise do tipo de aplicação a ser utilizada. Caso a aplicação priorize a vazão dos dados no cliente, datagramas de tamanho máximo (como os de 2347 *bytes* utilizados nas simulações) podem ser a melhor escolha. Nestes casos, a eficiência da rede é maximizada já que menos tempo se gasta com o processamento de cabeçalhos, uma vez há mais carga útil de dados em circulação. Por outro lado, se o tempo de contato ou o RTT são mais importantes, a escolha de datagramas com menor tamanho deve ser considerada pelo projetista da aplicação.

## Referências

- Tanenbaum, A. S. and Wetherall, D. J. (2011). *Computer networks*. Pearson.
- The Network Simulator v3, N.-. A Discrete-Event Network Simulator. Disponível em <https://www.nsnam.org/>. Acessado em maio de 2017.