

Uma Avaliação de Qualidade de Serviço e Qualidade de Experiência para Streaming de Vídeos em Rede LTE com Escoamento de Tráfego de Dados por Wi-Fi Direct

Leonardo da S. Gomes¹, Hugo Santos¹, Marcos Seruffo¹, Denis Rosário¹

¹Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

leonardo.gomes@itec.ufpa.br, hugosantos@ufpa.br, seruffo@ufpa.br,
denis@ufpa.br

Abstract. *The advance in mobile telecommunications enabled the emergence of new network formats to meet the current demand. However, it is still challenging to transmit videos in some locations due to interference, latency, among others factors. More and more users consume more multimedia content and require better qualities of experience. User equipment typically has at least two wireless network interfaces, but just one of them being used. Based on this premise, this article presents an evaluation of the performance of the LTE network in the transmission of video, in comparison with the analysis of a network that uses LTE and Wi-Fi Direct to aid in the transmission of the video. We considered videos with different resolutions and bitrates. The evaluation metrics were Quality of Service and Quality of Experience to compare the assembled scenarios. Simulations were performed to analyze the improvements that Wi-Fi Direct can offer in the distribution of multimedia content.*

Resumo. *O avanço nas telecomunicações móveis tem possibilitado o surgimento de novos formatos de rede visando atender a atual demanda. Entretanto, ainda há dificuldade na transmissão de vídeos seja pela localização, interferência, latência e outros fatores. Cada vez mais os usuários consomem mais conteúdo multimídia e exigem melhores qualidades de experiência. Os equipamentos dos usuários normalmente possuem pelo menos duas interfaces de rede sem fio, sendo que só há uso de uma delas. Partindo dessa premissa, este artigo apresenta uma avaliação de desempenho da rede LTE na transmissão de vídeo, em comparativo com a análise de uma rede que usa LTE e Wi-Fi Direct para auxiliar na transmissão do vídeo. Foram considerados vídeos com diferentes resoluções e taxas de bits. As métricas de avaliação foram Qualidade de Serviço e Qualidade de Experiência para comparar os cenários montados. Foram realizadas simulações para analisar as melhorias que o Wi-Fi Direct pode oferecer na distribuição de conteúdo multimídia.*

1. Introdução

O Cenário atual das redes de telecomunicações apresenta cada vez mais o uso de tecnologias que utilizam redes móveis. O exponencial crescimento do uso de smartphones evidenciou a necessidade de redes móveis mais velozes e robustas com o propósito de atender a demanda dos usuários com qualidade. São nítidos os avanços alcançados na área das redes de telecomunicações nos últimos anos, certamente impulsionados pela crescente demanda no tráfego de dados móveis dos usuários. O

interesse na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias na área de redes móveis, conseqüentemente, cresceu. Em meio a este cenário, destacam-se neste trabalho duas tecnologias que vem se consolidando ao longo do tempo, sendo estas: *Long Term Evolution* (LTE) para transmissão de dados em redes celulares e *Wi-Fi Direct* para transmissão de dados segundo a padronização 802.11 do IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos).

Um recente estudo acerca do tráfego de dados móveis revelou que três mil milhões de minutos de vídeo serão consumidos mensalmente na Internet global em 2021, representando 82% do tráfego total de dados móveis [Cisco 2017]. Este mesmo relatório aponta o tráfego de dados escoando até 63% da carga total de dados móveis. Isto reforça a tendência de se buscar alternativas para o escoamento de dados, principalmente de vídeo que rapidamente consome uma fatia considerável na banda larga, aumentando o atraso [Marotta et. al 2015]. Nesse sentido, a comunidade acadêmica, empresas de telecomunicação e diversos pesquisadores, buscam soluções para melhorar a experiência do usuário como um todo, portanto aprimorar a Qualidade de Experiência (QoE) dos vídeos recebidos pelos usuários. Além disso, existem poucas alternativas para interferir nas unidades de transmissão por rádio, conhecidas como Estações Rádio-Base (ERB) sem comprometer o espectro de frequência de operação destas.

A utilização de interfaces de rede alternativas, como *LTE* e *Wi-Fi Direct*, podem aumentar a capacidade da rede e conseqüentemente melhorar a Qualidade de Serviço (QoS) e QoE. Tratando-se de *Wi-Fi Direct*, como o alcance de propagação é curto, o Equipamento do Usuário (EU) pode formar agrupamentos para uma transmissão ordenada. Uma evolução no QoS implicitamente pode melhorar a QoE [Yuzhou et al. 2017], pois a entrega de vídeos em tempo real pode perder dados essenciais para reconstrução do vídeo apresentando na tela do dispositivo móvel. Neste caso, métricas objetivas de QoE, como por exemplo: *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) e *Structural Similarity* (SSIM), podem sinalizar de forma mais assertiva o grau de satisfação do usuário dado a detecção de deformidades de cores e formas dos objetos representados no vídeo.

Diante ao exposto, este artigo visa fazer uma avaliação de QoS e QoE da transmissão de dados de vídeo em tempo real em uma rede LTE considerando o uso de *Wi-Fi Direct* para otimizar o escoamento de dados. De posse dos resultados, a avaliação poderá prover dados para estimativas de QoE e QoS dado os cenários simulados. A tecnologia da rede LTE pode sofrer com uma alta densidade de usuários distantes ou não das ERBs prejudicando a transmissão de dados. No entanto, o escoamento com *Wi-Fi Direct* podem melhorar a disseminação dos vídeos ao diminuir-se o alcance da transmissão e poder aproveitar mais a utilização do espectro de frequência.

A contribuição deste artigo visa aferir os ganhos, em termos de QoE e QoS, trazidos com a entrega de vídeo para EUs com a agregação do *Wi-Fi Direct* como interface de rede secundária. O *streaming* de vídeo teve codificação com resoluções diferentes (480p, 720p e 1080p) em dois cenários (LTE e LTE + *Wi-Fi Direct*) em que uma ERB atende 10, 50 e 100 EUs, que estão requisitando vídeo em tempo real. Os resultados mostraram uma melhoria de até 38% na QoE para os cenários que usam LTE + *Wi-fi Direct* para escoamento de conteúdo. Portanto, a transmissão de dados conjugada ao *Wi-Fi Direct* pode aumentar a escalabilidade de EUs com que as antenas LTE podem atuar.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 trata dos trabalhos relacionados quanto ao uso do *Wi-Fi Direct* aliado a rede LTE. A seção 3 descreve a metodologia da avaliação e os resultados obtidos nas simulações. A seção 4 as considerações finais do trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Sobre a área que abrange este trabalho, notam-se diversas literaturas apontando para o uso de *Wi-Fi Direct* e/ou com outras tecnologias para solucionar problemas de escoamento, como o comparativo entre *Wi-Fi Direct* e *Bluetooth 3.0* que revelou uma maior taxa de transferência alcançada pela tecnologia *Wi-Fi Direct*, chegando a ser 10 vezes maior em alguns cenários [Casetti et al. 2017]. O comparativo revelou ainda uma diminuição da vazão de dados devido ao aumento do número de dispositivos ou saltos na transmissão, além da maior perda de pacotes, com esta variação.

Uma comparação de tecnologias de redes móveis analisou a transmissão de vídeos de baixa e alta qualidade, através de tecnologias como 3G, LTE, *Wi-Fi* e *Wi-Fi Direct* [Pyattaev et al. 2014]. A análise comparativa, dentre outras coisas, constatou uma redução do consumo de bateria dos dispositivos durante a transmissão utilizando o *Wi-Fi Direct* em relação a LTE, assim como o atraso, que chegou a ser 10 vezes menor. Além disso, foi também aferida a incapacidade da rede 3G em transmitir o vídeo em Alta Definição (HD) em condições aceitáveis, devido à sua limitada vazão de dados.

Uma alternativa para comunicação em Redes Veiculares (VANETs) propôs a utilização de *Wi-Fi Direct* [Balasundram et al. 2016]. A avaliação foi feita utilizando métricas de QoS como, por exemplo, a vazão, atraso e perda de pacotes. Por fim, conclui-se que o *Wi-Fi Direct* possui potencial suficiente para auxiliar na comunicação de aplicações de transportes inteligentes, dado os resultados que consideram cenários de grande e pequena escala. Ainda assim, foi simulada a transmissão de vídeo em uma VANET analisando métricas de QoE: PSNR e MOS; e também de QoS, sendo estas: atraso e jitter [Smida et al. 2017].

Uma arquitetura para clusterização de dispositivos móveis em redes LTE buscou distribuir dados através do dispositivo com enlace de melhor qualidade com a ERB [Asadi and Mancuso 2017]. Este dispositivo transmitia os dados para os outros integrantes do *cluster* através de *Wi-Fi Direct*. Desta forma, conclui-se que o aumento do número de dispositivos no agrupamento melhora a vazão da rede, no entanto o atraso gradualmente cresce na mesma proporção. Por fim, os autores indicam que quanto menor o *cluster*, maiores são os ganhos considerando um equilíbrio entre vazão e atraso devido ao salto de transmissão adicionado à rede. Entretanto, não houve análise em termos de QoE.

Com base no levantamento dos trabalhos relacionados, observa-se que o escoamento de tráfego de dados de redes LTE através *Wi-Fi Direct* é um assunto que vem sendo discutido nas literaturas vigentes e que os trabalhos possuem resultados de melhoria em QoS e QoE. No entanto, nas bases bibliográficas pesquisadas não foram encontrados artigos que apresentem uma análise considerando um agrupamento com elevado número de UEs (até 100 dispositivos) para escoamento do tráfego de vídeo, considerando redes LTE e LTE com *Wi-Fi Direct*.

3. Avaliação de QoS e QoE para Streaming de Vídeos em Rede LTE com Escoamento de Tráfego de Dados por *Wi-Fi Direct*

Esta seção descreve a metodologia da avaliação com mais detalhes sobre o cenário e parâmetros das tecnologias envolvidos. O escoamento de tráfego via *Wi-Fi Direct* pode aumentar a escalabilidade que a tecnologia LTE pode por diminuir a concorrência dos EUs por recursos de rede LTE, evitando mais interferência e reservas do canal para transmissões individuais. O cenário da simulação aplica-se a uma situação de alta densidade de usuários como, por exemplo, um estádio ou um aeroporto, onde a tecnologia do *Wi-Fi* tem alcance de transmissão oportuno. Além disso, explana sobre as métricas de QoS e QoE envolvidas e discursa sobre os resultados obtidos.

3.1. Metodologia

Para o desenvolvimento deste estudo, uma série de etapas foram seguidas. As simulações foram realizadas com os *frameworks FlowMonitor*¹ e *Evalvid*² no simulador de redes NS-3³. Este simulador tem implementado a pilha de protocolos padrão das comunicações LTE e *Wi-Fi Direct*, juntamente com modelos de propagação com atenuação de sinal. O cenário de avaliação utilizou uma torre ERB cobrindo uma área de 0,36 km² com os EUs estáticos distribuídos em *grid* no cenário, requisitando o mesmo vídeo em tempo real ao mesmo tempo, garantindo a demanda necessária para o estudo.

A quantidade de EUs variou em 10, 50 e 100 unidades com distâncias mínimas de 3 metros entre si e de 300 metros com a ERB. Esta quantidade de EUs e de distância foram escolhidas após diversas simulações realizadas com números intermediários, sendo estas elencadas para análise por apresentarem os valores mais significativos.

A rede LTE opera com largura de banda de 20 Mhz para o canal, potências de transmissão de 46 dBm para ERB e 10 dBm para o dispositivo móvel. O modelo de propagação de perda é baseado no *friis* de espectro considerando antena omni-direcional, um modelo de propagação no espaço livre de uma antena isotrópica sem perdas. O *Wi-Fi Direct* teve como parâmetros uma largura de banda de 20 MHz, taxa de transmissão de 54 Mbps e modelo de propagação com perda baseada no log da distância.

Os vídeos foram codificados em três configurações diferentes, com taxas de bits de 1000, 2500 e 4500 kbps nas resoluções 480p, 720p e 1080p, respectivamente. A escolha destas taxas de bits e das resoluções foram respaldadas em trabalhos científicos encontrados e citados neste artigo, que apresentam parâmetros similares, portanto, permitindo a comparação com a literatura da área, conforme será abordado nos resultados. Os vídeos tinham uma taxa de 24 quadros por segundo, tamanho do GOP igual a 12 e duração de 14 segundos, com características de movimentação de grau moderado dos objetos representados. Cada simulação foi executada 33 vezes com diferentes sementes aleatoriedade e os resultados apresentam os valores com um

¹ <https://www.nsnam.org/docs/models/html/flow-monitor.html>

² <https://gitlab.com/gercom/evalvid-ns3/>

³ <https://www.nsnam.org/>

intervalo de confiança de 95%. A Tabela I mostra os principais parâmetros da simulação.

As métricas de QoS consideradas foram: vazão média, atraso e perda de pacotes, obtidas através do *frameworks FlowMonitor* do simulador. As métricas de QoE consideradas foram: PSNR e SSIM obtidas através do software MSU. PSNR mede a razão dos picos de sinal e ruído calculada em dBs e SSIM provê um índice de similaridade estrutural, com intervalo de 0 a 1, sendo 1 o melhor valor.

Tabela I: Parâmetros Gerais da Simulação

Parâmetros	Valores
Número de ERB	1
Área	600m x 600m
Tamanho do pacote	1024 bytes
Duração da Simulação	250 segundos
Distância entre EU	3 metros
Número de EU	10, 50 e 100
Taxas de bits dos vídeos	1000, 2500 e 4500
Resolução dos vídeos	480p, 720p e 1080p
Duração do vídeo	14 segundos

A Figura 1 apresenta os dois cenários considerados neste estudo. Ambos cenários possuem a construção do *streaming* na nuvem, que transmite para uma malha de roteadores até chegar a ERB. A partir da ERB o *streaming* pode ser transmitido para os EUs via LTE, representado pelo sinal verde e circundado com Cenário 1. Neste caso, todos os usuários recebem diretamente da ERB o fluxo via LTE. Para o cenário 2 a diferença é que o *streaming* chega somente para um EU da rede (com sinal verde) e distribui para o restante dos EUs via *Wi-Fi Direct* (representado pelo sinal vermelho), conforme círculo do cenário 2. Foram considerados que cada grupo de nove usuários possui um nó retransmissor estático com melhor posicionamento para atender os nove usuários clientes e com baixa probabilidade de desconexão.

3.2. Resultados

Os resultados obtidos nas simulações mostram que para 480p, os valores de vazão ficaram com vazão pouco diferentes para 10, 50 e 100 EUs, embora havendo uma leve vantagem para 10 EUs. Isto acontece porque o volume de dados na resolução de 480p não apresenta impacto significativo sobre o cenário, como mostra a Figura 2(a).

Para a resolução de 720p com 10 EUs no cenário 1, o LTE apresenta vazão 4% superior quando comparado ao cenário 2 com a mesma quantidade de EUs. Para 50 EUs, o cenário 2 já apresenta um resultado 10% melhor. A superioridade fica ainda mais visível com 100 EUs, chegando a ser 133% melhor comparando-se os cenários 1 e 2. A vazão chega a ultrapassar 2 Mbps no cenário 2 enquanto fica em torno de 1 Mbps no cenário 1, como mostra a Figura 2(b).

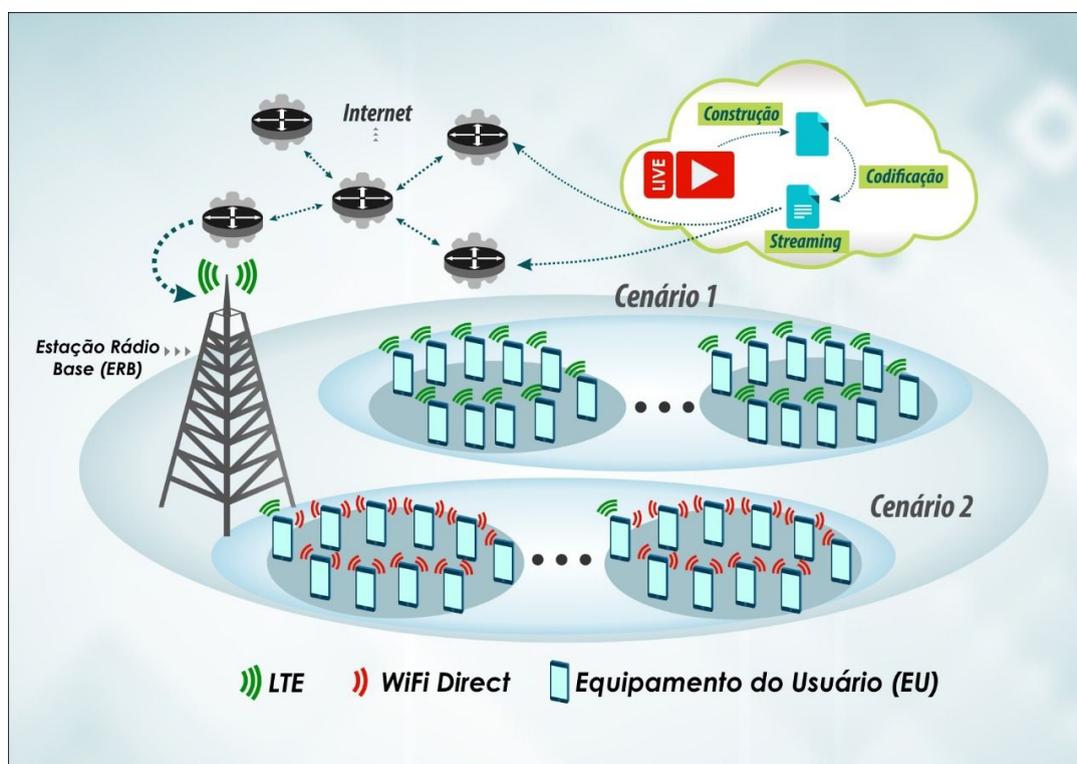
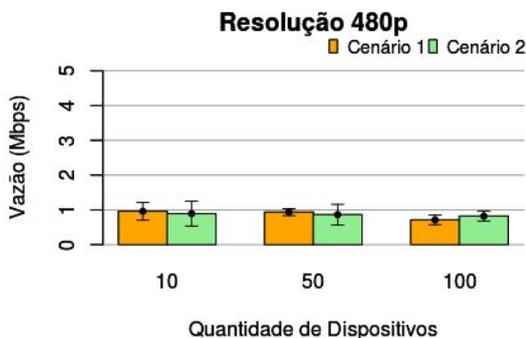


Figura 1. Cenários montados

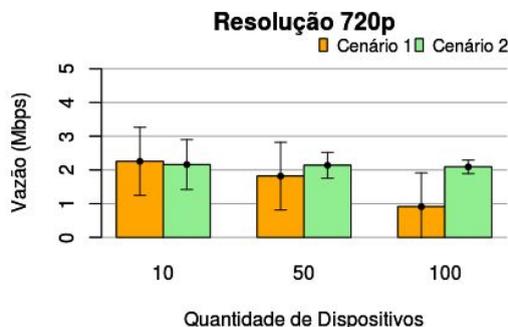
Os resultados da vazão quando utilizando o vídeo com resolução 1080p foram pouco diferentes do comportamento do vídeo com resolução 720p. Para 10 EUs houve uma leve vantagem para o cenário 1. No entanto, para 50 EUs o cenário 2 foi 13% melhor, enquanto que para 100 EUs o cenário 2 foi 85% melhor, como mostra a Figura 2(c). A diferença ficou evidente devido ao maior volume de dados dos vídeos, requisitando uma vazão maior, havendo uma maior amplitude. Nota-se que a utilização de *Wi-Fi Direct* é muito interessante quando se tem mais de 50 EUs. Estes valores ratificam a ideia de que o uso de nós retransmissores pode aumentar o desempenho de QoS em aplicações multimídia, já que a qualidade do enlace por *Wi-Fi* é melhor do que da rede LTE dentro de pequenas distâncias.

Para a resolução de 480p, o atraso aumentou proporcionalmente de acordo com o número de UEs conectados. Com 10 e 50 EUs, o cenário 2 tem um desempenho pouco pior devido a necessidade de um salto a mais na comunicação. Quando o número de EUs aumenta para 100, o cenário 2 passa a ser 20% melhor, comparando-se entre cenários, porque a demanda por banda larga aumenta consideravelmente e o escoamento ajuda a disponibilizar mais banda, como mostra a Figura 3(a).

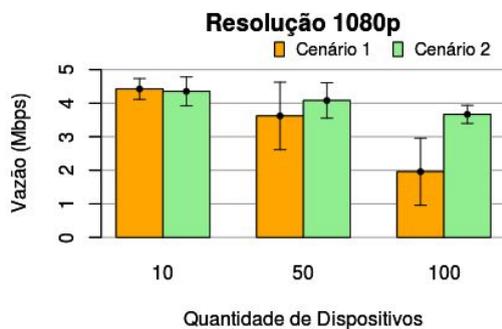
Para a resolução de 720p, com 10 EUs o atraso foi similar ao resultado de 480p com 50 EUs. Entretanto, a partir de 50 EUs, o cenário passa a mostrar reduções de atraso mais evidentes, atraso 42% menor para 50 EUs e 58% menor para 100 EUs comparado ao cenário 1, como mostra a Figura 3(b). Isso se justifica pela maior demanda por banda larga.



(a) Vazão média na resolução 480p



(b) Vazão média na resolução 720p



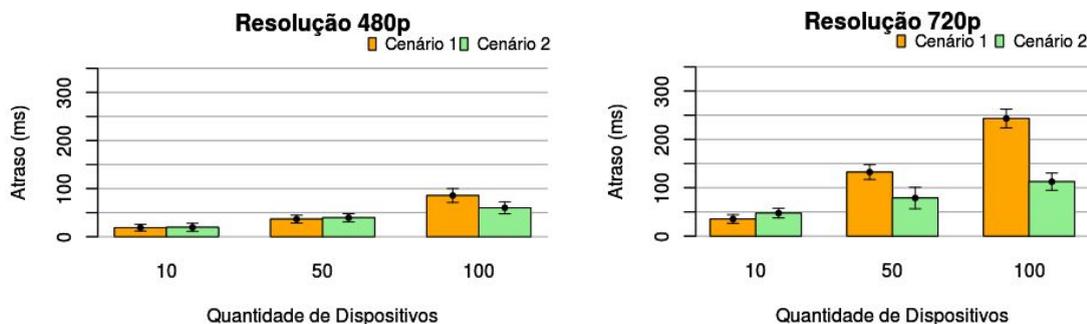
(c) Vazão média na resolução 1080p

Figura 2. Resultados da Vazão

Para a resolução de 1080p, o cenário 2 ainda tem resultados de atraso piores que o cenário 1 para 10 EUs. Em contrapartida para as outras quantidades de EUs foi consideravelmente menor. O atraso foi 62% menor para 50 EUs e 57% menor para 100 EUs, como mostra a Figura 3(b). O aumento de banda larga disponível na rede pode melhorar a métrica de QoS referente ao atraso.

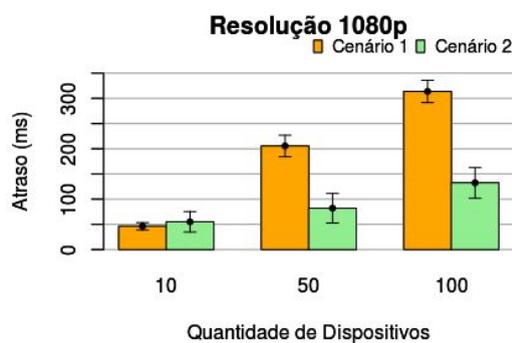
Para a resolução de 480p, para as quantidades de 10 e 50 EUs, houve um aumento na perda de pacotes pouco pior no cenário 2 devido à retransmissão. Entretanto para 100 EUs, quando a demanda por banda larga aumentou, o cenário 2 perdeu 49% menos pacotes que o cenário 1, como mostra a Figura 4(a).

Para a resolução de 720p, o cenário 2 passou a se destacar a partir de 50 EUs, com a perda de pacotes 32% melhor. Para 100 EUs, a perda de pacotes foi 69% menor para o cenário 2, evidenciando como a disponibilidade de banda pode reduzir a perda de pacotes, como mostra a Figura 4(b).



(a) Atraso na resolução 480p

(b) Atraso na resolução 720p



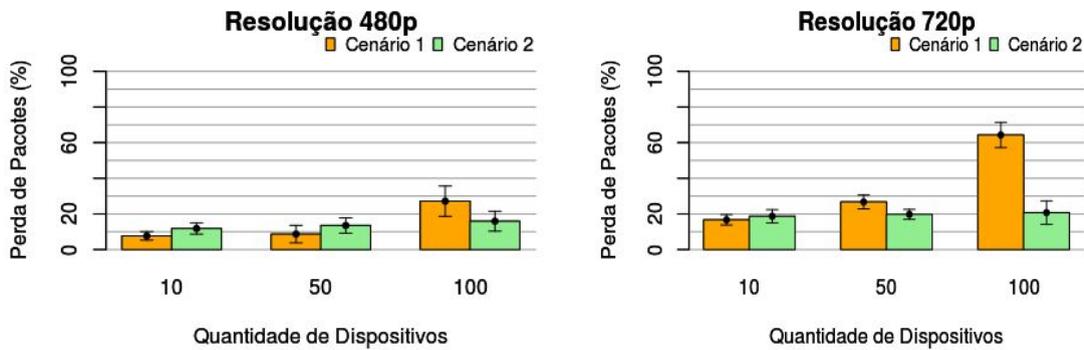
(c) Atraso na resolução 1080p

Figura 3. Resultados do Atraso Médio

Para a resolução de 1080p, o cenário 1 manteve uma menor perda de pacotes para 10 EUs. Entretanto, para 50 e 100 EUs a perda de pacote foi 12% e 75% menor, respectivamente, como mostra a Figura 4(c). Embora o canal do *Wi-Fi Direct* tenha que aumentar substancialmente o volume de dados para enviar, ele consegue fazê-lo com bom desempenho.

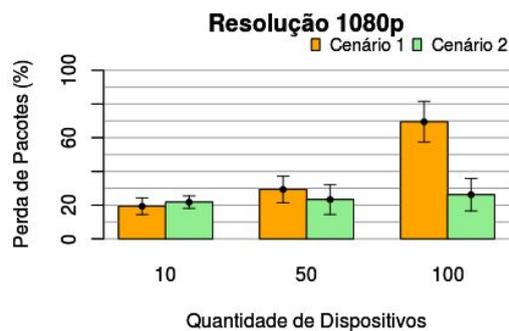
A Variação do Atraso encontrada durante as simulações, ficou sempre menor que 10 ms. A análise para o jitter é semelhante à análise já realizada neste trabalho com o atraso médio, conseqüentemente, os gráficos da Variação do Atraso, não estão expostos neste documento. Vale lembrar que se o jitter for muito grande, mesmo o atraso se mantendo dentro dos limites aceitáveis, a qualidade da comunicação vai decrescer até se tornar impossível, ratifica [Cardoso, Silva, Monteiro and Francês 2015].

Os valores de PSNR acima de 37 dB correspondem a compressões que introduzem perdas imperceptíveis ao olho humano, o que significa uma ótima qualidade [Piamrat et al. 2009]. Neste contexto, a Figura 5(a) mostra que os EUs receberam vídeos muito próximos do original, durante a transmissão pela rede LTE para no máximo 50 EUs.



(a) Perda de pacotes na resolução 480p

(b) Perda de pacotes na resolução 720

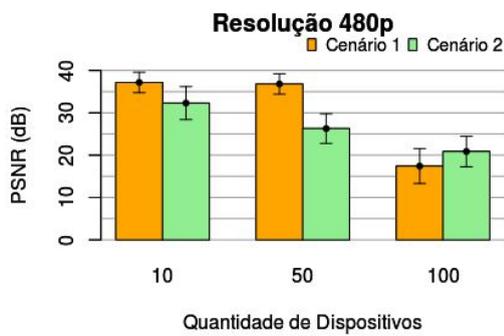


(c) Perda de pacotes na resolução 1080p

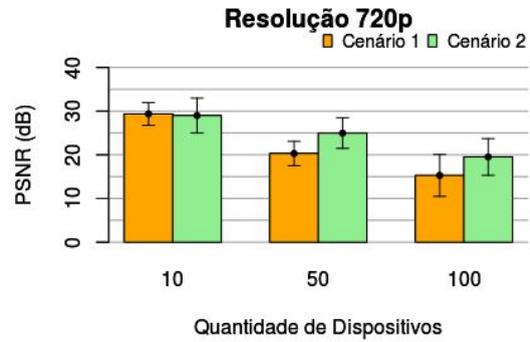
Figura 4. Resultados da Perda de Pacotes

Vídeos que registram PSNR acima de 31 são considerados de boa qualidade, o que pode ser observado na Figura 5 (a) com o resultado da transmissão do vídeo para 10 EUs pela rede com *Wi-Fi Direct*. Qualidade que, assim como na rede LTE, sofre redução na medida em que são adicionados mais dispositivos à rede. De certa forma, é possível inferir que o valor da métrica PSNR é inversamente proporcional à resolução do vídeo transmitido. As resoluções de 720p e 1080p exibem comportamentos semelhantes durante a transmissão comparados, como mostra as Figuras (a) e (b). Existe pouca disparidade nos 2 cenários, durante a transmissão dos vídeos para quantidades superior a 50 EUs, a maior distorção foi de aproximadamente 20% a favor do cenário 2. A resolução de 480p apresentou um valor de PSNR acima de 26 dB, considerado aceitável [Piamrat et al. 2009], como mostra a Figura 5(a) em ambos os cenários.

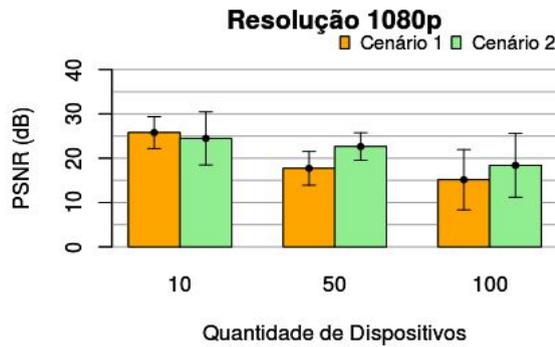
A Figura 6 apresenta os resultados da métrica SSIM. Constatou-se na Figura 6 (a) quanto a transmissão do vídeo com resolução 480p, que os cenários analisados possuem desempenhos parecidos, diferindo que, para até 50 UEs, o cenário 1 obteve SSIM 10% maior, enquanto que acima de 50 UEs, 18% menor, como mostra a Figura 6(a). Isto revela maior instabilidade desta tecnologia na medida em que são inseridos novos UEs, diferente do cenário 2 que utilizou o LTE aliado ao *Wi-Fi Direct*.



(a) PSNR para resolução 480p

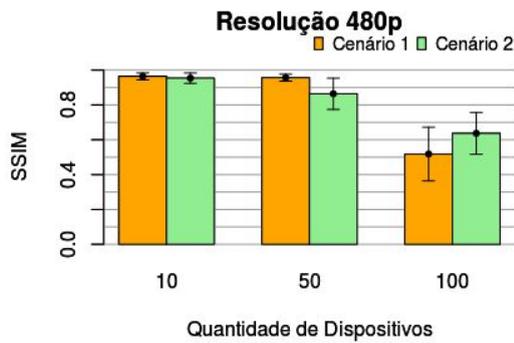


(b) PSNR para resolução 720p

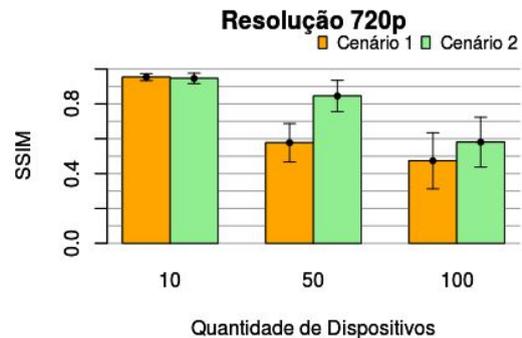


(c) PSNR para resolução 1080p

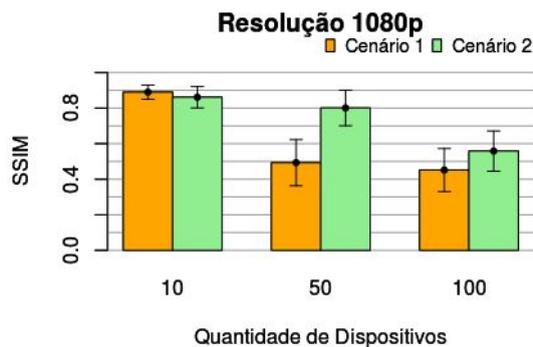
Figura 5 - Resultados do QoE em PSNR



(a) SSIM para resolução 480p



(b) SSIM para resolução 720p



(c) SSIM para resolução 1080p

Figura 6 - Resultados de QoE em SSIM

Os vídeos com resolução 720p apresentam resultados consideravelmente melhores no cenário 2, para 50 EUs foi cerca de 39% maior e para 100 EUs cerca de 18%, como mostra a Figura 6(b). Os vídeos com resolução 1080p também apresentam resultados melhores no cenário 2, para 50 EUs foi cerca de 38% maior e para 100 EUs cerca de 18%, como mostra a Figura 6(b). É notável também que a perda significativa de pacotes apresentada anteriormente na Figuras 4, degrada consideravelmente os vídeos durante a transmissão, o que empobrece a qualidade de vídeos nestas resoluções para transmissões maiores que 50 EUs.

4. Considerações Finais

Os cenários analisados apresentaram resultados interessantes por evidenciarem um desempenho melhor na transmissão de vídeos em tempo real, tanto em termos de QoS quanto em QoE, quando utiliza-se o *Wi-fi Direct* em sintonia com a rede LTE, melhorando o escoamento de tráfego.

O aumento da disponibilidade de banda larga disponível melhoram as métricas de QoS e QoE, no entanto este aumento em si não melhora diretamente a transmissão. A partir dos resultados, pode-se dizer que as métricas de QoS tem efeito direto sobre as métricas de QoE porém é imperceptível uma linearidade dos efeitos de QoS em QoE. Pode-se perceber que o uso do *Wi-Fi Direct* pode consideravelmente melhorar a disseminação de dados da rede LTE por baixar a densidade de EUs receptores na rede LTE, portanto tornando a conexão mais confiável para os nós retransmissores. Por conseguinte, justificando o aprimoramento significativo nos resultados.

O *Wi-Fi Direct* se mostra como uma boa interface de rede alternativa para o escoamento de tráfego de vídeos em redes LTE, porém ainda necessita de uma maior coordenação para automatização do uso sob demanda, dado que para poucos usuários o cenário 1 é melhor. Este trabalho destaca o *Wi-Fi Direct*, como um dos caminhos para atender hoje e futuramente as demandas das redes celulares.

Este trabalho limita-se em agrupamentos de 10, 50 e 100 EUs sem mobilidade, podendo mais a frente utilizar agrupamentos mais progressivos e móveis. Além disso, outros formatos de vídeos poderiam ser simulados, visando comparações mais abrangentes, considerando ainda especificações do vídeo, como o grau de movimentação e rotação, que podem fazer com que um vídeo tenha perda de pacotes diferentes, gerando resultados diferenciados.

Como trabalhos futuros, pretende-se simular outros cenários considerando as limitações supracitadas, além da possibilidade de exploração das versões mais recentes do LTE e o escoamento pela rede através de outros protocolos mais novos de *Wi-Fi*, como IEEE 802.11n e IEEE 802.11ac, além do impacto do escoamento do tráfego na ERB, adicionando-se mobilidade aos EUs, tráfego de fundo e transmissão de outros tipos de dados, considerando por exemplo, realidade virtual e/ou aumentada. Além disso, coletar dados referentes ao consumo de energia adicional dos dispositivos móveis retransmissores.

Referências

- A. Asadi and V. Mancuso, "Network-Assisted Outband D2D-Clustering in 5G Cellular Networks: Theory and Practice," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 16, no. 8, pp. 2246-2259, Aug. 1 2017.
- Balasundram, A.; Samarasinghe, T.; Dias, D. (2016). "Performance Analysis of Wi-Fi Direct for Vehicular Ad-hoc Networks" In: *Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*.
- Cardoso, E.H.S; Silva, C.P.A.; Monteiro, F.P.; Francês, C.R.L. (2015), Análise de Desempenho de Algoritmos de Escalonamento de Recursos em Redes LTE Heterogêneas, In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - XLVII SBPO*, 2015, Porto de Galinhas.
- Casetti, C.; Chiasserini, C.F.; Duan, Y.; Giaccone, P.; Manriquez, A.P. (2017). "Data Connectivity and Smart Group Formation in Wi-Fi Direct Multi-group Networks" In: *IEEE Transactions on Network and Service Management*.
- Ccorimanya, J.Q.; Ling, L.L. (2017). "Algoritmo de Escalonamento de Pacote com Policiamento de Tráfego para Alocação de Recurso em Redes LTE Downlink" In: *XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - SBRT 2017*, 3-6 de setembro de 2017, São Pedro, SP.
- Cisco, Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021. White Paper; Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, Junho, 2017. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.pdf>. Acessado em 15 de março de 2018.
- Li, Yuzhou et al. Green Heterogeneous Cloud Radio Access Networks: Potential Techniques, Performance Trade-offs, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, v. 55, n. 11, p. 33-39, 2017.
- Magalhães, M.H.; Guardieiro, P.R. (2014). "Proposta de um Mecanismo de Escalonamento em Dois Estágios para o Tráfego de Aplicações em Tempo Real para Redes LTE" In: *Anais do 32º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC 2014*.
- Marotta, M. A., Faganello, L. R., Schimuneck, M. A. K., Granville, L. Z., Rochol, J., & Both, C. B. (2015). Managing mobile cloud computing considering objective and subjective perspectives. *Computer Networks*, 93, 531-542.
- Piamrat, K.; Viho, C.; Ksentini, A.; Bonnin, J. (2009) "Quality of experience measurements for video streaming over wireless networks," in *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology: New Generations*.
- Pyattaev, A.; Johnsson, K.; Surak, A.; Florea, R.; Andreev, S.; Koucheryavy, Y. (2014). "Network-Assisted D2D Communications: Implementing a Technology Prototype for Cellular Traffic Offloading" In: *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*.
- Sesia, S.; Toufik, I.; Baker, M. (2011), *LTE–The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*, Wiley, 2nd Edition, UK.

Smida, E. , Fantar, S.; Youssef, H. (2017). “Predictive Handoff Mechanism for Video streaming in a Cloud-based Urban Vanet”, In: 14th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications.

Weingartner, E.; Lehn, H.V.; Wehrle, K. (2009). “A performance comparison of recent network simulators. International Conference on Communications 2009” In: Communications, 2009. ICC '09. IEEE International Conference on.