

Análise da psnr e mos sobre transmissões de vídeos uhd em cenário de redes com mobilidade

Analysis of psnr and mos on uhd video transmissions in a mobility network scenario

DOI:10.34117/bjdv9n3-216

Recebimento dos originais: 24/02/2023

Aceitação para publicação: 28/03/2023

Allef Jardim Vieira Fonseca

Bacharel em Engenharia da Computação

Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Endereço: Folha 31, Quadra 7, Lote Especial, Nova Marabá, Marabá – PA,

CEP: 68507-590

E-mail: allef@unifesspa.edu.br

João Victor Costa Carmona

Doutor em Engenharia Elétrica com Ênfase em Telecomunicações

Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Endereço: Folha 31, Quadra 7, Lote Especial, Nova Marabá, Marabá – PA,

CEP: 68507-590

E-mail: jvictor@unifesspa.edu.br

Gleison de Oliveira Medeiros

Doutor em Engenharia Elétrica com Ênfase em Computação Aplicada

Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Endereço: Folha 31, Quadra 7, Lote Especial, Nova Marabá, Marabá – PA,

CEP: 68507-590

E-mail: gleison@unifesspa.edu.br

Warley Muricy Valente Junior

Doutor em Ciência da Computação

Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Endereço: Folha 31, Quadra 7, Lote Especial, Nova Marabá, Marabá – PA,

CEP: 68507-590

E-mail: wmvj@unifesspa.edu.br

RESUMO

Nos últimos anos, o tráfego multimídia vem crescendo vertiginosamente por conta da enorme busca por algumas aplicações, especialmente por vídeos e *streamings* em altas resoluções, trafegados predominantemente sobre redes wireless. Uma das justificativas é o aumento de dispositivos móveis, e a proliferação das redes de acesso à sociedade. Com este cenário surgem necessidades de analisar a qualidade desses tipos de tráfego, e verificar o impacto de perdas na qualidade percebida pelo usuário, podendo gerar insatisfação do cliente diante do serviço prestado. Com a evolução da comunicação para as redes 5G, simulações, testes e análise de desempenho deste novo padrão, são necessários para melhorar ou adequar os serviços de vídeo/streaming neste novo contexto. Em vista disso, este trabalho propõe a avaliação de desempenho de transmissões de vídeo

de alta resolução em um cenário simulado, que leva em consideração a quantidade de usuários, e a mobilidade dentro da área de cobertura. Assim, serão observados as métricas PSNR, perda de pacotes, e MOS, que representará a opinião média do usuário.

Palavras-chave: análise de desempenho, PSNR, MOS, mobilidade.

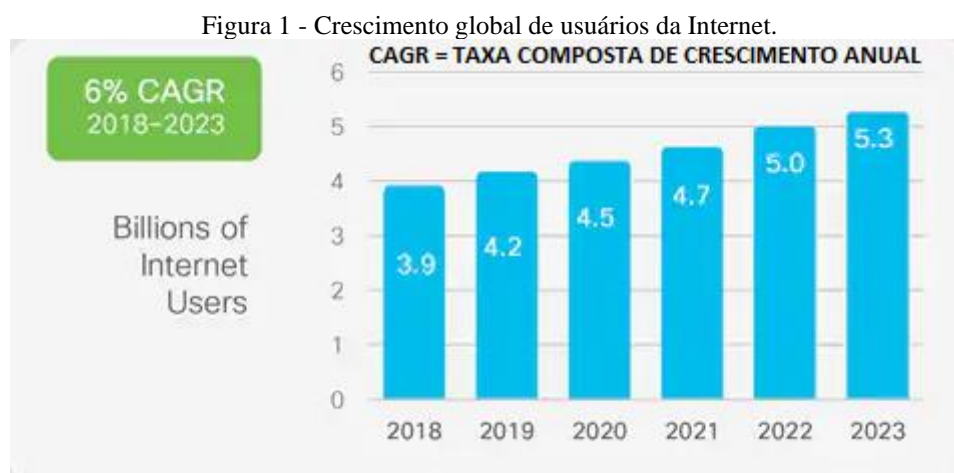
ABSTRACT

In recent years, multimedia traffic has been growing vertiginously due to the huge demand for some applications, especially for high-resolution videos and streaming, predominantly over wireless networks. One of the justifications is the increase in mobile devices, and the proliferation of access networks to society. With this scenario, there is a need to analyze the quality of this type of traffic and verify the impact of losses on the quality perceived by the user, which can generate customer dissatisfaction with the service provided. With the evolution of communication to 5G networks, simulations, tests, and performance analysis of this new standard are necessary to improve or adapt video/streaming services in this new context. In view of this, this work proposes the performance evaluation of high-resolution video transmissions in a simulated scenario, which considers the number of users and mobility within the coverage area. Thus, the PSNR, packet loss, and MOS metrics will be observed, which will represent the average user's opinion.

Keywords: performance analysis, PSNR, MOS, mobility.

1 INTRODUÇÃO

A crescente propagação de dados por meios digitais trouxe à tona novas realidades no cenário mundial. O número total de usuários da Internet está estimado para crescer de 3,9 bilhões em 2018 para 5,3 bilhões em 2023 a uma Taxa Composta de Crescimento Anual (CAGR - *Compound Annual Growth Rate*) de 6% (CISCO, Annual Internet Report 2018-2023), conforme mostra a Figura 1.



Fonte: (CISCO, Annual Internet Report 2018-2023)

Percebe-se então que os consumidores, estão cada vez mais interessados por serviços disponíveis a qualquer momento do dia e com qualidade. Dessa forma o crescente aumento do número de usuários e a busca por esses serviços de internet, fazem com a indústria e academia, desenvolvam tecnologias que permitam esse acesso com características que proporcionem alta velocidade, altas taxas de largura de banda, e poucas perdas, principalmente aquelas que possam afetar a qualidade percebida pelo usuário final.

Nos últimos anos, a transmissão e a entrega de vídeo têm se caracterizado como uma das mais importantes aplicações das redes de comunicação (FREIRE et. al., 2020). Fator este, intensificado ainda mais nos tempos atuais por conta da Pandemia mundial de COVID-19, onde as pessoas permaneceram por mais tempo em suas residências consumindo *streaming* e realizando conferências por vídeo chamada. Nesta mesma área percebe-se de vários outros serviços de telecomunicações que também necessitam de infraestrutura de banda larga (NETO et. al., 2022).

Com este panorama, o grande desafio atualmente para as operadoras vem sendo justamente assegurar a qualidade do vídeo entregue ao usuário final. Conforme registrado em (BBC, 2023), a Netflix, uma das gigantes do setor de entretenimento por *streaming*, anunciou em 2020 que reduziria a qualidade dos vídeos entregues aos usuários na Europa devido ao elevado consumo de dados ocasionados pelo isolamento social decorrente da pandemia. Na mesma época, a Vodafone, empresa do setor de telecomunicações da Europa, registrou um aumento de 50% do uso da internet.

De acordo com (CISCO, Relatório Global de Tendências de Redes de 2020), em 2022 o tráfego de vídeo representaria 82% de todo o tráfego empresarial da Internet, ocasionado principalmente pelo elevado número de informações contidas nos vídeos entregues em altas resoluções.

As altas definições de vídeo como 2K/4K/8K, oferece a maior qualidade de imagem atualmente, possuindo uma imagem com até oito vezes mais resolução do que imagens de Alta Definição (HD - *High Definition*) e imagens *Full HD*.

A Tabela 1 mostra os padrões de vídeo mencionados acima com suas resoluções.

Tabela 1 - Diferença de resoluções entre os tipos de vídeo.

Padrão de vídeo	Resolução
HD	1280 x 720 pixels
FULL HD	1920 x 1080 pixels

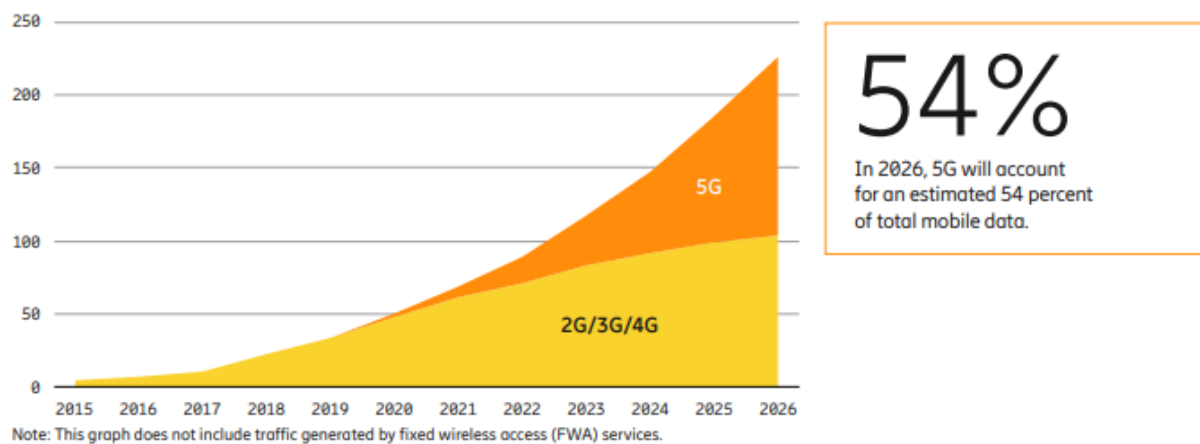
UHD (2K)	2560 x 1440 pixels
UHD (4K)	4096 x 2160 pixels

Fonte: Adaptado de (BECKER; PACINE; LEMOS, 2014).

Outro fator que merece destaque, é a elevação do serviço de *streaming* de vídeo, com demandas por altas taxas de transferências. O que deixa claro que as atuais redes não serão suficientes para atender às necessidades e expectativas futuras. Junta-se a este panorama as possibilidades que serão trazidas pela IoT (*Internet of Things*). Portanto, faz-se necessário mensurar aspectos que possam deteriorar a qualidade do fluxo final recebido pelo usuário.

De acordo com (ERICSSON, 2020), estima-se que até o final de 2026 as redes 5G irão transportar cerca de 54% do tráfego total de dados móveis. A Figura 2 mostra este estimado crescimento das redes de quinta geração.

Figura 2 - Tráfego global de dados móveis.



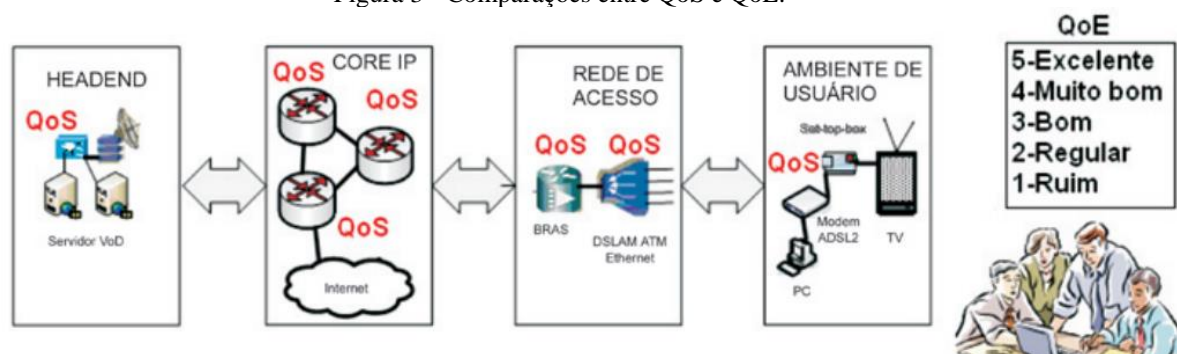
Fonte: (ERICSSON, 2020).

Dessa forma, com o aumento da resolução de vídeo e com a chegada de novas tecnologias de rede, surge uma maior atenção de como avaliar o conteúdo que será entregue ao usuário. Na atualidade, as metodologias que avaliam o desempenho de uma aplicação se baseiam em Qualidade de Serviço (QoS). Este tipo de avaliação leva em consideração apenas informações da rede, ou seja, são relevantes para os fornecedores de serviço na especificação de serviços, configuração e monitorização dos recursos de rede (LOPES, 2012), desprezando um aspecto importante: a avaliação do usuário.

Por isso, uma metodologia de avaliação mais recente conhecida como Qualidade de Experiência (QoE) vem sendo utilizada com mais frequência. Diferente das técnicas de QoS, que se baseiam apenas em parâmetros da rede, métricas de QoE tomam como

base a percepção do usuário final para avaliação da aplicação (OLIVEIRA, 2011), esta avaliação é pode ser feita através de duas abordagens: subjetiva e/ou objetiva. Na abordagem subjetiva, um conjunto de usuários é responsável por fazer a avaliação das aplicações multimídias baseadas em regras definidas por órgãos de padronização internacionais. Já na objetiva, o processo é feito através de métricas que utilizam métodos computacionais com o intuito de imitar a avaliação feita pelos usuários. A Figura 3 ilustra a relação entre qualidade de serviço e qualidade de experiência.

Figura 3 - Comparações entre QoS e QoE.



Fonte: (DUQUE, 2009)

A avaliação habitual baseada em QoS ainda é a mais utilizada, uma vez que sempre foi usada devido às facilidades de informações obtidas no nível de rede, por outro lado avaliações baseadas em QoE, tem despertado bastante interesse tanto da academia quanto da indústria, e exige uma complexidade maior. Avaliar o nível de qualidade que o usuário recebe uma aplicação multimídia pode ser tornar um ponto chave para um novo modelo de negócio das operadoras de telecomunicações onde o fornecimento de serviços será baseado no também nível de satisfação do usuário, e não somente no de rede como acontece normalmente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Redes de Computadores da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - LAPERC, vinculado às Faculdades de Engenharia da Computação (FEC) e Faculdade de Sistemas de Informação (FACSI), ambas vinculadas ao Instituto de Geociências e Enganarias - IGE da UNIFESSPA.

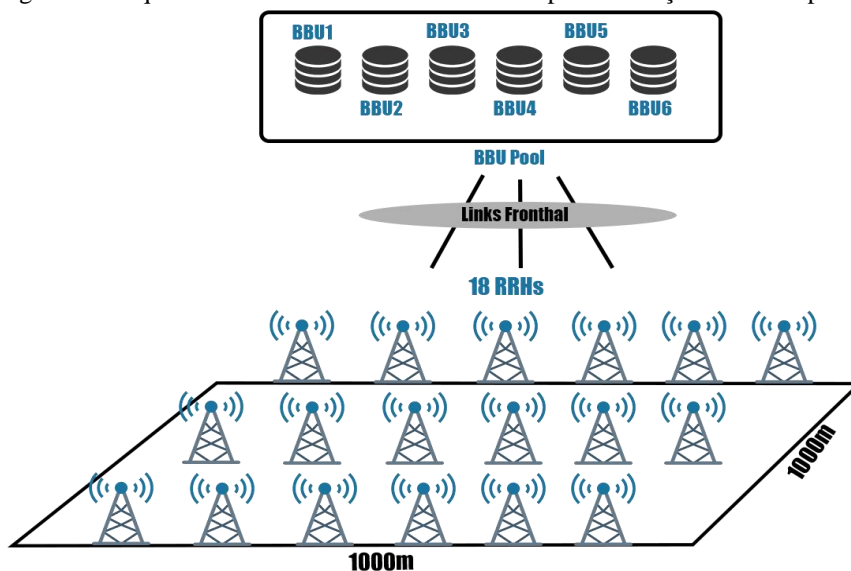
2.1 ARQUITETURA DA SIMULAÇÃO

A estrutura da arquitetura consiste em prever as métricas subjetivas e objetivas de QoE (PSNR e MOS) para o consumo de *streaming* de vídeo transmitido, em uma arquitetura de rede móvel prevista como a quinta geração de redes celulares (5G) denominada de C-RAN (*Cloud-RAN*), conforme apresentado na Figura 3.

O cenário de simulação proposto é composto por uma arquitetura C-RAN totalmente centralizada baseada em SDN (Software Defined Networking), onde as BBUs (*Baseband Units*) tomam todas as decisões relacionadas ao plano de controle e o plano de dados é definido por interações de *streaming* feitas por usuários móveis dispostos dentro da área de cobertura da rede.

Com o objetivo de comparação de resultados de QoE dos usuários, a área de cobertura contará com 2 experimentos distintos no volume de UEs (*Users Equipments*) por RRH (*Remote Radio Head*). No primeiro experimento o cenário contará com 50 usuários, já no segundo experimento este número é ampliado para 100 usuários, em ambos os casos haverá tráfego de fundo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) relativo a 20% do total usuários conectados.

Figura 3 - Arquitetura C-RAN tradicional utilizada para avaliação de desempenho.



Fonte: Adaptado de (MEDEIROS, 2020).

2.2 VIDEO UTILIZADO

O vídeo utilizado neste trabalho foi obtido do repositório da Xiph.org e pode ser acessado em <https://media.xiph.org/video/derf/>, a Xiph.org é uma organização sem fins lucrativos, que fornece vídeos para estudos de avaliação de qualidade de vídeos. Nos

experimentos realizados nas simulações, inicialmente foi utilizado o vídeo no formato Y4M (YUV4 MPEG2 *Video Format*), no qual armazena uma sequência de imagens YCbCr não compactadas que compõem o vídeo quadro a quadro, o Y4M é usado como um formato de vídeo bruto, sensível a cor, antes de ser compactado em um formato de vídeo mais popular (como MP4, por exemplo). A Figura 4, mostra um *frame* do vídeo utilizado para as simulações.

Figura 4 - Imagem do vídeo *rush_field_cuts*.



Fonte: Xiph.org.

Quando se trata de avaliar a qualidade de vídeo(s), temos como principal fator a resolução desse(s) vídeo(s), pois desempenha um papel fundamental na hora da avaliação. Neste trabalho foi utilizado a resolução HD (*High Definition*) para o vídeo simulado. Na Tabela 2 tem-se as especificações do vídeo utilizados como: tamanho do arquivo em GB, comprimento em segundos, taxa de quadros e resolução.

Tabela 2 - Especificações gerais do vídeo.

Arquivo de vídeo	rush_field_cuts
Tamanho	2.3 GB
Comprimento	19 Segundos
Exibição resolução	HD (1080p x 720p)
Taxa de quadros	30 FPS

Fonte: Autor.

2.3 FERRAMENTA NS-3

Para o estudo deste trabalho, foi utilizado o simulador de eventos discretos *Network Simulator 3* (NS-3), que é baseado em *software* de código aberto e registrado sob a licença *General Public License* (GNU), o *software* é empregado principalmente para fins educacionais e de pesquisa; está disponível ao público na sua versão padrão em <https://www.nsnam.org/>. O NS-3 é construído como um sistema de bibliotecas de *software* que funcionam em conjunto. De acordo com (KOTTAS, 2017), o NS-3 é uma ferramenta robusta e flexível que simula tecnologias e topologias de rede diferentes. O *software* NS-3 foi desenvolvido para pesquisa em rede e para a educação, as redes de dados por pacotes funcionam em uma ampla gama de redes bem conhecidas. A característica mais notável do NS-3 é que ele não está limitado a sistemas da Internet, mas os usuários usam o NS-3 para modelar sistemas não baseados na Internet.

Além disso, para avaliarmos os parâmetros de qualidade do vídeo transmitido, adicionamos ao NS-3 o módulo *Evalvid*, cujo o objetivo é analisar métricas objetivas de transmissões de vídeo, motivo principal pelo qual escolhemos esse simulador, haja vista que para a execução deste trabalho outros simuladores poderiam ser utilizados, como por exemplo o OMNeT++, bastante utilizado no meio acadêmico para modelagens de cenários de redes.

2.4 CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO DA SIMULAÇÃO

Conforme já apresentado em (MEDEIROS, 2020), o cenário utilizado para a análise de desempenho da transmissão de vídeo é composto por seis BBUs e 18 RRHs dispostos em uma área de cobertura de $1000m^2$, fazendo com que haja uma cobertura total de toda área. A partir disso, os usuários ou UEs são inseridos aleatoriamente um a um, em um certo ponto, na área de cobertura.

Cada dispositivo consome uma aplicação de *streaming* de vídeo de alta resolução e movimentam-se aleatoriamente, conforme as especificações do módulo "*random-walk-2d-mobility-model*" do NS-3, o que permite *handoff* ou *handover* entre as BSs.

Para representar um panorama de mobilidade urbana real, os usuários que serão alocados no cenário, terão diferenciações de locomoção, 70% dos usuários alocados terão uma velocidade de locomoção de 3 km/h (representando a locomoção de pedestres), já os outros 30% dos usuários se locomovem a 30 km/h dentro do cenário (representando usuários que estão em algum tipo de meio de transporte urbano).

As seis BBUs (responsáveis pelas tomadas de decisões dentro do cenário), serão requisitadas de acordo com a necessidade, isto é, de acordo com o aumento do número de UEs para a transmissão de dados em cada rodada. E cada BBU será mapeada para as 18 RRHs, que estão contidas na área de cobertura.

Em cada simulação, o número de UEs conectados varia entre 1 e 50 (para a primeira simulação) a cada rodada, o que gera 50 experimentos por rodada, e depois varia entre 1 a 100 UEs (para a segunda simulação), gerando 100 experimentos por rodada. O vídeo (*rush_field_cuts*), é transmitido simultaneamente para todos os usuários, gerando 150 experimentos ao todo (somando os casos obtidos na primeira e segunda simulação).

Para avaliar o desempenho da proposta e valores obtidos após recepção dos fluxos de vídeo são satisfatórios, é necessário que os valores obtidos de PSNR e MOS, sejam iguais ou superiores a 25 dB e 3.0 (considerado como um valor REGULAR), respectivamente. Esses valores representam os níveis intermediários entre o mínimo aceitável e o máximo de cada métrica, conforme observado na Tabela 3, onde apresenta-se o mapeamento das duas métricas utilizadas neste trabalho.

Tabela 3 - Mapeamento de valores entre MOS e PSNR.

MOS	PSNR
5 (Excelente)	$\geq 37\text{dB}$
4 (Bom)	$\geq 31\text{dB} \ \& \ <37\text{dB}$
3 (Regular)	$\geq 25\text{dB} \ \& \ 31\text{dB}$
2 (Ruim)	$\geq 20\text{dB} \ \& \ 25\text{dB}$
1 (Péssimo)	$<20\text{dB}$

Fonte: Adaptado de (MEDEIROS, 2020)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção será melhor compreendida individualizando as discussões para cada cenário simulado, em seguida uma análise comparativa será realizada.

3.1 CENÁRIO I: 50 USUÁRIOS

As simulações tiveram como objetivo inicial avaliar a taxa de satisfação dos usuários em relação ao consumo do *streaming* de vídeo e o tráfego de dados gerado por cada uma das seis BBUs.

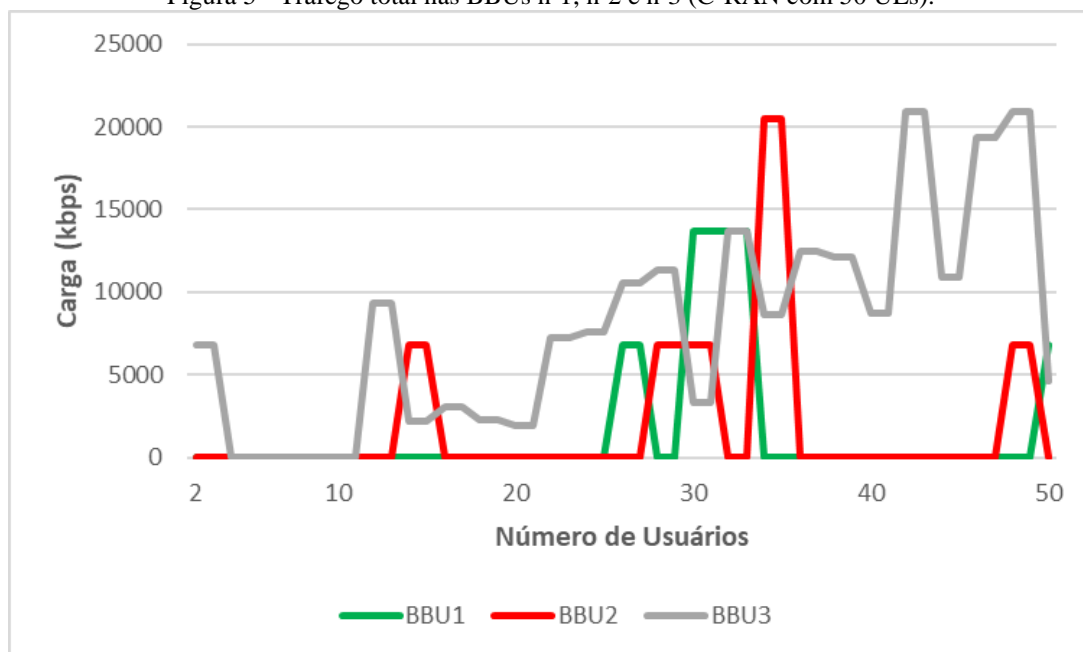
3.1.1 Streaming para 50 Usuários Móveis

Para uma melhor visualização dos resultados, as imagens foram divididas em duas partes, a Figura 5 representa a carga de tráfego gerado nas BBU's nº 1, nº 2 e nº 3 em termos de pacotes transmitidos. E a Figura 6 representa a carga de tráfego por usuários gerado nas BBU's nº 4, nº 5 e nº 6 em termos de taxa de transferência.

Nas Figuras 5 e 6, é possível destacar que conforme novos usuários sejam ancorados aos RRHs e conseqüentemente elevarem o processamento de dados nas BBU's, as curvas de carga geradas por cada uma BBU's tende a oscilar progressivamente. Também nota-se que os maiores valores de tráfego carregados foram das BBU's da Fig 6.

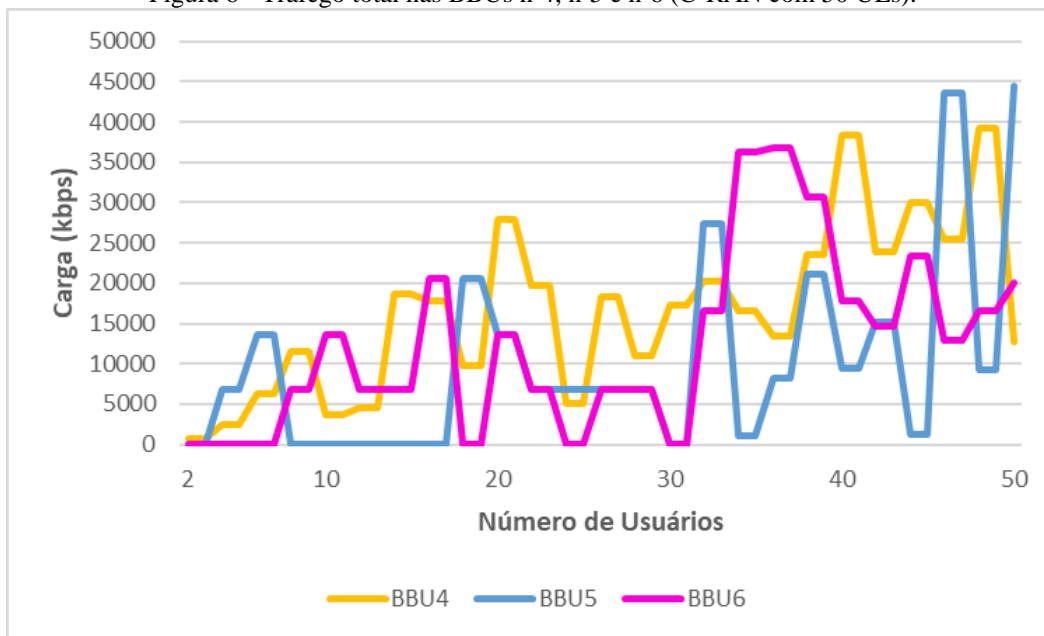
No primeiro destaque, acredita-se que este comportamento é atribuído principalmente as entradas de novos usuários ao cenário, o que pode ocasionar maior probabilidade de *handovers* inter-BBU ocorridos durante o intervalo de simulação, visto que não há nenhum tipo de restrição relacionado a isso. O outro ponto de destaque é consequência direta da aleatoriedade inicial dos usuários dentro BBU *pool*

Figura 5 - Tráfego total nas BBU's nº1, nº2 e nº3 (C-RAN com 50 UEs).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 - Tráfego total nas BBU's n°4, n°5 e n°6 (C-RAN com 50 UEs).

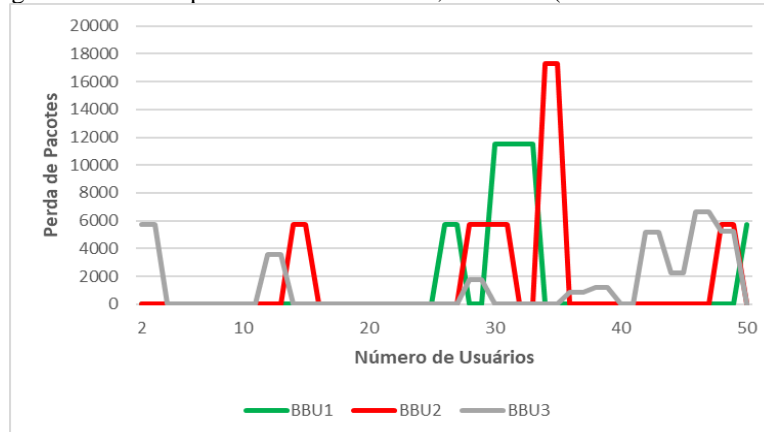


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2 Perda de Pacotes para 50 Usuários Móveis

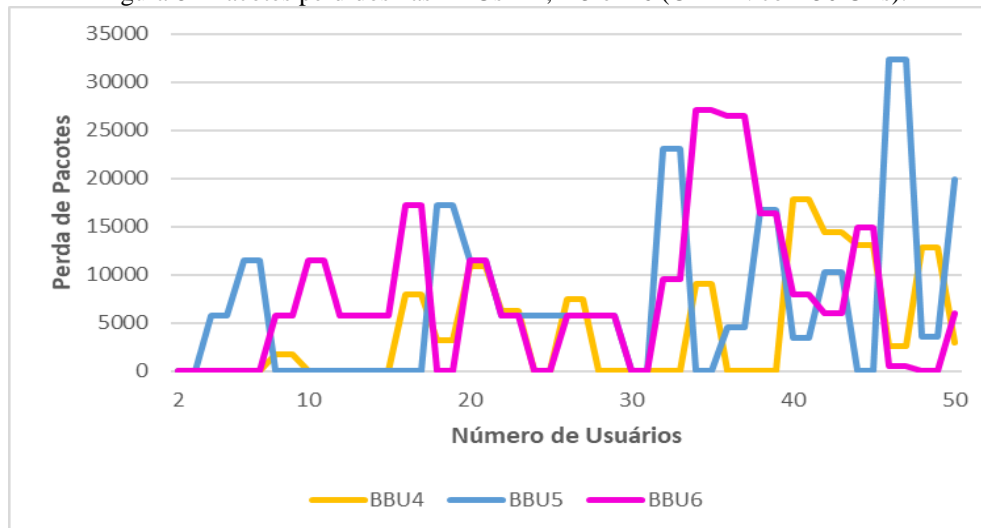
Nas Figuras 7 e 8, é possível observar que no geral poucos pacotes foram perdidos em todas as BBU's, vale salientar que essa probabilidade cresce proporcionalmente com o consumo de novos serviços de rede que demandam largura de banda. Em relação desempenho, na BBU n° 3 é possível observar um desempenho superior as demais, mesmo em situações de sobrecarga apresentadas na Figura 5, isso se deve principalmente a garantias de entrega fornecidas pelos protocolos da pilha TCP/IP.

Figura 7 - Pacotes perdidos nas BBU's n°1, n°2 e n°3 (C-RAN com 50 UEs).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Pacotes perdidos nas BBU's n°4, n°5 e n°6 (C-RAN com 50 UEs).

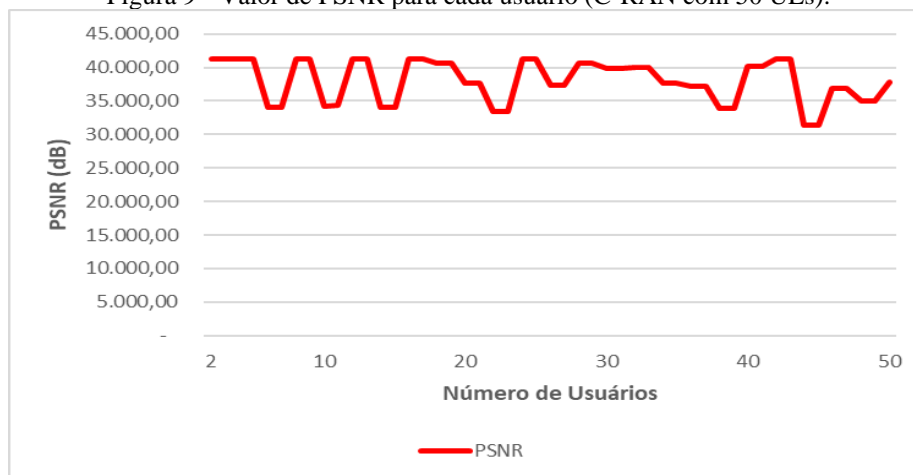


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3 Avaliação PSNR para 50 Usuários Móveis

A Figura 9 mostra os valores de PSNR para cada usuário no cenário C-RAN com 50 UEs. O valor médio de PSNR para este experimento foi de aproximadamente 37,30 dB, que é um valor correspondente ao nível máximo de qualidade percebida em MOS, ou seja, percepção EXCELENTE, o que implica que no vídeo recebido houve pouco ruído e degradação em relação ao vídeo transmitido

Figura 9 - Valor de PSNR para cada usuário (C-RAN com 50 UEs).



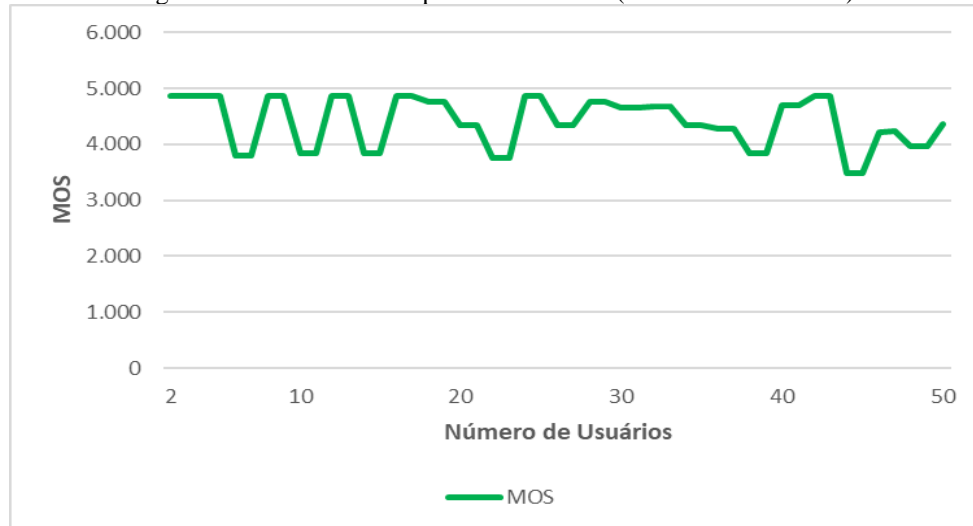
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.4 Avaliação MOS para 50 Usuários Móveis

A Figura 10 mostra os valores das opiniões médias de usuário para o cenário I. O valor da média do MOS para este experimento com 50 UEs foi de aproximadamente 4,31,

que de acordo com a tabela de mapeamento, resulta numa escala equivalente EXCELENTE, ou seja, perda de qualidade imperceptível ao olho humano.

Figura 10 - Valor de MOS para cada usuário (C-RAN com 50 UEs).



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 CENÁRIO II: 100 USUÁRIOS

As simulações com 100 usuários, também tiveram como objetivo inicial avaliar a taxa de satisfação dos usuários em relação ao consumo do *streaming* de vídeo e a influência do tráfego de dados gerado por cada uma das BBUs.

Para uma melhor visualização dos resultados, as imagens foram divididas em duas partes, a Figura 11 representa a carga de tráfego gerado nas BBUs nº 1, nº 2 e nº 3 em termos de pacotes transmitidos. E a Figura 12 representa a carga de tráfego por usuários gerado nas BBUs nº 4, nº 5 e nº 6 em termos de taxa de transferência.

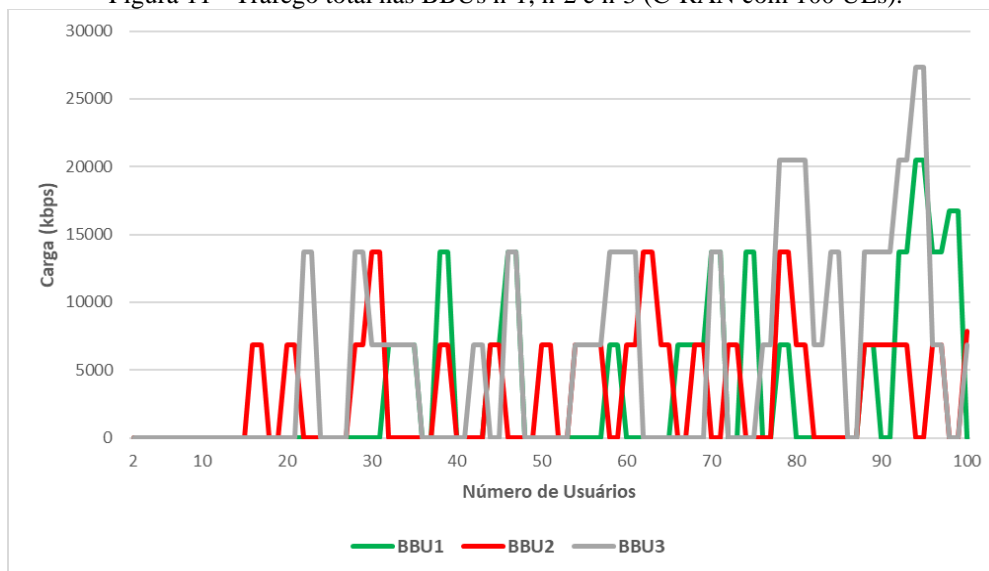
3.2.1 Pacotes Carregados para 100 Usuários Móveis

Igualmente apresentado no cenário anterior, no cenário em que no máximo 100 usuários podem ser ancorados a rede, as Figuras 11 e 12, também apresentam distâncias proporcionais a medida que cresce o número de UEs consumindo serviços de *streaming*, contudo, neste cenário é possível observar uma estabilidade entre as BBUs nº 1 e nº 2 com 80 usuários enquanto que na BBU nº 3 a carga de tráfego é sempre superior as demais. Este fator evidencia um desequilíbrio de carga entre BBUs.

Assim como o resultado do cenário anterior (para 50 usuários), à questão de alocação aleatória inicial dos usuários e os processos de *handovers* inter-BBU pool, podem também explicar estes resultados. Também é possível observar uma tendência,

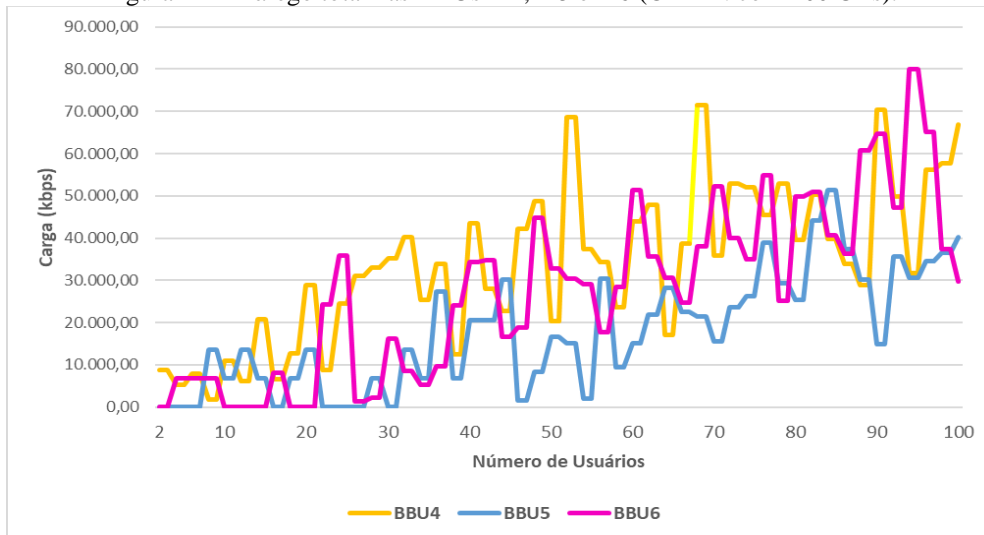
com 100 usuários as curvas de carga aceleram esse distanciamento. Isso se dá pelo aumento da densidade dos usuários dentro da área de cobertura dos RRHs, pois há restrição de sobreposição de usuários durante o processo de alocação aleatória.

Figura 11 - Tráfego total nas BBUs nº1, nº2 e nº3 (C-RAN com 100 UEs).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Tráfego total nas BBUs nº4, nº5 e nº6 (C-RAN com 100 UEs).



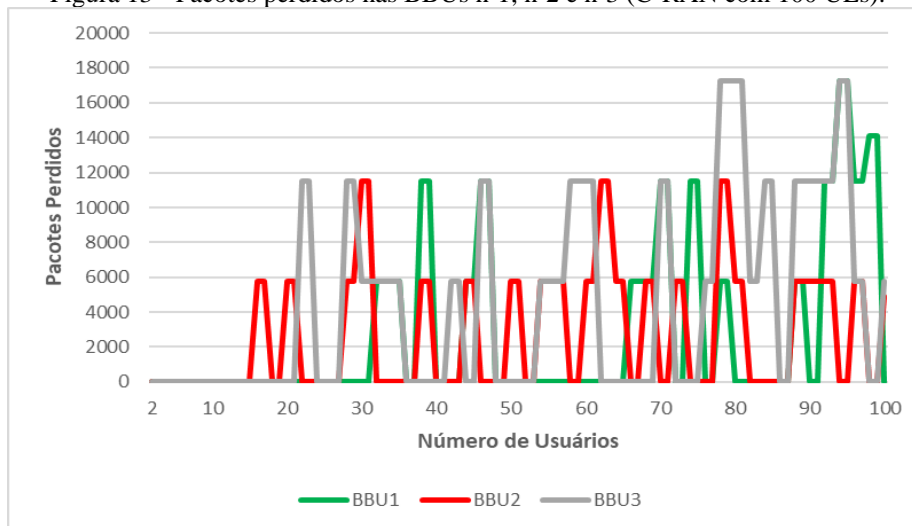
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Perda de Pacotes para 100 UEs

Já nas Figuras 13 e 14, é notável um crescimento gradativo no número de pacotes não processados pela BBU nº 6 em relação ao número de usuários associados. Por exemplo, com 94 usuários, o número de pacotes perdidos pela BBU nº 6 corresponde a cerca de 17% do total de pacotes enviados ao BBU pool, isso ocorre porque quando há

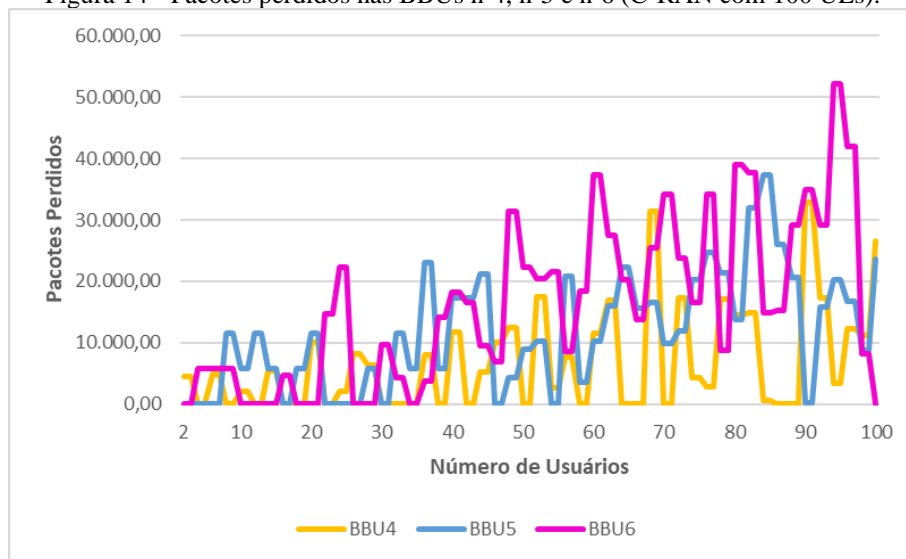
uma sobrecarga dos recursos físicos da BBU nº 6, os pacotes que estão na fila de espera são descartados pelos critérios de descarte do *Time to Live* (TTL).

Figura 13 - Pacotes perdidos nas BBUs nº1, nº2 e nº3 (C-RAN com 100 UEs).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Pacotes perdidos nas BBUs nº4, nº5 e nº6 (C-RAN com 100 UEs).



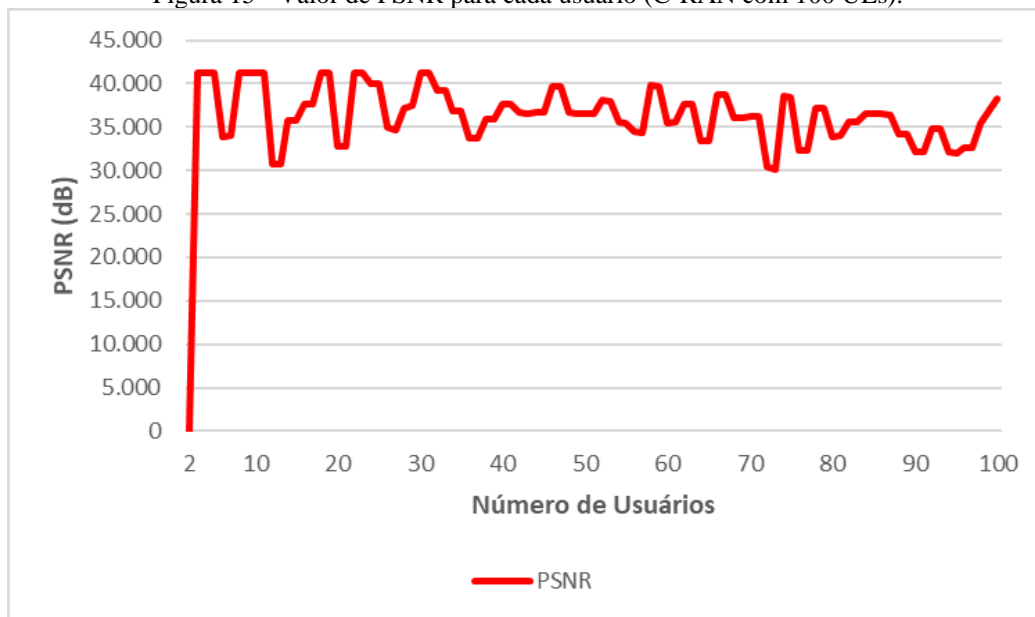
Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma situação semelhante pode ser observada na BBU nº 3 (com valores menores de perda de pacotes comparada a BBU nº 6), entretanto, a saturação dos recursos físicos é percebida após a associação do 78º usuário, e ainda assim, são valores irrisórios, se comparado ao caso na BBU nº 6.

3.2.3 PSNR para 100 UEs

De acordo com os resultados mostrados na Figura 15, o valor médio de PSNR para este experimento com 100 UEs foi de aproximadamente 35,75 dB. Quando comparado ao experimento anterior, observa-se um decréscimo menor do que 2dB, o que resulta em um valor ainda considerado BOM, segundo a escala avaliativa de PSNR. Contudo, é possível notar perdas suaves de frames no vídeo recebido em relação ao vídeo transmitido.

Figura 15 - Valor de PSNR para cada usuário (C-RAN com 100 UEs).

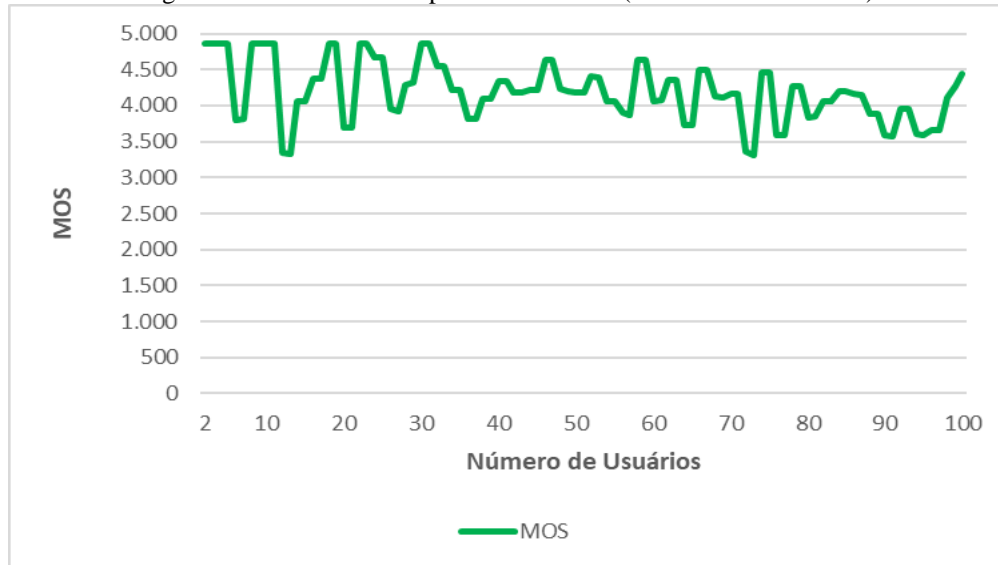


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 MOS para 100 UEs

A Figura 16 apresenta os resultados de opinião média MOS para este experimento, neste cenário é possível observar uma tendência inversamente proporcional a quantidade de usuários ancorados a rede. Isso se deve principalmente pelo grande número de pacotes descartados pela BBU nº 6. A média de notas dos usuários foi de aproximadamente 4,15. Representado um valor considerado BOM em nossa tabela de correlação.

Figura 16 - Valor de MOS para cada usuário (C-RAN com 100 UEs).



Fonte: Elaborado pelo autor.

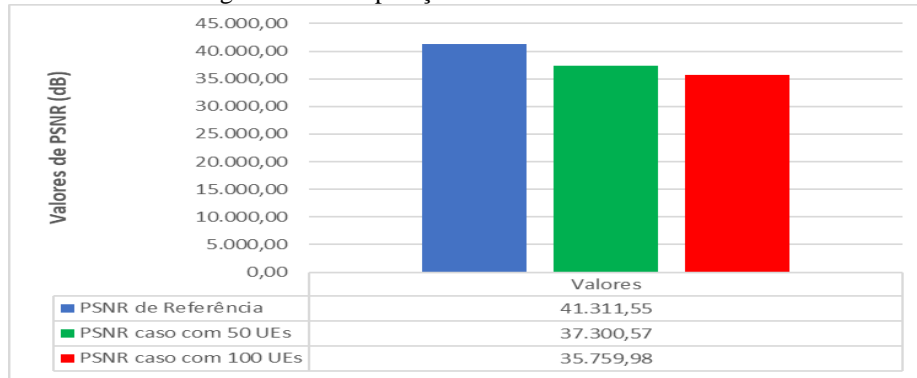
3.3 COMPARAÇÃO DE VALORES

Os valores a serem comparados neste tópico são:

- **Valores de referência:** valores de PSNR e MOS obtidos através do vídeo *rush_field_cuts* antes de sua transmissão no cenário;
- **Valores para o caso com 50 UEs:** valores gerais de PSNR e MOS, também do vídeo obtidos através da média geral dos resultados da transmissão;
- **Valores para o caso com 100 UEs:** valores gerais de PSNR e MOS do vídeo obtidos através da média geral dos resultados da transmissão.

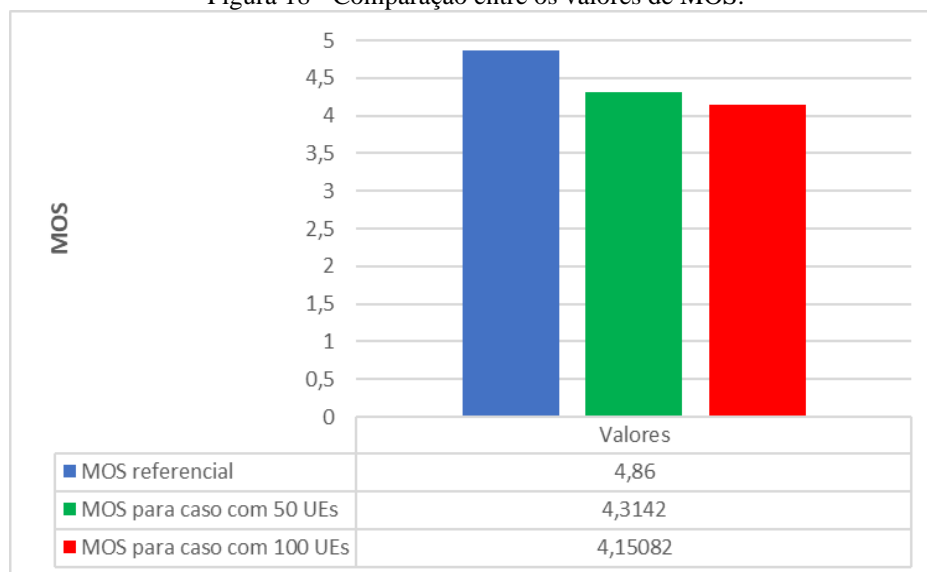
Para os valores de referência, ocorre uma pequena perda do vídeo original causada por algumas mudanças de formatos de vídeos que são necessárias para a obtenção dos valores de PSNR e MOS. Essas formatações são necessárias para o uso do módulo *Evalvid*, que é o responsável pela criação do PSNR de referência do vídeo, e conseqüentemente do MOS. Nas Figuras 17 e 18, são mostradas as comparações dos valores de PSNR e MOS obtidas neste trabalho.

Figura 17 - Comparação entre os valores de PSNR.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Comparação entre os valores de MOS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No geral percebe-se que os valores encontrados nos dois cenários simulados, para 50 e 100 usuários, e considerando a distribuição de carga, 6 BBUs, e a mobilidade do usuários, as perdas mais significantes foram destacadas pela PSNR em relação ao MOS e a perda de pacotes. Mesmo assim, os valores obtidos, não afetam a reprodução do vídeo, de forma que o usuário final não percebe a perda de qualidade ocorrida.

4 CONCLUSÕES

Diante das observações da temática abordada, conclui-se; este trabalho apresentou um estudo de análise de perda de qualidade de vídeo observadas em um cenário típico de C-RAN tradicional baseado em SDN e métricas avaliativas de QoE/QoS para análises objetiva e subjetiva de streaming de vídeo simulado. Para isso foram utilizados vídeos em alta definição (HD). Para evidenciar os resultados foram propostos dois cenários de

simulação com quantidades distintas de usuários ancorados. No primeiro cenário os resultados obtidos evidenciaram desequilíbrios de cargas ocasionados por fatores relacionados a aleatoriedade de usuários e mobilidade, contudo não foram identificadas perdas circunstâncias na qualidade de vídeo recebida. Já no segundo, além das características apresentadas no cenário 1, foi possível observar um grande número de pacotes não processados por algumas BBUs, consequência direta da sobrecarga de todo o sistema.

O cenário C-RAN elaborado demonstrou ser bem representativo. Alcançando resultados satisfatórios com dados simulados e apresentando valores de PSNR e MOS bem próximos de um cenário real. Os resultados também são considerados adequados, pois representaram com semelhança o cenário realista concorrente de tráfego em ambientes de redes móveis.

Por fim, conclui-se que arquiteturas C-RAN e SDN podem ser consideradas excelentes apostas para consolidar ainda mais as redes móveis de quinta geração, tendo em vista os novos cenários de consumo de vídeos em alta definição, a dinamicidade dos usuários e os desafios enfrentados pelas operadoras.

REFERÊNCIAS

BECKER, V.; PACINE, B.; LEMOS, G. **Evolução da Definição e Resolução do Vídeo**. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2014. Citado na página 15.

CARMONA, J. V. C. **Modelagem da perda de qualidade de vídeos H.264 em redes sem fio considerando perdas de PSNR e de frames**. 2019. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/11929>>. Citado na página 17.

CISCO. **Cisco Annual Internet Report (2018-2023)**. Atualizado em 2020. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>>. Citado na página 14

CISCO. **Relatório Global de Tendências de Redes de 2020 - Cisco**. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/m/pt_br/solutions/enterprise-networks/networking-report/files/2019-networking-report.pdf>. Citado na página 14.

DUQUE, L. H. **Arquitetura de rede IPTV com acesso baseado em tecnologia ADSL**. Engenharia (São Paulo), v. 595, p 114-121, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/7240>>. Citado na página 17.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report**. November 2020. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/4adc87/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2020/november-2020-ericsson-mobility-report.pdf>>. Citado duas vezes, na página 15 e 16.

FREIRE, F. DA S. et. al. **Avaliação de Desempenho de Transmissões de Vídeo 2K e 4K sobre Redes Sem Fio em um Cenário Indoor**. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 42954-42968, 2020. Citado na página 3.

KOTTAS, F. T. **Evaluation of LTE networks using NS-3 and Evalvid**, 2017. Citado na página 34.

LEITE, C. et al. **Uma Proposta para Avaliação da Virtualização de Funções de Rede em 5G**. XXV Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços, Rio de Janeiro, 2020, pp. 263-276. Citado duas vezes, nas páginas 27 e 29.

LOPES, A. D. **Avaliação de QoS/QoE no serviço de videochamada Skype™**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Comunicações) - Universidade do Minho, Outubro de 2012. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/25758>>. Citado na página 16.

MEDEIROS, de O. G. **Um Framework Inteligente Baseado em Previsões de QoE para o Balanceamento de Cargas em Redes 5G**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal do Pará, Agosto, 2020. Citado três vezes, nas páginas 28, 29 e 32.

MEDEIROS, I. L. D. **Qoe and qos-aware handover for video transmission in heterogeneous vehicular networks**. 2018. Citado na página 23.

NETO, A. P. F. et. al. **Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas na análise da gestão de indicadores de desempenho de redes de acesso fixo de comunicação em banda larga**. Brazilian Journal of Development v. 8, p. 800005-80027, dezembro, 2022. Citado na página 3.

OLIVEIRA, R. de S. **Predição de Qualidade de experiência em Redes WiMAX em Aplicações de Vídeo baseada em Aspectos de Qualidade de Serviço**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará. 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/2974>>. Citado na página 16.

PEREIRA, R. W. da S. **Transmissão de vídeo em redes mesh usando NS-3 e Evalvid com provisionamento de Qualidade de Experiência**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) - Campus Universitário de Castanhal, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2018. Disponível em: <<https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/2293>>. Citado duas vezes, nas páginas 26 e 29.

PEREIRA, R. W. da S.; SILVA, M. S.; JAILTON, J. **Análise de QoE para Streaming de Vídeo em Redes Aéreas 5G mmWave de Conectividade Dupla**. In: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO CEARÁ, MARANHÃO, PIAUÍ (ERCEMAPI), 9., 2021, Quixadá. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 17-24. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/ercemapi.2021.17903>>. Citado duas vezes, nas páginas 28 e 29.