Artigo Original

REVISTA GREGÓRIO SEMEDO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO

Análise de QoS dos codecs e protocolos utilizados em Sistemas VoIP

QoS analysis of codecs and protocols used in VoIP Systems

Análisis de QoS de codecs y protocolos utilizados en sistemas VoIP

Joaquim Ulisses[1] https://orcid.org/0009-0001-8453-8750
Hermenegildo Cassoada[2] https://orcid.org/0009-0004-3787-7188
Ngombo Armando[3] https://orcid.org/0000-0001-7493-4365

[1]Universidade Gregório Semedo, Luanda-Angola. engulisses.28@gmail.com
[2]Secção de Desenvolvimento & Inovação, eSupport Telecom. Luanda-Angola. 1000012876@ucan.edu
[3]Departamento de Engenharia Informática, Universidade Kimpa Vita, O77 Kondo Benze, Uíge -Angola. ngombo@ieee.org

Recebido: 24 de novembro de 2024
Aceite: 15 de dezembro de 2024

RESUMO

O estudo reportado neste artigo teve como objectivo avaliar os principais parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS) em sistemas VoIP (Voice over Internet Protocol), através de um caso prático, quantificando os dados obtidos em vários cenários de testes para propor soluções que sirvam de referência na selecção das tecnologias a serem utilizadas em projectos de sistema VoIP com IPBX (Internet Private Branch Exchange). A metodologia utilizada quanto a sua natureza é a pesquisa aplicada que permitiu gerar a solução do problema de forma prática. Quanto ao procedimento foi um experimento prático, pois permitiu manipular variáveis relacionadas aos parâmetros de QoS com ferramentas de análise de tráfego de rede, a fim de fazer a comparação dos mesmos. A abordagem do problema baseou-se em uma análise quali-quantitativa, apoiados por indicadores quantificáveis. Apesar da influência dos codecs de compressão de voz e do protocolo de

sinalização, constatou-se que outros aspectos como a largura de banda, tipo de conexão e a tecnologia dos equipamentos de rede, são factores determinantes para a avaliação de QoS em redes VoIP. Por conseguinte, recomenda-se futuros estudos que avaliem melhor a influência destes factores bem como o tipo de conexão, métodos de garantia de QoS e a tecnologia dos equipamentos.

Palavras-Chave: Análise de QoS, Codecs, IPBX, VoIP.

ABSTRACT

The study reported in this article aimed to evaluate the main Quality of Service (QoS) parameters in VoIP (Voice over Internet Protocol) systems, through a practical case, quantifying the data obtained in various test scenarios to propose solutions that serve as reference in the selection of technologies to be used in VoIP system projects with IPBX (Internet Private Branch Exchange). The methodology used in terms of its nature is applied research, which allowed generating a solution to the problem in a practical way. As for the procedure, it was a practical experiment, as it allowed the manipulation of variables related to QoS parameters with network traffic analysis tools, to compare them. The approach to the problem was based on a qualitative-quantitative analysis, supported by quantifiable indicators. Despite the influence of voice compression codecs and the signalling protocol, it was found that other aspects such as bandwidth, type of connection and network equipment technology are determining factors for evaluating QoS in VoIP networks. Therefore, future studies are recommended to better evaluate the influence of these factors as well as the type of connection, QoS guarantee methods and equipment technology.

Keywords: Codecs, QoS Analysis, IPBX, VoIP, Protocols.

RESUMEN

El estudio presentado en este artículo tuvo como objetivo evaluar los principales parámetros de Calidad de Servicio (QoS) en sistemas VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet), a través de un caso práctico, cuantificando los datos obtenidos en varios escenarios de prueba para proponer soluciones que sirvan como referencia en la selección de tecnologías a ser utilizadas en proyectos de sistemas VoIP con IPBX (Internet Private Branch Exchange). La metodología utilizada en cuanto a su naturaleza fue una investigación aplicada que permitió generar una solución práctica al problema. En cuanto al procedimiento, se trató de un experimento práctico, que permitió manipular variables relacionadas a parámetros QoS con herramientas de análisis de tráfico de red, con el fin de compararlas. El planteamiento del problema se basó en un análisis cualitativo-cuantitativo, apoyado en indicadores cuantificables. A pesar de la influencia de los codecs

de compresión de voz y del protocolo de señalización, se encontró que otros aspectos como el ancho de banda, el tipo de conexión y la tecnología del equipo de red son factores determinantes para la evaluación de la QoS en redes VoIP. Por lo tanto, se recomiendan estudios futuros para evaluar mejor la influencia de estos factores así como el tipo de conexión, los métodos de garantía de QoS y la tecnología de los equipos.

Palabras clave: Codecs, QoS, IPBX, VoIP, Proctocolos.

INTRODUÇÃO

No campo das comunicações de voz sobre IP (VoIP) têm surgido diferentes soluções, dentre as quais, actualmente, as baseadas em IPBX ou PABX IP são as mais plebiscitadas. Todavia, um dos desafios continua a ser a garantia da qualidade de serviço (QoS) pois, por exemplo, uma das dificuldades é a selecção dos requisitos que, face à diversidade de soluções que há no mercado, atendam as necessidades dos utilizadores. Para tal, é necessário um estudo pormenorizado dos parâmetros de rede, dos protocolos de transporte, codecs e realização de testes, comparando o tráfego gerado na rede, a fim de serem definidas normas para esses tipos de soluções.

Com a expansão dos serviços VoIP em ambientes corporativos, intensifica-se de forma crescente a busca por soluções que ofereçam uma QoS adequada às necessidades das organizações (Neyra, Irizar, & Calderón, 2017). Vários são os estudos que têm sido feitos com a finalidade de definir os principais factores de QoS em sistemas VoIP. Adhilaksono & Setiawan (2021) apresentam as principais métricas para avaliação da QoS e os parâmetros que a definem e identificam os elementos envolventes para a sua garantia, a saber: protocolos, dispositivos físicos, meios de transmissão, bem como características da rede como a largura de banda, *Jitter* e atrasos.

Neste artigo, apresentamos um estudo experimental efectuada em ambiente laboratorial que nos permitiu analisar a QoS dos principais protocolos de sinalização VoIP e dos *codecs* de licença livre mais comuns no mercado, através de testes de comunicação com recurso à *softphones* instalados em diferentes dispositivos e IPBX Asterisk.

A sequência deste artigo estrutura-se da seguinte maneira: Na Secção 2 é apresentada a metodologia utilizada para a selecção dos estudos em volta da temática abordada. Na secção 3, apresentamos os resultados obtidos e na secção 4 tratamos das suas discussões. Finalmente, na Secção 5 apresentamos as nossas conclusões, bem como recomendações para trabalhos futuros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Quanto a sua natureza adoptámos uma pesquisa aplicada com o intuito de gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Quanto ao método, optámos por uma abordagem experimental, onde, através de um caso prático, fazendo recurso a virtualização, trabalhou-se com variáveis relacionadas aos parâmetros de QoS, ferramentas de análise de tráfego de rede, bem como diferentes protocolos de transporte de dados, a fim de fazer a comparação dos mesmos. Por fim, quanto a forma de abordagem do problema, propusemos uma análise quali-quantitativa, a fim de obter resultados com precisão, apoiados por indicadores quantificáveis e validados pela Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários finais do sistema VoIP, cujos dados foram processados e apresentados em tabelas.

Adoptámos um cenário de rede cliente-servidor para a realização de testes em ambiente real e quantificação dos parâmetros de QoS obtidos em cada figurino de configuração, ilustrado na Figura *1*. Inicialmente, seleccionámos os equipamentos e *software* necessários para os diferentes cenários de testes. Durante os testes, para a captura dos pacotes analisados, fizemos recurso ao Wireshark (*software* farejador de pacotes), enquanto para prover o serviço de voz utilizamos o PABX *Asterisk* e o SIPp. O acesso ao serviço foi feito por meio de *softphones* Zoiper instalados nos dispositivos clientes, e por fim recorreu-se ao ambiente R studio para a análise de dados. Foi configurado um cenário de base ilustrado na Figura 2, com as configurações efectuadas no servidor VoIP Asterisk e nos dispositivos clientes para, em seguida, serem realizados os testes e avaliar os factores relevantes no desempenho deste serviço de comunicação. O *softphone* utilizado é de licença livre, mas, com limitações no uso de codecs, tendo sido possível apenas utilizar os codec GSM, uLaw, aLaw, speex e iLBC30. As principais características do servidor são: 4 GB de de RAM, 1 núcleo com 2 GHz e uma interface de 100 Mbps.

Fig. 1- Topologia física do ambiente de teste

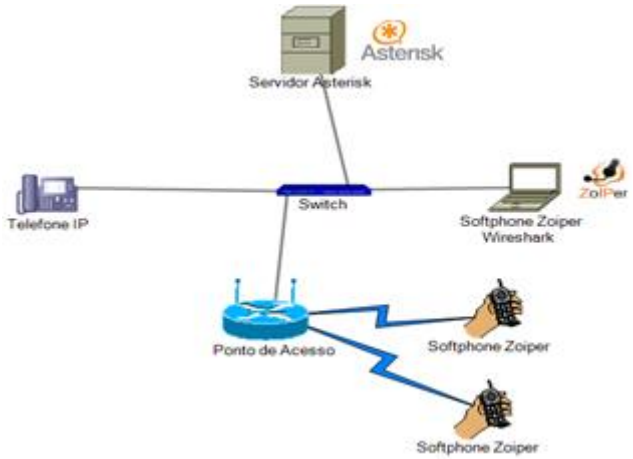

Fig. 2- Arquitectura do ambiente de teste

RESULTADOS

Nesta secção são apresentados os resultados dos testes efectuados em diferentes cenários, mudando em cada um deles alguns parâmetros e componentes. Os testes realizados tiveram uma média de 40 segundos de duração de chamadas, por ser um tempo suficiente para colectar uma média de 3000 pacotes RTP na nossa amostra. Deste modo, todos os testes foram analisados com a mesma quantidade de tráfego. Em todos os cenários foram realizados testes com os dois protocolos de sinalização abordados nesse estudo (o SIP e o IAX). Durante a realização dos testes, modificavam-se os Codecs e o protocolo de sinalização, conforme os detalhes que seguem.

Chamadas com o protocolo SIP

No primeiro cenário foram efectuadas ligações entre dois dispositivos finais utilizando o protocolo SIP e com as características de *hardware* como descritas abaixo. Os Codec's utilizados foram: o G.711 (uLaw e aLaw), Gsm, Ilbc, Speex. E no segundo cenário foram realizadas as ligações usando o protocolo IAX com os mesmos codecs. Os resultados obtidos para esta série de teste encontram-se nas Tabela I e Tabela II.

Tabela - Resultados do Cenário 1.a

Parâmetros	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	**iLBC**	**Speex**
Perda de pacotes (%)	0	0	0	0	0
Jitter (ms)	20	20	16	20	12
Taxa de bits Enviados (kb/s)	82	83	33	26	29
Taxa de bits Recebidos (kb/s)	83	84	33	26	29

Throughput	82.5	83.5	33	26	29
Previsão da QoE (0-5)	4.5	4.6	5	4.47	5

Tabela II- Resultados do Cenário 2a

Parâmetros	**ULaw**	**aLaw**	**GSM**	**iLBC**	**Speex**
Perda de pacotes (%)	0	0	0	0	5.3
Jitter uplink (ms)	0.73	0.95	0.78	0.77	0.9
Jitter downlink (ms)	21.3	21.5	21	18.1	20.6
Jitter do sistema (ms)	11	11.22	10.9	9.4	10.8
Bitrate Enviados (kb/s)	83	84	49	36	30
Bitrate Recebidos (kb/)	44	48	34	27	30
Throughput	63.5	66	4.5	31,5	30
Delay(atraso) uplink (ms)	0.6	0.63	0.07	0	1.33
Delay (atraso) downlink (ms)	18.5	17.5	18.5	19.3	26.6
Delay (atraso)	9.6	9.1	9.3	9.7	14
Latência	19	18.1	18.6	19.3	28
Nível de Qualidade (0-5)	5	5	5	5	3

Chamadas com o Protocolo IAX

Nesta etapa dos testes foi configurado o protocolo IAX com novas extensões no servidor VoIP e nos softphones. Neste cenário, semelhante a arquitectura com o SIP foram captados apenas o *bitrate*, o *jitter* (instantâneo) e a previsão de QoE como nas Tabela III e Tabela IV.

Tabela III- Resultados do Cenário 1.b

Parâmetros	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	**iLBC**	**Speex**
Perda de pacotes (%)	0	0	0	0	0
Jitter (ms)	16	16	21	22	16
Taxa de bits Enviados (kb/s)	80	78	30	24	26
Taxa de bits Recebidos (kb/)	82	81	30	25	26
Throughput	81	79.5	30	24.5	26
Nível de Qualidade (0-5)	5	5	4.17	4.4	5

Tabela IV- Resultados do Cenário 2.b

Parâmetros	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	**iLBC**	**Speex**
Perda de pacotes (%)	0	0	0	0	0
Jitter (ms) Envio e recepção	0.02	0.02	0.02	0.002	2.5
Bitrate Enviados (kb/s)	82	80	31	25	25
Bitrate Recebidos (kb/)	81	78	30	24	26
Throughput	81.5	79	30.5	24.5	25.5
Delay (atraso) (ms)	0.32	0.37	0.35	0.3	19.5
Nível de Qualidade (0-5)	5	5	5	3.75	4

Chamadas com SIP e IAX com Transcodificação

Nesta etapa foi configurado num *softphone* Zoiper o protocolo IAX e no outro o protocolo SIP, e em relação aos codec foram realizadas chamadas com todos os codecs. Neste cenário a avaliação baseou-se em verificar a compatibilidade entre os codecs. Verificou-se que há compatibilidade entre alguns codecs como realçado na Tabela V, porém, entre o codec iLBC e o G711(ulaw), como na Tabela VI.

Tabela V- Compatibilidade usando SIP

SIP	Compatibilidade				
ulLaw	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	***iLBC***	Spee x
aLaw	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	***iLBC***	Spee x
GSM	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	***iLBC***	Spee x
ulLaw	***uLaw***	***aLaw***	***GSM***	**iLBC**	Spee x
aLaw	uLaw	aLaw	GSM	iLBC	**Spee x**

Tabela VI- Compatibilidade usando IAX

IAX	Compatibilidade				
ulLaw	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	iLBC	Speex
aLaw	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	iLBC	Speex
GSM	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**	iLBC	Speex
iLBC	uLaw	aLaw	GSM	**iLBC**	Speex
Speex	uLaw	aLaw	GSM	iLBC	**Speex**

Nos testes de transcodificação realizados com o protocolo IAX, verificou-se que há de facto incompatibilidade entre alguns codecs como na tabela 13.

Com os resultados obtidos acima limitamo-nos em fazer a avaliação de QoS em ambiente híbrido (SIP e IAX) apenas com os codecs GSM e G711 por serem aqueles que apresentaram maior consistência como mostrado nos testes preliminares destacados na Tabela VII anterior.

Tabela VII- Resultados da transcodificação

Parâmetros	**uLaw**	**aLaw**	**GSM**
Perda de pacotes (%)	0	0	0
Jitter uplink (ms) SIP	0.8	0.7	0.7
Jitter downlink (ms) SIP	7.3	8	20.8
Jitter	8.1	8.7	21.5
Jitter (ms) IAX	0.04	0.02	0.04
Bit rate lado SIP (kb/s)	85	140	57
Bit rate IAX	174	150	50
Delay uplink SIP	0.73	15.6	0.7
Delay downlink SIP	13.6	59.1	15.7

Delay sip	7.2	37.4	8.2
Latência sip	14.3	74.7	16.439
Delay ladoIAX	0.46	1.58	0.39

Influencia das características físicas do servidor

Nesta etapa fez-se a análise da influência das características físicas do servidor como a capacidade da CPU e memória na qualidade das chamadas. Foram realizadas chamadas em simultâneas para fins de testes de estresse/carga e desempenho onde se conseguiu aferir as tecnologias que apresentam os melhores resultados de QoS face a demanda de chamada. Observa-se na Figura 3 o consumo de 15% da memória RAM durante a ligação. Verificou-se, porém, que, as chamadas realizadas em cenários configurados com os protocolos SIP e IAX consumiam os recursos de memória e processamento de igual modo, não havendo diferenças significativas.

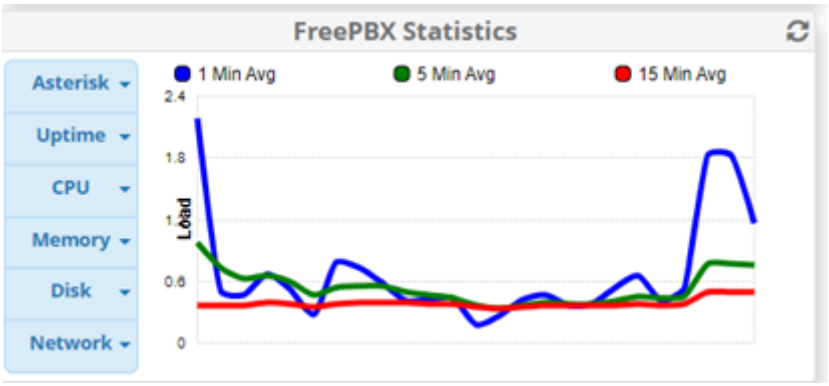

Fig. 3- Monitoramento da CPU no servidor

DISCUSSÃO

Análise da QoS

Nos diferentes cenários de testes não houve perda considerável de pacotes e observamos que independentemente do tipo de codec e/ou protocolo de sinalização a utilizado, se a rede for devidamente implementada este parâmetro terá pouca influência na degradação da QoS. Em relação ao atraso, o protocolo IAX apresentou os melhores valores para o atraso em todos os codecs. O valor do *jitter* foi sempre superior no sentido do servidor para a máquina cliente ao contrário do sentido da máquina cliente para o servidor, onde os valores do jitter tendem para zero. Deste modo, podemos concluir que os recursos de hardware influenciam na capacidade de transmissão e recepção dos pacotes, gerando atraso e consequente na qualidade da ligação.

Os dados colectados das taxas de transferência em cada codec permitiram concluir que o bitrate influenciou na qualidade das ligações. O codecs que operaram com *bitrates* mais baixos, tendem a usar técnicas de compreensão que resulta em perda de qualidade com ecos durante as chamadas. O nosso estudo permitiu aferir que o sistema de comunicação VoIP com o Asterisk permite realizar chamadas entre diferentes codecs, dentre os quais: o G.711 ulaw e alaw, GSM, ILbc e Speex ocorrendo a transcodificação sem grande prejuízo na qualidade das comunicações.

O Servidor Asterisk faz o *transcoder* automaticamente sempre que um dos intervenientes emite uma sinalização com um codec que não é compatível ou não tenha sido configurado no outro interveniente. Em geral as chamadas realizadas com o protocolo IAX apresentaram melhor qualidade de serviço em relação ao atraso. Os testes mostraram uma certa incompatibilidade entre o protocolo IAX com o codec Speex, pois as ligações caiam com muita frequência e quando ocorriam apresentava uma má qualidade assim como os parâmetros de QoS.

Correlação entre as variáveis estudadas

Nesta secção são apresentados os resultados dos testes de correlação entre diferentes parâmetros de QoS usando o método de Pearson, com o objectivo de encontrar uma medida estatística que indica a força e a direcção da relação linear entre dois ou mais parâmetros. O coeficiente de Pearson obtido entre a latência e o *delay* foi o de maior destaque neste teste, pois, mostrou uma correlação linear perfeita positiva, o que significa que na medida que aumenta o *delay*, aumenta também a latência na mesma proporção.

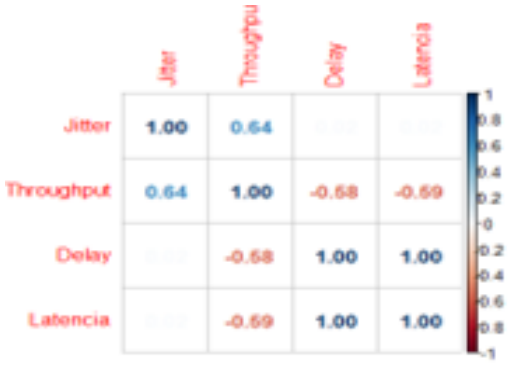

Fig.4- Matriz de correlação entre os parâmetros do cenário 2.a

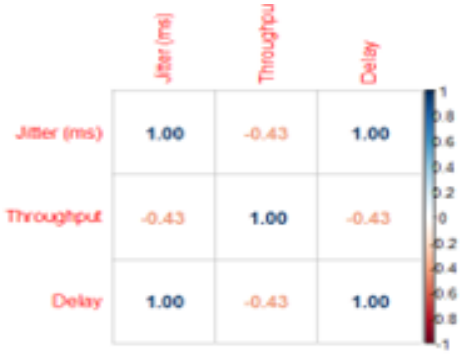

Fig. 5- Matriz de correlação entre delay e o throughput

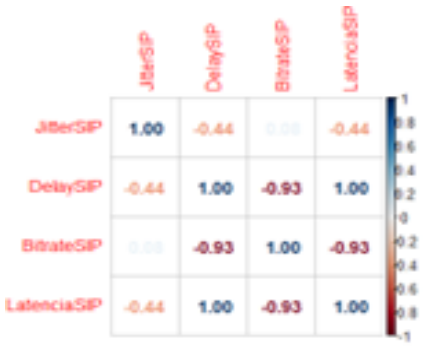

Fig. 6- Matriz decorrelação entre todos os parâmetros

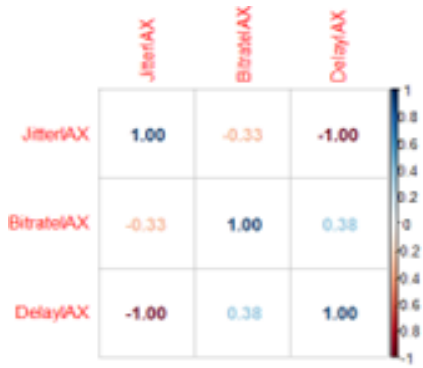

Fig. 7- Matriz de correlação entre delay, jitter e bitrate

O coeficiente de Pearson obtido entre o *jitter* e o *delay* foi o de maior destaque no Cenário 1b, portanto, entre 2 Telemóveis com IAX como na Figura 5. De facto, mostrou uma correlação linear perfeita positiva, o que significa que na medida que aumenta o *jitter*, aumenta também o *delay* na mesma proporção. O mesmo não se verificou entre o *delay* e o *throughput* (-0,43), indicando uma correlação negativa moderada que significa que na medida que aumenta o *delay*, diminui o *throught* de forma moderada a fraca.

Nos cenários de transcodificação confirmou-se a correlação linear perfeita positiva entre a latência e o *delay* e a fraca correlação entre o *jitter* e o *bitrate*, indicando que não muita

relação entre o *bitrate* e *jitter* (0,0,81) como na Figura 4. Em relação ao *delay*, verificou-se uma correlação negativa muito forte com o *bitrate*, o que significa que o aumento do atraso nas ligações compromete significativamente a taxa de bits o consequentemente a qualidade de ligação.

Na *Figura 6* se pode observar a correlação entre todos os parâmetros envolvidos dando uma percepção genérica de como elas se relacionam. No dispositivo configurado com o protocolo IAX uma correlação perfeita negativa entre o *jitter* e o *delay*, significando que baixas variações no atraso (*jitter*) tende-se a ter um *delay* constante melhorando significativamente na qualidade das comunicações, como mostra a Figura 7. O *Delay* e o *bitrate* também tiveram uma correlação positiva fraca, assim como no dispositivo SIP, o que para o nosso experimento, acaba comprovando que o protocolo de sinalização tem pouca influência na variação do atraso.

Análise de regressão linear múltipla

Foi feita a análise de regressão entre os parâmetros de QoS que apresentaram uma correlação forte, tendo em conta o valor do coeficiente de correlação obtidos na secção anterior, e assim analisar quais parâmetros influenciam mais os outros. A abordagem foi baseada em regressão linear múltipla, pois analisamos a relação entre uma variável dependente (latência) e várias variáveis independentes (*delay*, *throughput*, *jitter*). O valor *Estimate* mostra o efeito esperado de cada variável independente sobre a variável dependente. No caso, em análise mostra que apenas o *delay* (1.98) e o *jitter* (0.124) influenciam positivamente no aumento da latência quando as demais assumirem um valor constante.

O valor *t* é usado para testar a hipótese nula de que o coeficiente é igual a zero (ou seja, a variável independente não tem efeito sobre latência). No caso em análise o *delay* com o valor de 86.78 indica uma evidência muito forte contra a hipótese nula, diferente do *jitter* e o *throughput* que assumem valores muito baixo. O valor p associado ao t-*test* para cada coeficiente testa a significância estatística da variável independente (a latência). Se o valor p for menor que um nível de significância comum (geralmente 0,05), a variável independente é considerada estatisticamente significativa. Temos deste modo: (a) *delay*: p-valor muito baixo (0.00734) indica que o atraso tem um efeito significativo sobre a latência; (b) *Throughput*: p-valor de 0.26753 também indica significância, mas menos forte que o *delay* assim como o *jitter* com 0.32211 com o valor p pouco significativo sobre a latência.

A estatística F (6497) e seu valor p (0.009119) indica se o modelo geral é significativo. Um valor F alto e um valor p muito baixo indicam que o modelo é significativo como um todo. Deste modo, podemos afirmar seguramente que os parâmetros *delay*, *throughput* e

o *jitter* têm efeito significativo sobre a latência. Testou-se a regressão linear múltipla onde a variável dependente foi o *throughput* e as variáveis independentes foram *delay* e *jitter*. O valor *Estimado*: Neste teste apenas o *delay* com o valor de 394.97 influencia positivamente quando o *jitter* assume um valor constante. E o *jitter* com o valor de negativo de -3055.94 também influencia, mas, negativamente, o que significa que vazão diminui na medida que o *jitter* aumenta. O valor t é como explicado anteriormente, é usado para testar a hipótese nula de que o coeficiente é igual a zero (ou seja, as variáveis independentes não têm efeito sobre a vazão). No caso em análise o *delay* com o valor de 0.618 indica uma evidência muito fraca contra a hipótese nula, assim como o *jitter* (-0.621). Em relação ao valor p associado ao *t-test* para cada coeficiente, temos deste modo p-valor de 0.599 e 0.598 de *delay* e *jitter* respectivamente, que indicam significância fraca sobre a vazão. A estatística F(0.4649) e seu valor p (0.6826) indicam que o modelo em geral é pouco significativo. Deste modo, podemos afirmar seguramente que os parâmetros *delay* e o *jitter* tiveram fraco efeito significativo sobre a vazão.

CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou um estudo sobre a avaliação dos parâmetros de QoS que mais influenciam na qualidade de transmissão de pacotes de voz em redes VoIP baseados em IPBX. Foram testados todos os codecs e protocolos seleccionados nessa pesquisa e colectados os dados dos parâmetros de QoS obtidos em diferentes cenários. Apesar da influência dos codecs de compressão de voz e do protocolo de sinalização, constatou-se que outros aspectos como a largura de banda, tipo de conexão, a tecnologia dos equipamentos de rede, são factores determinantes para a avaliação de QoS em redes VoIP. Os testes de correlação e de regressão linear permitiram analisar melhor a relação entre os parâmetros de QoS. Todavia, não foi possível realizar testes com codecs e protocolos VoIP proprietários, deixando assim em aberto, estudos que possam atestar a QoS dos mesmos face as características da rede onde se propuserem implementar. Finalmente, este artigo é uma referência para os projectos de infra-estruturas de redes convergentes, onde se pretender garantir qualidade na transmissão de voz que tenham como centro da arquitectura VoIP um IPBX como o Asterisk.

Fruto deste trabalho, acreditamos que com um estudo de avaliação dos factores de QoS que tenham como varáveis de pesquisa os codecs e protocolos proprietários, consegue-se ter uma compreensão mais abrangente para melhor classificar os que melhor se adaptam a determinados cenários de implementação. Por conseguinte, recomenda-se estudos que avaliam a influência de outros factores de QoS como a largura de banda, tipo de conexão, métodos de garantia de QoS e tecnologia dos equipamentos. Finalmente, propomos futuros estudos que avaliem todos aspectos mencionados nesse trabalho, podendo seguir

o mesmo modelo de avaliação, mas em ambiente de teste corporativos, ou seja, com o servidor IPBX hospedado em máquinas distribuídas, dedicadas, remotas, com múltiplos utilizadores finais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aamir, M., & Zaidi, S. M. (2017). QoS Analysis of VoIP Traffic for different Codecs and Frame Counts per Packet in Multimedia Environment using OPNET. Karachi, Pakistan.

Adhilaksono, B., & Setiawan, B. (2021). A study of Voice-over-Internet Protocol quality metrics. Indonesia.

ALSHAHWAN, F., ALSHAMRANI, M., & AMER, A. A. (2018). Dynamic Novel Cross-Layer Performance Enhancement Approach for SIP over OLSR. IEEE ACCESS.

Ana, I. P. (2010). Implantação de Telefonia VoIP no Centro de Tecnologia da UFRJ. Rio de Janeiro.

Chakraborty, T., Ghosh, S., Barik, S., Kar, S., & Chatterje, S. (2020). VoIP-HDK2 A novel channel allocation technique for QoS aware VoIP communication over heterogeneous networks. Kolkata: Procedia Computer Science.

Dafalla, M. E., Mokhtar, R. A., b, R. A., Alhumyani, H., Abdel-Khalek, S., & Khayyat, M. (2022). An optimized link state routing protocol for real-time application over Vehicular Ad-hoc Network. Alexandria Engineering Journal.

Edan, N. M., Turner, S., Al-Sherbaz, A., & Ajit, S. (2016). Performance Evaluation of QoS Using SIP & IAX2 VVoIP Protocols with CODECS. Londres: SAI Computing Conference.

Magro, J. C. (2005). Estudo da Qualidade de Voz em Redes IP. Campinas.

Menezes, A. C., Machado, J. d., Nogueira, T. A., Ordonez, E. D., & Ribeiro, A. d. (2019). Técnicas para análise de desempenho em plataformas computacionais genéricas para uso de sistemas VoIP Open Source. Sergipe: IFS.

Neyra, J. M., Irizar, C. A., & Calderón, C. A. (Dezembro de 2017). Evaluación de QoE en servicios IP basada en parámetros de QoS.

Pal, D., Triyason, T., & Vanijja, V. (2017). Asterisk Server Performance under Stress Test. 17th IEEE International Conference on Communication Technology (p. 5). Bangkok, Thailand: IP Communications Laboratory.

Pantoja, M. R. (2017). Comparação De Infraestruturas Baseadas em SDN e Virtualização de Redes para Suporte a Serviços VoIP. Recife.

Pereira, R. S. (2015). Análise de desempenho e usabilidade em sistemas VoIP seguros.

Sankako, E. H. (2007). Diferenças entre Soluções VoIP com H.323 e SIP. Londrina.

Vieira, S. A. (2009). Realização de uma arquitectura Diffserv com configuração transparente de QoS. Lisboa.

Villarreal, M. A., Arroyo, J. B., Camarena, J. F., & Lira, L. A. (2019). Evaluación de una red inalámbrica de banda ancha para VoIP.

Declaração de conflictos de interesses:

Os autores do artigo declaram não existir qualquer conflicto de interesses que afecte a publicação do artigo.

Contribuição de Autoria:

Os autores contribuíram igualmente na conceção, delineamento e pesquisa bibliográfica, que possibilitou o desenvolvimento e revisão do conteúdo para aprovação final da versão a publicar.

Este trabalho está sob uma Licença Creative Commons Reconhecimento-NãoComercial 4.0 Internacional.