

EROS-5: Gerador de Tráfego Sintético para Redes 5G

Rafael Amaral¹, Gabriel C. Ferreira¹, Priscila Solís Barreto¹ e Marcos F. Caetano¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Caixa Postal 4466 CEP 70910-900 – Brasília – DF – Brasil

{rafaelsoares, gabrielcarvfer}@aluno.unb.br, {pris,mfcaetano}@unb.br

Abstract. *This paper presents the EROS-5 tool (Synthetic Traffic Generator for 5G Networks), which allows simulating a variety of applications such as video streaming, VoIP (Voice over IP), Web and IoT, in 5G network scenarios. EROS-5 is an open source and configurable tool that allows the easy coupling of new mathematical models to generate new types of traffic. The traffic generated is in the form of time series in JSON format, which presents the necessary flexibility to be used by several simulators such as ns-3 and OMNET ++.*

Resumo. *Este trabalho apresenta a ferramenta EROS-5 (gErador de tRáfego sintéticO para redeS 5G), que permite simular uma variedade de aplicações tais como streaming de vídeo, VoIP (Voice over IP), Web e IoT e pode ser usado em cenários de redes 5G. EROS-5 é uma ferramenta de código aberto e parametrizável que permite facilmente o acoplamento de novos modelos matemáticos para geração de novos tipos de tráfego. O tráfego gerado é definido por um conjunto de parâmetros típicos da aplicação e tem o formato de séries temporais em JSON, para prover a flexibilidade necessária e potencial de ser utilizado por vários simuladores tais como ns-3 e OMNET++.*

1. Introdução

A evolução das redes de comunicações móveis para a 5ª geração (5G) considera, pela primeira vez, outros cenários além do aumento de taxa de transmissão e da capacidade de escoamento de tráfego. São três os principais cenários considerados: (i) *Enhanced Mobile Communications* (EMC) - cenário com alta taxa de transmissão e alta capacidade de escoamento de tráfego, para aplicações como streaming de vídeo, WEB e jogos online, por exemplo; (ii) *Massive Machine Type Communications* (MMTC) - cenário para a Internet das Coisas (IoT), com alta densidade de dispositivos e alta eficiência energética e (iii) *Ultra Reliable Low Latency Communications* (URLLC) - cenário com latência muito baixa e altíssima confiabilidade, para aplicações de tempo real, por exemplo telemedicina e VoIP (*Voice over IP*) [3GPP 2015].

Nos últimos anos observou-se uma considerável mudança no tráfego nas redes móveis, em função do aumento do volume de aplicações de vídeo e a comunicação entre máquinas. Atualmente, a principal aplicação em termos de volume de tráfego é o *streaming* de vídeo sob demanda, que deve ocupar 76% do tráfego nas redes móveis em 2025 [Ericsson 2019]. Na evolução das redes móveis, hoje em direção ao 5G, há necessidade de ferramentas de simulação integradas e de séries temporais de tráfego, reais ou sintéticas, que permitam simular e avaliar os cenários de uso atuais [Maternia et al. 2016].

A caracterização precisa da carga de trabalho é um elemento fundamental para uma correta avaliação de desempenho [Jain 1991]. A geração de tráfego sintético

realístico passa pela modelagem do tráfego de aplicações reais, o que nem sempre é possível e depende da definição de um modelo matemático adequado. O tráfego pode ser representado como uma série temporal, com mensagens de tamanhos que seguem um modelo de geração descrito pela aplicação [Waldmann et al. 2017]. A análise da série temporal permite mensurar as propriedades estatísticas do tráfego e entender melhor as métricas de desempenho. No passado, algumas destas características foram claramente identificadas no tráfego de rede, tais como a dependência de longa duração, a auto-similaridade, a multifractalidade, entre outras [Kettani and Gubner 2003, Leland et al. 1994]. Entretanto, a forte mudança dos perfis de usuários nos últimos anos e os novos cenários de uso, com o forte aumento do tráfego de vídeo em conjunto com as aplicações IoT, ainda não apresentam um consenso sobre as propriedades estatísticas e modelagem da carga de trabalho nesses novos ambientes [Hoffeld et al. 2018].

Com essa motivação, este artigo apresenta o EROS-5 (gerador de tráfego sintético para rede 5G). A ideia é prover uma ferramenta que utilize fundamentos matemáticos para a geração de séries temporais de tráfego com características muito próximas das aplicações reais nos ambientes 5G. Dessa forma, espera-se que o EROS-5 possa ser uma ferramenta integrada aos ambientes de simulação para facilitar a pesquisa da comunidade acadêmica. A ferramenta implementa 4 tipos de tráfego: Web, IoT, *streaming* de Vídeo sob demanda e VoIP, todos considerados como os mais relevantes nos três principais cenários do 5G [5G-Range 2018]. Para ilustrar a facilidade da ferramenta em integrar-se a diversos simuladores, foi desenvolvida uma demonstração dessa funcionalidade no simulador ns-3 [CTTC 2019] em um cenário 5G rural.

Este artigo está estruturado da forma seguinte: a Seção 2 descreve os fundamentos teóricos utilizados para a implementação dos quatro tipos de tráfego, a Seção 3 apresenta o Roteiro de Demonstração e a Seção 4 apresenta a Conclusão e Trabalhos Futuros desta pesquisa.

2. Descrição da Ferramenta EROS-5

A implementação do EROS-5 utiliza a linguagem Python em função da disponibilidade de bibliotecas estatísticas adequadas para este propósito, tais como *Scipy*¹ e *Numpy*². O tratamento do tráfego como uma série temporal implica na modelagem estatística de algumas variáveis como mostrado na Figura 1, a saber: tamanho da mensagem (θ); tempo entre duas mensagens (δ); variação no tempo entre duas mensagens (ϵ); duração da carga (T) e tempo de início. As três primeiras variáveis caracterizam as cargas individualmente (são variáveis internas) enquanto as duas últimas modelam o comportamento entre as cargas. Nesse sentido, a ferramenta faz a modelagem de θ , δ e ϵ , possibilitando a parametrização de duração da carga (T) e deixando aberto o tempo de início. Esta última variável é altamente dependente de um comportamento humano e dos dispositivos (no caso de IoT).

2.1. Arquitetura e funcionalidades

A Figura 2 apresenta a arquitetura do EROS-5. A classe *Ui_Gerador* implementa a interface gráfica estática da ferramenta, que é utilizada pelas classes de *layout* para

¹<https://www.scipy.org/>

²<https://numpy.org/>

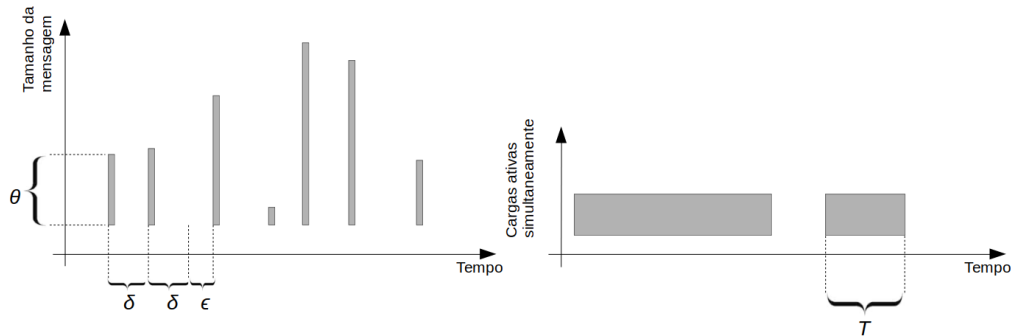


Figura 1. Modelagem da Série Temporal de Tráfego

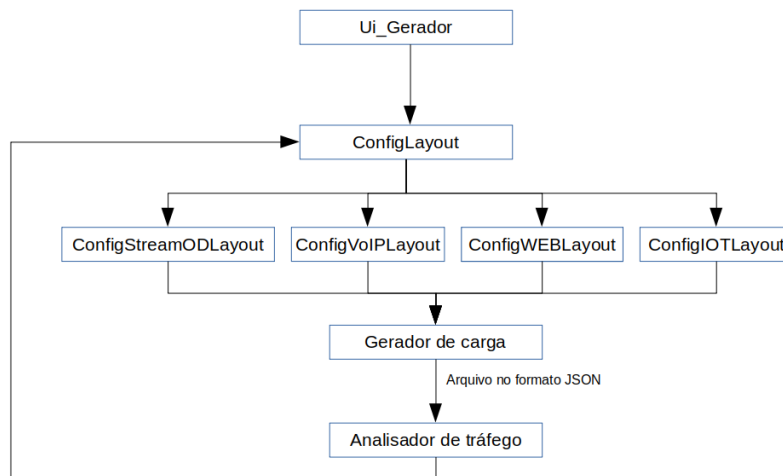


Figura 2. Arquitetura de funcionamento do EROS-5

visualização, geração e análise das cargas geradas. A saída do gerador de carga é introduzida no analisador para extração de informações estatísticas, tais como média, desvio padrão e parâmetros da série, por exemplo o expoente de *Hurst*. Algumas propriedades podem ser extraídas a partir deste expoente: $H \in [0.5, 1]$ indica que a série possui uma dependência de longa duração e seus valores persistem ao longo do tempo; $H \in [0, 0.5)$ indica que a série não apresenta dependência de longa duração e os valores não persistem ao longo do tempo. A arquitetura facilita a incorporação de outros modelos de geração de tráfego sintético no EROS-5, o que pode ajudar na sua evolução. Nas seções seguintes são descritos os modelos matemáticos utilizados para a geração de tráfego VoIP, *Streaming* de vídeo sob demanda, Web e IoT.

2.1.1. Geração de Tráfego VoIP

As aplicações de VoIP se caracterizam por requerer um atraso e *jitter* baixos [Chen et al. 2004]. A transmissão de voz é feita através de um processo de amostragem e transmissão de uma sequência de bits codificada. No lado receptor, a sequência é decodificada e a voz é reproduzida, com o uso de *codecs* tais como ITU G.711, ITU G.729, iSAC (*internet Speech Audio Codec*, em inglês), SILK, etc. Em [Mattos et al. 2012] é feita a modelagem destes 4 padrões tomando como base tráfego de *backbone*. Cada codificador possui uma taxa de geração de mensagens que pode ser modelada segundo uma

distribuição Gaussiana. O tamanho das mensagens muda de acordo com o *codec* utilizado. ITU G.711 e ITU G.729 possuem tamanhos fixos enquanto iSAC e SILK possuem tamanhos variáveis. Os codificadores iSAC e SILK utilizam a função ARMA (*Auto Regressive Moving Average*), em que o valor do termo X_t de uma série é influenciado pelos X_{t-k} termos anteriores, em que t refere-se ao termo atual. A junção dos modelos AR(Auto Regressive) e MA(Moving Average) resulta na Eq. 1, em que X representa os termos da série, c é uma constante, ψ representa ruído branco, ϕ_i são parâmetros do modelo AR, β_i são parâmetros do modelo MA. O valor de ψ é resultado de uma distribuição Gaussiana com média 0 e desvio padrão conhecido. Os parâmetros retirados de [Mattos et al. 2012] para modelagem do tamanho variável de mensagens de iSAC e SILK e ARMA(2,1) são mostrados na Tabela 1.

$$X_t = c + \psi_t + \sum_{i=1}^p \phi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^q \beta_i \psi_{t-i} \quad (1)$$

	ϕ_1	ϕ_2	β_1	ψ_σ	c
iSAC	1,117	-0,190	-0,631	22	159
SILK	1,281	-0,332	-0,600	22	159

Tabela 1. Parâmetros da função ARMA

2.1.2. Geração de Tráfego *Streaming* de vídeo sob demanda

De acordo com [Sandvine 2018], quase 60% de tráfego *downstream* corresponde à transmissão de vídeo. A maioria das aplicações utilizam técnicas de adaptação à banda disponível durante a transmissão de segmentos. O princípio por trás dos métodos de adaptação de banda se baseia em dividir vídeos longos em segmentos menores e no armazenamento prévio destes no lado do cliente. Várias versões com taxas diferentes de codificação são geradas possibilitando a escolha da versão correta de acordo com as condições da rede. Além disso, a distribuição de conteúdo pela rede (CDN) é um fator fortemente presente em sistemas provedores de vídeo.

Em [Waldmann et al. 2017] é proposta uma solução baseada no tráfego capturado durante a transmissão do filme Sintel³. O modelo utilizado é muito semelhante ao padrão *ON-OFF* no qual durante o estado *ON* ocorre transmissão do segmento enquanto no estado *OFF* nada é transmitido. A soma dos tempos no qual o transmissor realiza um ciclo completo representa o tempo entre duas requisições, ou seja, $T_{IR} = T_{ON} + T_{OFF}$. A ideia apresentada se baseia no fato de que, dado um segmento de τ segundos de duração, o tempo para transmissão deste deve ser menor ou igual ao tempo do segmento, ou seja, $T_{ON} < \tau$, do contrário a reprodução encontrará pausas. Em posse da distribuição que modele o tempo entre duas requisições (T_{IR}) é possível construir uma série com características semelhantes à aplicação. O tamanho da mensagem pode ser obtido através da multiplicação $T_{ON} * c$ em que c é a taxa de codificação média do vídeo.

Utilizando dash.js e TAPAS⁴ constatou-se que as distribuições Burr12 e t-Student modelam corretamente T_{ON} e T_{IR} , utilizando os parâmetros da Tabela 2, porém para garantir a autocorrelação correta é necessário utilizar uma transformada Z.

³<https://durian.blender.org/>

⁴<https://github.com/ldecicco/tapas>

	T_{ON} (Burr12)	T_{IR} (t-Student)
dash.js	$\alpha = 1,469, k = 1,915, c = 3,014$	$\mu = 1,938, \sigma = 0,245, \nu = 2,086$
TAPAS	$\alpha = 1,033, k = 1,451, c = 2,671$	$\mu = 1,953, \sigma = 0,001, \nu = 0,402$

Tabela 2. Parâmetros para T_{ON} e T_{IR}

	Distribuição
Tamanho de objetos principais	Weibull $\lambda = 28242, 8, k = 0,814944$
Número de objetos principais	Lognormal $\mu = 0,473844, \sigma = 0,688471$
Tempo entre dois objetos secundários	Gama $k = 0,16, \theta = 5,375$
Tamanho de objetos secundários	Lognormal $\mu = 9,17979, \sigma = 1,24646$
Número de objetos secundários	Exponential $\mu = 31,9291$
T_{OFF}	Lognormal $\mu = -0,495204, \sigma = 2,7731$

Tabela 3. Distribuições retiradas dos trabalhos citados.

2.1.3. Geração de tráfego Web

Mensagens geradas por sistemas Web atualmente correspondem a quase 17% do tráfego de *downstream* [Sandvine 2018]. Uma página WEB é constituída de um ou mais objetos principais e secundários. O protocolo HTTP é predominante e ao obter uma página, um usuário normalmente leva um tempo para interpretação de seu conteúdo.

O modelo ON-OFF pode ser utilizado para descrever o comportamento dos usuários na Web. No estado ON o usuário está recebendo arquivos do servidor, enquanto no estado OFF o usuário está passivo e nenhum arquivo é recebido T_{OFF} . Desta forma, [Hyoung-Kee Choi and Limb 1999] mostra um modelo que leva em consideração o tamanho e número de objetos principais e secundários além do tempo entre objetos e T_{OFF} . Um estudo mais recente [Pries et al. 2012] demonstra que o tamanho e o número de objetos mudou consideravelmente devido à inserção de conteúdo dinâmico e ao acréscimo no número de imagens, muito em função do acesso incremental à redes sociais como Facebook e Instagram. A Tabela 3 mostra as distribuições que melhor se encaixam para modelar uma série que represente o comportamento de um usuário.

2.1.4. Geração de Tráfego IoT

As aplicações IoT e os protocolos voltados para este propósito tais como LoRa (*Long Range*) e MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) são alvos de intensa pesquisa pela comunidade acadêmica [Gupta et al. 2017][Da Silva et al. 2018].

O funcionamento dos dispositivos IoT difere do padrão de comunicação tradicional no sentido de que são projetados para operarem no modo de baixo consumo prolongando o tempo de funcionamento para meses ou mesmo anos. Aplicações desse tipo transportam informações tais como temperatura, luminosidade, humidade, etc. que são transmitidas para *sinks* ou sorvedouros. O fluxo de informações ocorre principalmente na direção do *uplink* e os sorvedouros agregam mensagens, o que produz um padrão de geração de informações que pode ser dividido em duas categorias principais: síncrono e assíncrono. A categoria assíncrona pode ser dividida em periódica e não periódica e observa-se que essas aplicações apresentam uma periodicidade e tamanho médio de mensagens característico [Sivanathan et al. 2017]. Utilizando essa

aproximação, o modelo utilizado é focado na geração de mensagens assíncronas e periódicas, conforme o tempo inicial de transmissão t_i do i -ésimo dispositivo que pode ser modelado segundo uma distribuição uniforme $t_i \sim U(0, T)$, em que T representa o período [Hoßfeld et al. 2018]. Com a quantidade de dispositivos, o tamanho das mensagens e a periodicidade de transmissão, pode-se obter o tráfego com características de aplicações IoT [Hoßfeld et al. 2018]. [Sivanathan et al. 2017] mostra a clusterização desses parâmetros, reforçando a presença de periodicidade.

3. Roteiro de Demonstração

Nesta seção é apresentada a demonstração do uso da ferramenta para configurar o tráfego em um ambiente móvel. Para ilustrar um potencial cenário de 5G, foi escolhida uma composição de tráfego observada em um ambiente rural, que poderia compor um cenário de 5G em áreas remotas[5G-Range 2018]. Nas áreas rurais, o tráfego observado na célula é composto majoritariamente de tráfego Web (89.1% incluindo *stream* de vídeo) e chamadas VoIP por Skype (0.08%)[Zheleva et al. 2013]. Para a demonstração, a ferramenta foi utilizada para compor esse perfil de tráfego, a partir da especificação dos parâmetros e dos tipos das aplicações, conforme mostrado na Tabela 4.

As séries temporais de tráfego foram geradas pelo EROS-5 e injetadas no simulador ns-3. A simulação no ns-3 foi feita em um cenário LTE com 150 nós distribuídos aleatoriamente em um célula de 50 metros com duração de 86400 segundos. O transmissor e o receptor reportam o momento que uma transmissão é feita e recebida, respectivamente. A partir da simulação do ns-3, foram obtidos os valores de atraso e *jitter*. O fluxo da integração do EROS-5 com o ns-3 é ilustrado na Figura 3. Os gráficos do tráfego agregado das aplicações WEB, VoIP, e *streaming* de vídeo estão ilustrados na Figura 4.

O roteiro com documentação, demonstração e um vídeo explicativo com o exemplo podem ser encontrados em <https://notopoloko.github.io/Eros/>. Para facilitar o processo de integração com novos modelos, um exemplo foi adicionado caso o usuário deseje estender o EROS à outras aplicações.

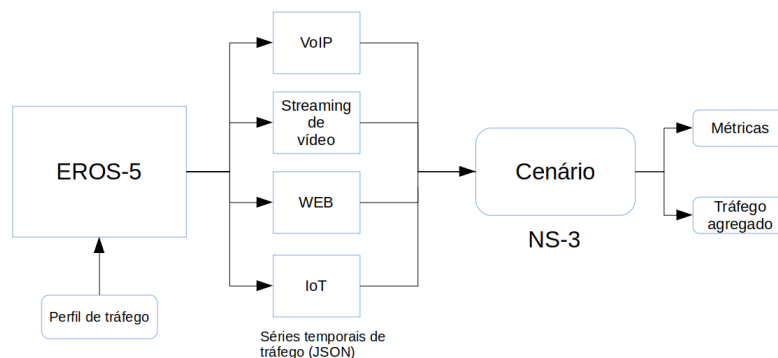


Figura 3. Fluxo da Integração do EROS-5 com o ns-3

Tipo de tráfego	Tráfego agregado	Porcentagem	Atraso médio (s)	Jitter	Hurst (H)
WEB	~ 99GBytes	88,3%	1.645	0.452	0.8736
Stream de vídeo	~ 13GBytes	11,6%	4.836	1.757	0.8241
VoIP	~ 100MBytes	0,09%	0.086	0.03	0.8060
Total	~ 111Gbytes	100%	2.014	0.604	0.8595

Tabela 4. Perfil de tráfego injetado na simulação

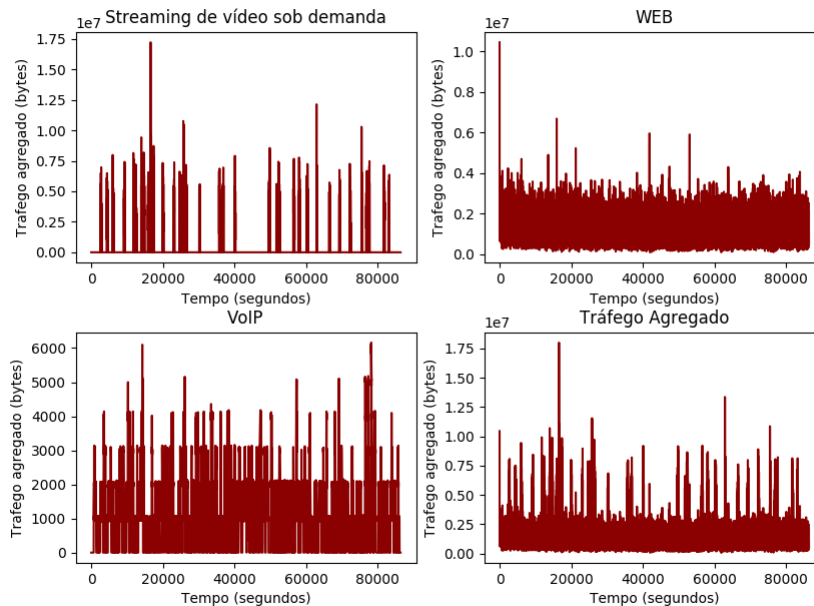


Figura 4. Tráfego agregado por cada aplicação e no total

4. Conclusões e trabalhos futuros

Este trabalho apresentou o EROS-5, um gerador de tráfego sintético, de código aberto, flexível e parametrizável, que pode dar suporte a simuladores de rede para cenários com aplicações típicas de 5G. A ferramenta foi ilustrada no ns-3. Como trabalhos futuros serão incorporados ao EROS-5 outros modelos matemáticos que representem novas aplicações nas redes 5G.

5. Agradecimentos

Este trabalho teve apoio do projeto 5G-Range (www.5g-range.eu), da 4a. Chamada EU-BR em TICs, financiada pelo CTIC/RNP/MCTIC e do Edital 04/DPI da UnB.

Referências

- 3GPP (2015). 3GPP TR 45.820 V13.1.0 - Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT). Technical report.
- 5G-Range (2018). Application and requirements report. Technical report. http://5g-range.eu/wp-content/uploads/2019/02/5G-Range_D2.1_V3.pdf.
- Chen, Y., Farley, T., and Ye, N. (2004). Qos requirements of network applications on the internet. *Inf. Knowl. Syst. Manag.*, 4(1):55–76.
- CTTC (2019). The first release of 5g-lena is available. <http://www.cttc.es/the-first-release-of-5g-lena-is-available/>.
- Da Silva, W. R., Oliveira, L., Kumar, N., Rabêlo, R. A. L., Marins, C. N. M., and Rodrigues, J. J. P. C. (2018). An internet of things tracking system approach based on lora protocol. In *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–7.

- Ericsson (2019). Ericsson mobility report. Technical report, Ericsson. <https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>.
- Gupta, V., Devar, S. K., Kumar, N. H., and Bagadi, K. P. (2017). Modelling of iot traffic and its impact on lorawan. In *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, pages 1–6.
- Hoßfeld, T., Metzger, F., and Heegaard, P. E. (2018). Traffic modeling for aggregated periodic iot data. In *2018 21st Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks and Workshops (ICIN)*, pages 1–8.
- Hyoung-Kee Choi and Limb, J. O. (1999). A behavioral model of web traffic. In *Proceedings. Seventh International Conference on Network Protocols*, pages 327–334.
- Jain, R. (1991). *The art of computer systems performance analysis - techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling*. Wiley professional computing. Wiley.
- Kettani, H. and Gubner, J. A. (2003). Estimation of the long-range dependence parameter of fractional arima processes. In *28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2003. LCN '03. Proceedings.*, pages 307–308.
- Leland, W. E., Taqqu, M. S., Willinger, W., and Wilson, D. V. (1994). On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version). *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2(1):1–15.
- Maternia, M., El Ayoubi, S. E., Fallgren, M., Spapis, P., Qi, Y., Martín-Sacristán, D., Carrasco, , Fresia, M., Payaró, M., Schubert, M., Bedo, J. S., and Kulkarni, V. (2016). 5G PPP Use Cases and Performance Evaluation Models. *5GPPP*.
- Mattos, C. I., Ribeiro, E. P., Fernandez, E. M. G., and Pedroso, C. M. (2012). An unified VoIP model for workload generation. *Multimedia Tools and Applications*, 70(3):2309–2329.
- Pries, R., Magyari, Z., and Tran-Gia, P. (2012). An http web traffic model based on the top one million visited web pages. In *Proceedings of the 8th Euro-NF Conference on Next Generation Internet NGI 2012*, pages 133–139.
- Sandvine (2018). 2018 global internet phenomena report. <https://www.sandvine.com/2018-internet-phenomena-report>.
- Sivanathan, A., Sherratt, D., Gharakheili, H. H., Radford, A., Wijenayake, C., Vishwanath, A., and Sivaraman, V. (2017). Characterizing and classifying iot traffic in smart cities and campuses. In *2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pages 559–564.
- Waldmann, S., Miller, K., and Wolisz, A. (2017). Traffic model for http-based adaptive streaming. In *2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pages 683–688.
- Zheleva, M., Schmitt, P., Vigil, M., and Belding, E. (2013). The increased bandwidth fallacy. In *Proceedings of the 4th Annual Symposium on Computing for Development - ACM DEV-4 13*. ACM Press.