

Uma Abordagem de Fatiamento de Rede entre Múltiplos Sistemas Autônomos

Candidato: Rodrigo Moreira¹,

Orientador: Flávio de Oliveira Silva¹, Coorientador: Rui Luís Andrade Aguiar²

Faculdade de Computação (FACOM)

Instituto de Telecomunicações (IT)

¹ Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

² Universidade de Aveiro (UA)

Email: {rodrigo.moreira, flavio}@ufu.br

Email: ruilaa@ua.pt

Abstract. *Network slicing is critical to supporting the coexistence of divergent requirements on the same network resource. Network slicing has been extensively explored in the specification and standardization process of fifth-generation mobile network architectures (5G). Therefore, the literature proposals predominantly focus on providing network slicing in this network segment. The approaches that proposed performing network slicing beyond mobile networks proved functionally incapable of providing network slicing between multiple Autonomous Systems (ASs). In this sense, this research sought to build a network slicing method between multiple ASs based on Internet routing algorithms. Experiments in significant scenarios verified the proposed method's applicability, relevance, and performance compared to the traditional state-of-the-art approaches.*

Resumo. *O fatiamento de rede é fundamental para suportar a coexistência de requisitos divergentes sobre o mesmo recurso de rede. O fatiamento de rede foi amplamente explorado no processo de especificação e padronização da arquitetura de redes móveis de quinta geração (5G). Por isso, as propostas da literatura concentram-se predominantemente em prover fatiamento de rede nesse segmento de rede. As abordagens que propuseram realizar o fatiamento de rede para além de redes móveis mostraram-se funcionalmente incapazes de prover fatiamento de rede entre múltiplos Sistemas Autônomos (SAs). Nesse sentido, essa pesquisa buscou de construir um método de fatiamento de rede entre múltiplos SAs, baseando-se nos algoritmos de roteamento da Internet. Experimentos realizados em cenário significativos constataram a aplicabilidade, pertinência e desempenho do método proposto em contraste com os tradicionais do estado da arte.*

1. Introdução

As aplicações modernas impõem requisitos rigorosos ao *hardware* de rede, requerendo da indústria e comunidade científica novos métodos de compartilhamento de recursos. Recentemente, acelerado por habilitadores tecnológicos como *Software-Defined Networking (SDN)*, *Network Function Virtualization (NFV)* e *Cloud Computing*, o compartilhamento de recursos atualizou-se para a terminologia de fatiamento de recursos no âmbito das redes de comunicação. O fatiamento de rede foi tecnologia fundamental na realização das Redes Móveis de Quinta Geração (5G), ainda contendo desafios persistentes de endereçamento [Chergui et al. 2021, Jain and Paul 2013, Husain et al. 2018].

A *Internet Engineering Task Force (IETF)* descreveu o fatiamento de rede como “a coleção de tecnologias para criar redes lógicas e especializadas como serviço” onde cada fatia de rede lida com uma demanda de mercado específica, isto é, verticais [de Foy and Rahman 2017, Group et al. 2016, ITU 2011]. O fatiamento de rede ressignificou o compartilhamento de recursos uma vez que cada fatia passou a possuir componentes de gestão e operação mutuamente independentes.

O fatiamento de rede estabeleceu-se como uma tecnologia habilitadora para lidar com os desafios de projeto e implantação para aplicações especializadas sobre a rede, sobretudo no que se refere a escalabilidade e flexibilidade [Rost et al. 2017]. O conceito de fatiamento de recursos de rede, previamente ensaiado nas propostas como a *PlanetLab* [Peterson et al. 2002], *Emulab* [Stoller et al. 2008], *X-BONE* [Touch et al. 2005], *OFLIA* [SuñÉ et al. 2014] e outras [Stiemerling et al. 2009], implementam o conceito de *testbed* geograficamente distribuído. Esses *testbeds* permitiam que fosse projetados, experimentados e avaliados novos serviços de rede sobre uma mesma infraestrutura. Predominantemente, o mecanismo de conectividade cruzada desses *testbeds* e propostas subsequentes basearam-se em tecnologias acopladas ao domínio como *SDN*, *Multiprotocol Label Switching (MPLS)* ou *Virtual Private Network (VPN)*.

Problema. A dinâmica do fatiamento de redes considerou que fossem atribuídas aos usuários parcelas de recursos físicos com isolamento aos usuários, tanto no nível de *hardware*, controle, gerenciamento e dados [Sherwood et al. 2010, Nikaein et al. 2015]. Como exemplo, abordagens tradicionais como *Virtual Local Area Network (VLAN)* e *MPLS* postularam-se como a tecnologia de isolamento na implementação do conceito de fatiamento de rede [Afolabi et al. 2018]. No entanto, elas foram insuficientes no provimento de programabilidade completa, isolamento a nível de plano de gerenciamento, controle e de dados para os usuários [Bastin et al. 2014] e incompatibilidade com o cenário de múltiplos domínios sobretudo nas redes de transporte.

Proposta de Intervenção. Está descrito na *release TS28.530* do *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, que fatiamento de rede no nível de transporte deveria ser realizado por orquestradores *non-3GPP*, abrindo oportunidades de investigações para comunidade científica. Assim, esta pesquisa buscou propor, construir e avaliar um orquestrador compatível simultaneamente com o *framework* de orquestração da *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* e com o *3GPP*. Dentre os avanços, destacam-se a capacidade de implantar fatias de rede sobre múltiplos Sistemas Autônomos (SAs) utilizando a tecnologia de roteamento por segmentos. Essa compatibilidade simultânea visou avançar o estado da arte com uma solução próxima das redes móveis, transporte e outros domínios tecnológicos como *data centers* transparentemente.

Posicionamento da Contribuição. A Figura 1 mostra os avanços do *Network And Slice ORchestrator (NASOR)* na perspectiva do *framework* da ETSI e do *3GPP*. Os avanços relacionados ao *framework* da ETSI, conforme Figura 1a, permitem que uma fatia de rede seja implantada desde o domínio do *data center* perpassando por múltiplos domínios administrativos e tecnológicos da Internet, sendo compatível com os Gerenciadores de Infraestrutura Virtualizadas do *Open-Source MANO*. De forma análoga, os avanços referente ao *framework* do *3GPP*, conforme Figura 1b, referem-se à atuação do orquestrador proposto como uma entidade terceira que implanta fatias de rede no âmbito do segmento de transporte das redes móveis.

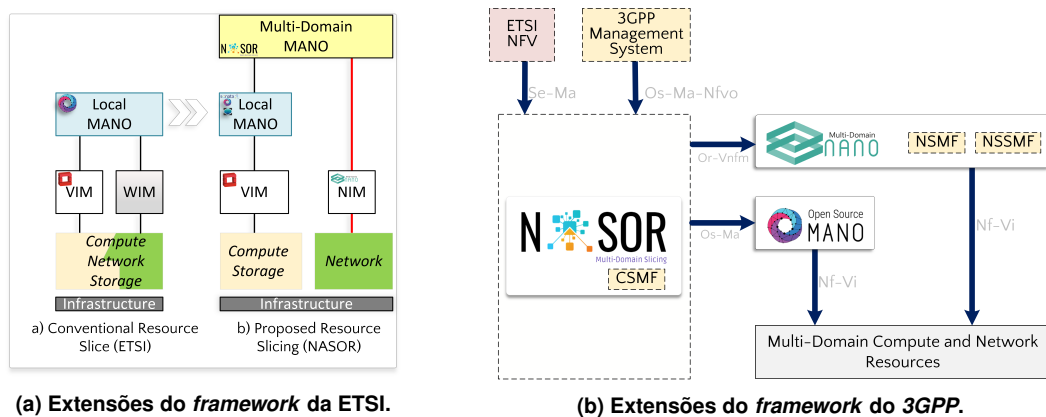


Figura 1. Contribuições do NASOR.

Desafios de Pesquisa. O provimento do fatiamento de rede em outros níveis da hierarquia das redes careciam de exploração sistemática, em especial no nível de transporte uma vez que o 3GPP deixou em aberto as tecnologias de orquestração neste nível [Basit et al. 2020, Moreira and Silva 2021]. Adicionalmente, é bem estabelecido na comunidade que o gerenciamento de recursos de rede e computação não devem ser tratados de maneira singular [Wuhib et al. 2015, Moreira et al. 2020], tratá-los de maneira integrada possibilita organizar os esforços para prover serviços mais específicos aos usuários.

Adicionalmente, os desafios inerentes ao novo formato de projeto, implementação e entrega de serviços, sob a ótica de fatias, pairam sobre a característica de múltiplos domínios, mas ainda não estão claramente resolvidos no estado da arte por diversas razões. Especialmente, porque cada domínio possui políticas e tecnologias próprias, tornando a implantação do serviço sobre múltiplos domínios desafiadora. Para lidar com esses desafios propusemos o NASOR para atuar como um Orquestrador entre múltiplos domínios que interage com orquestradores especializados de cada domínio, Network and Orchestrator (NANO), conforme a Figura 2.

Objetivos. O propósito desta pesquisa foi preencher as lacunas abertas no campo de fatiamento de rede. Para deduzir a hipótese de pesquisa foi necessário projetar, construir e avaliar um mecanismo, concebido em formato de *framework*, capaz de prover, mediante programabilidade e configurabilidade, a implantação de fatias de rede que considere o cenário de conectividade entre múltiplos SAs. Pressupôs-se que combinando tecnologias habilitadoras do estado da arte, como SDN, roteamento por segmentos, orquestradores compatíveis com a ETSI e considerando os algoritmos de roteamento da Internet, seria possível realizar o fatiamento de rede tanto para o domínio de redes móveis quanto para domínios mais genéricos.

Contribuições. As contribuições do NASOR são bidimensionais, a saber: tecnológica e científica. A contribuição tecnológica diz respeito a entrega de um *framework* de fatiamento de rede e gerenciamento de recursos para os administradores de rede¹. A contribuição científica reflete na prova, aceitação e validação por pares do método de implantação do fatias de rede entre múltiplos SAs. Esta pesquisa apresentou um dire-

¹Framework NASOR disponível em: <https://romoreira.github.io/nasor>

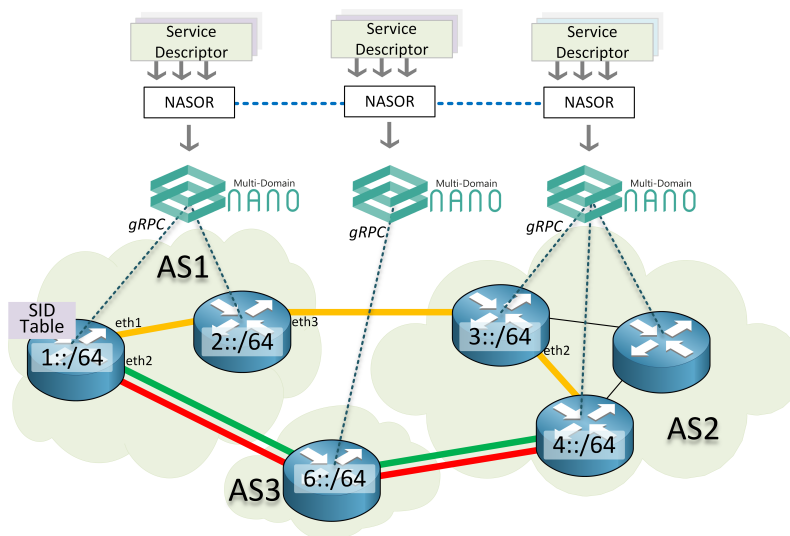


Figura 2. Atuação do NASOR na implantação de fatias de rede entre múltiplos SAs.

cionamento para a realização do fatiamento de rede recursivo sobre múltiplos SAs por meio da extensão do *framework* de gerenciamento e orquestração da ETSI. Além disso, a tese organizou as principais contribuições da literatura de forma taxonômica considerando características fundamentais na realização do fatiamento de rede.

2. Resultados

Ao longo da pesquisa, foram construídos quatro (4) *testbeds* experimentais para avaliar a aplicabilidade do *NASOR* para lidar com o fatiamento de rede entre múltiplos SAs em contraste com seus pares do estado da arte.

O Cenário Experimental 1 avaliou qualitativamente o *NASOR* quanto qualidade funcional de implantar fatias de rede entre múltiplos domínios conforme exemplificado na Figura 3. Além disso, avaliou quantitativamente a qualidade do serviço que uma aplicação específica experimenta sobre uma fatia de rede implantada pelo *NASOR*. Ao passo que o Cenário Experimental 2 avaliou qualitativamente o *NASOR* quanto sua capacidade de implantar fatias de rede com políticas que suportem requisitos específicos dos usuários. A avaliação quantitativa desse experimento objetiva medir a escalabilidade e performance de tempo do *NASOR* para implantar fatias de rede entre múltiplos SAs.

Já no Cenário Experimental 3 avaliou qualitativamente o *framework* *NASOR* quanto seu atendimento a requisitos específicos para verticais de aplicações. Avaliou-se também quantitativamente, a escalabilidade e performance do mecanismo *NASOR* para implantação de fatias de rede. Foram avaliados quais fatores e níveis mais impactam nas variáveis de resposta latência e tempo de processamento. Além disso, observou-se a escalabilidade do método e no desempenho de aplicações que rodam dentro de fatias de rede implantadas pelo *NASOR*.

No Cenário Experimental 4, avaliou-se qualitativamente a funcionalidade do *framework* *NASOR* de admitir componentes terceiros definirem o caminho e a política para se implantar uma fatia de rede entre múltiplos SAs. Nesse experimento, observou-se quantitativamente a aplicabilidade de incorporar mecanismos baseados em Inteligência

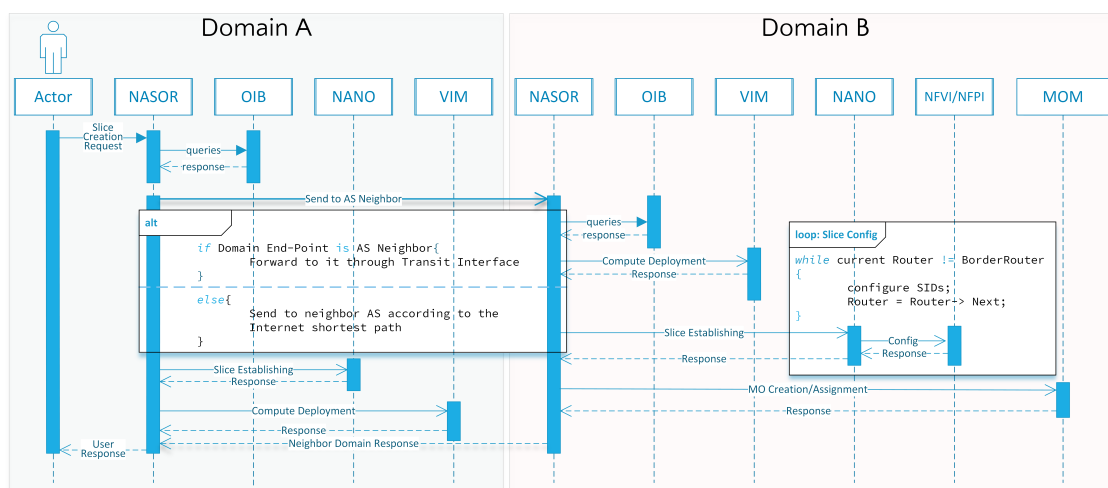


Figura 3. Interação entre entidades construídas nesta pesquisa para o estabelecimento de uma fatia de rede entre múltiplos SAs.

Artificial (IA) para determinar um caminho para a fatia de rede considerando a classe de tráfego predominante. O experimento propôs e avaliou o método *Packet Vision*² para classificar tráfego de rede baseado em aprendizado de máquina supervisionado. Além disso, o experimento busca constatar sob quais circunstâncias um mecanismo de IA pode ser incorporado ao *framework* NASOR para aprimorar o dinamismo no estabelecimento de fatias de rede.

A Tabela 1 resume os principais pontos explorados nas avaliações experimentais da pesquisa desenvolvida. A coluna “Escalabilidade” refere-se ao aspecto de o NASOR implantar exaustivamente fatias de rede sobre um *hardware* subjacente. A coluna “Implantação de Fatias de Rede” refere-se à capacidade do NASOR de implantar sobre múltiplos roteadores da Internet uma fatia de rede. Já a coluna “Orquestração multi-SA” representa a capacidade do NASOR influenciar e proceder com a implantação de fatias de rede ao longo de múltiplos SAs. “Inteligência Artificial” refere-se ao habilitador tecnológico utilizado na avaliação experimental como uma extensão das capacidades do NASOR. A “Customização da Implantação” relaciona-se com a possibilidade de customizar a implantação da fatia de rede considerando aplicações terceiras.

Cenário	Escalabilidade	Implantação de Fatias de Rede	Orquestração multi-SA	Inteligência Artificial	Customização de Implantação
#1		✓	✓		
#2	✓	✓	✓		✓
#3	✓	✓	✓		
#4				✓	✓

Tabela 1. Visão Geral dos Cenários Experimentais

Todos esses cenários experimentais exploraram o *framework* NASOR e sua prova de conceito para verificar e corroborar com as questões de pesquisa levantadas. As premissas e tecnologias habilitadores dos experimentos foram apresentadas no contexto de

²Disponível em <http://romoreira.github.io/packetvision>

cada caso de uso.

Após validar funcionalmente o *framework* NASOR, contrastando-o com seus pares na tarefa de implantação de fatias de rede sobre múltiplos SAs, verificou-se que a proposta é adequada para atuar em conjunto com padrões bem estabelecidos da indústria e com orquestradores amplamente aceitos no estado da arte. Isso abriu oportunidades para integração e implantação do NASOR em *testbeds* experimentais, redes de pesquisa e *Internet Service Providers (ISPs)* habilitados para o roteamento por segmentos.

3. Impactos

A dedução da hipótese da viabilidade funcional de fatiar recursos de rede na Internet culminou no desenvolvimento e avaliação de artefatos. Após apreciação por pares, é possível elencar os impactos científicos que estão relacionados diretamente e indiretamente com o desenvolvimento do NASOR. A seleção abaixo considerou a qualidade das publicações segundo o Novo Qualis e Fator de Impacto (*IF*) baseado no *Journal Citation Reports (JCR)* 2021:

Diretamente:

1. **Moreira, R.**, Rodrigues Moreira, L. F., de Oliveira Silva, F. “An Intelligent Network Monitoring Approach for Online Classification of Darknet Traffic”. Special Issue on Intelligent Wireless Networking, Sensing, and Communications in **Computer Communications**, Under Review. 2022. Qualis: A2, IF: 3.167.
2. **Moreira, R.**, Rosa, P. F., Aguiar, R. L. A., de Oliveira Silva, F. “NASOR: A Network Slicing Approach for Multiple Autonomous Systems”. **Computer Communications**, pp. 131-144. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.07.028> Qualis: A2, IF: 3.167.
3. **Moreira, R.**, Silva, F. D. O., Rosa, P. F., Aguiar, R. L.. “A smart network and compute-aware Orchestrator to enhance QoS on cloud-based multimedia services”. **International Journal of Grid and Utility Computing**, 2020. <https://doi.org/10.1504/ijguc.2020.103969> Qualis: B1, IF: 1.42.
4. **Moreira, R.**, Cunha, H. V., Rodrigues Moreira, L. F., de Oliveira Silva, F. “VINEVI: A Virtualized Network Vision Architecture for Smart Monitoring of Heterogeneous Applications and Infrastructures”. In **The 36-th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2022)** Qualis: A2.
5. **Moreira, R.**, Rosa, P.F., Aguiar, R.L.A., de Oliveira Silva, F. “Deploying Scalable and Stable XDP-Based Network Slices Through NASOR Framework for Low-Latency Applications”. In: **Advanced Information Networking and Applications (AINA 2021). Lecture Notes in Networks and Systems**, vol 226. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75075-6_59 Qualis: A2.
6. da Cunha, H.G.V.O., **Moreira, R.**, de Oliveira Silva, F. “A Comparative Study Between Containerization and Full-Virtualization of Virtualized Everything Functions in Edge Computing”. In: **Advanced Information Networking and Applications (AINA 2021). Lecture Notes in Networks and Systems**, vol 226. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75075-6_63 Qualis: A2.
7. **Moreira, R.**, Rodrigues, L.F., Rosa, P.F., Aguiar, R. L., de Oliveira Silva, F. “Enhancing dynamism in management and network slice establishment through deep learning”, In **International Conference on Information Networking (ICOIN)**, 2021, pp. 321-326, doi: <https://doi.org/10.1109/ICOIN50884.2021.9333872> Qualis: A3.
8. **Moreira, R.**, de Oliveira Silva, F. “Towards 6G Network Slicing”. In **Anais do I Workshop de Redes 6G**, 2021, <https://doi.org/10.5753/w6g.2021.17231>.

9. **Moreira, R.**, Rosa, P. F., Aguiar, R. L. A., de Oliveira Silva, F. “Enabling Multi-domain and End-to-End Slice Orchestration for Virtualization Everything Functions (VxFs)”. In **Advanced Information Networking and Applications (AINA)** (pp. 830–844). Springer International Publishing (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-44041-1_73. Qualis: A2.
10. **Moreira, R.**, Rodrigues, L.F., Rosa, P.F., Aguiar, R. L., de Oliveira Silva, F. “Packet Vision: a convolutional neural network approach for network traffic classification”, In **33rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)**, 2020, pp. 256-263, doi: <https://doi.org/10.1109/SIBGRAPI51738.2020.00042> Qualis: A3.
11. **Moreira, R.**, Rodrigues, L.F., Rosa, P.F., de Oliveira Silva, F. “Improving the network traffic classification using the Packet Vision approach”. In: Workshop of Computer Vision, 2020 . p. 146-151. DOI: <https://doi.org/10.5753/wvc.2020.13496>. Qualis: B4.

Indiretamente:

1. Silva, A.P., Tranoris, C., Denazis, S., Sargento, S. Pereira, J., Luís, M., **Moreira, R.**, Silva, F., Vidal, I., Nogales, B., Nejabati R., Simeonidou, D. “5GinFIRE: An end-to-end open5G vertical network function ecosystem”. **Ad Hoc Networks**, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.101895> Qualis: A1, IF: 4.111.
2. Richards, V. M., **Moreira, R.**, de Oliveira Silva, F. “Enabling the Management and Orchestration of Virtual Networking Functions on the Edge”. In **10th International Conference on Cloud Computing and Services Science (CLOSER)**. 2020, DOI: <https://doi.org/10.5220/0009398203380346> Qualis: A4.

Referências

- Afolabi, I., Taleb, T., Samdanis, K., Ksentini, A., and Flinck, H. (2018). Network Slicing and Softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 20(3):2429–2453.
- Basit, A., Qaisar, S., Ali, M., Naeem, M., Bruyere, M., and Rodrigues, J. J. P. C. (2020). Interconnecting networks with optimized service provisioning. *Telecommunication Systems*, 73(2):223–239.
- Bastin, N., Bavier, A., Blaine, J., Chen, J., Krishnan, N., Mambretti, J., McGeer, R., Ricci, R., and Watts, N. (2014). The instageni initiative: An architecture for distributed systems and advanced programmable networks. *Computer Networks*, 61:24 – 38. Special issue on Future Internet Testbeds – Part I.
- Chergui, H., Blanco, L., Garrido, L. A., Ramantas, K., Kukliński, S., Ksentini, A., and Verikoukis, C. (2021). Zero-touch ai-driven distributed management for energy-efficient 6g massive network slicing. *IEEE Network*, 35(6):43–49.
- de Foy, X. and Rahman, A. (2017). Network Slicing-3GPP use case. *Internet-Draft, IETF Trust*.
- Group, G. P. A. W. et al. (2016). View on 5G architecture. *White Paper, July*.
- Husain, S., Kunz, A., Prasad, A., Samdanis, K., and Song, J. (2018). Mobile edge computing with network resource slicing for internet-of-things. In *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pages 1–6, Singapore. IEEE.
- ITU (2011). 3001, future networks: Objectives and design goals.

- Jain, R. and Paul, S. (2013). Network virtualization and software defined networking for cloud computing: a survey. *IEEE Communications Magazine*, 51(11):24–31.
- Moreira, R. and Silva, F. (2021). Towards 6g network slicing. In *Anais do I Workshop de Redes 6G*, pages 25–30, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Moreira, R., Silva, F. D. O., Rosa, P. F., and Aguiar, R. L. (2020). A smart network and compute-aware orchestrator to enhance QoS on cloud-based multimedia services. *International Journal of Grid and Utility Computing*, 11(1):49–61.
- Nikaein, N., Schiller, E., Favraud, R., Katsalis, K., Stavropoulos, D., Alyafawi, I., Zhao, Z., Braun, T., and Korakis, T. (2015). Network store: Exploring slicing in future 5G networks. In *Proceedings of the 10th International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture, MobiArch '15*, page 8–13, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Peterson, L., Culler, D., and Anderson, T. (2002). Planetlab: A testbed for developing and deploying network services. *Technical White Paper*.
- Rost, P., Mannweiler, C., Michalopoulos, D. S., Sartori, C., Sciancalepore, V., Sastry, N., Holland, O., Tayade, S., Han, B., Bega, D., Aziz, D., and Bakker, H. (2017). Network slicing to enable scalability and flexibility in 5G mobile networks. *IEEE Communications Magazine*, 55(5):72–79.
- Sherwood, R., Gibb, G., Yap, K.-K., Appenzeller, G., Casado, M., McKeown, N., and Parulkar, G. (2010). Can the production network be the testbed? In *Proceedings of the 9th USENIX Conference on Operating Systems Design and Implementation, OSDI'10*, page 365–378, USA. USENIX Association.
- Stiemerling, M., Brunner, M., Kiesel, S., and Fu, X. (2009). TORI: User provided future networking testbeds. In *2009 IEEE International Conference on Communications Workshops*, pages 1–6, Dresden, Germany. IEEE.
- Stoller, M. H. R. R. L., Duerig, J., Guruprasad, S., Stack, T., Webb, K., and Lepreau, J. (2008). Large-scale virtualization in the emulab network testbed. In *USENIX Annual Technical Conference, Boston, MA*, Boston, MA. IEEE.
- SuÑÉ, M., Bergesio, L., Woesner, H., Rothe, T., Köpsel, A., Colle, D., Puype, B., Simeonidou, D., Nejabati, R., Channegowda, M., Kind, M., Dietz, T., Autenrieth, A., Kotronis, V., Salvadori, E., Salsano, S., Körner, M., and Sharma, S. (2014). Design and implementation of the OFELIA FP7 facility: The european OpenFlow testbed. *Computer Networks*, 61:132 – 150. Special issue on Future Internet Testbeds – Part I.
- Touch, J. D., Wang, Y. ., Pingali, V., Eggert, L., Zhou, R., and Finn, G. G. (2005). A global X-bone for network experiments. In *First International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the DEvelopment of NeTworks and COMmunities*, pages 194–203, Trento, Italy. IEEE.
- Wuhib, F., Yanggratoke, R., and Stadler, R. (2015). Allocating compute and network resources under management objectives in large-scale clouds. *Journal of Network and Systems Management*, 23(1):111–136.