

Utilização de Redes Definidas por Software em MANETs: Um Estudo Bibliométrico

Diego da S. Pereira^{1,2}, Deyvid L. Leite¹, Vicente A. de Sousa Jr.¹, Pablo J. Alsina^{1*}

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Natal – RN – Brasil

deyvidlucas@ufrn.edu.br, vicente.sousa@ufrn.edu.br, pablo@dca.ufrn.br

²Grupo de Estudos em Computação Aplicada (GECA)
Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) – Parnamirim, RN – Brasil

diego.pereira@ifrn.edu.br

Abstract. *This paper aims to present a bibliometric study that contemplates papers using Software Defined Network to optimize the Mobile Ad Hoc Networks performance. Scopus and Web of Science databases were used. The results showed that the area is recent and it has presented a great increase in the publications number in last years. Several centers have developed research, highlighting the United States and China. Among the main papers characteristics in the area are the homogeneous network composition, the VANETs are more researched, the ns-3 and OMNet++ simulators are the most adopted and the IEEE 802.11 protocols family are the most used, in especially the IEEE 802.11p.*

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo bibliométrico que contemple publicações com uso de Redes Definidas por Software para otimizar o desempenho de Redes Ad hoc Móveis. Foram utilizadas como base de dados a Scopus e a Web of Science. Os resultados mostram que a área é recente, porém apresenta um crescimento rápido no número de publicações. Diversos centros tem desenvolvido pesquisas, com destaque os Estados Unidos e China. Dentre as principais características das publicações na área destacam-se a composição homogênea da rede, as VANETs são mais pesquisadas, os simuladores ns-3 e OMNet ++ são os mais empregados e os protocolos da família IEEE 802.11 são os mais usados, em especial o IEEE 802.11p.*

1. Introdução

Rede Definida por Software (*Software-Defined Network - SDN*) é um paradigma que permite manipular e gerenciar as redes de sistemas de comunicação de uma perspectiva mais formal e com novos princípios. A partir disso, proporciona-se flexibilidade mediante a capacidade de programar a rede com base em uma visão holística de toda sua infraestrutura [Foerster et al. 2018].

De forma geral, SDN terceiriza e consolida o controle sobre os dispositivos de encaminhamento ou roteamento (localizados no plano de dados) para um controlador logicamente centralizado (localizado no plano de controle). Tal desacoplamento viabiliza a inovação e evolução do plano de controle, independente das restrições inerentes ao *hardware* do plano de dados [Foerster et al. 2018].

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A arquitetura SDN foi inicialmente apresentada para superar as desvantagens e a complexidade das redes tradicionais que possuem um alto custo para atualização e restrições na capacidade de entrega de serviços. Contudo, sua adoção em redes sem fio móveis vem se tornando uma interessante alternativa, visto a heterogeneidade das infraestruturas das redes móveis, a inflexibilidade na implantação de protocolos de roteamento e os requisitos de qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) exigidos pelas mais diversas aplicações [Alouache et al. 2019].

Como exemplo dessas redes sem fio amplamente usadas atualmente, destacam-se as MANETs (*Mobile Ad hoc Networks*) e suas subcategorias, tais como: VANETs (*Vehicular Ad hoc Networks*), AQNETs (*Aquatic Ad hoc Networks*) e FANETs (*Flying Ad hoc Networks*) [Sánchez-García et al. 2018]. Uma breve descrição sobre cada uma delas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das redes MANETs e suas subcategorias.

	Descrição
MANET	Nós sem fio móveis conectados com outros nós em uma determinada área de cobertura de forma <i>Ad hoc</i> (ausência de infraestrutura centralizada)
VANET	Rede <i>Ad hoc</i> na qual os nós móveis são veículos terrestres. A comunicação ocorre entre os veículos e RSUs (<i>Road Side Units</i>).
AQNET	Rede <i>Ad hoc</i> na qual os nós móveis são embarcações, que podem atuar na superfície ou submersas.
FANET	Rede <i>Ad hoc</i> na qual os nós móveis são aeronaves. A comunicação ocorre entre as aeronaves e, normalmente, há presença de uma estação base em terra.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento dessas áreas por meio da contabilização de publicações científicas que englobem a utilização de Redes Definidas por Software como solução para gerenciamento de redes móveis, sejam elas VANET, AQNET, FANET ou qualquer outro tipo de classificação, desde que enquadre-se nas características de uma MANET.

A organização deste trabalho está distribuída como a seguir. A Seção 2 expõe a metodologia adotada na busca por publicações nas bases de dados selecionadas. A Seção 3 apresenta e discute os resultados obtidos. Por fim, a Seção 4 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Metodologia

Para a busca de publicações científicas foram consultadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS). É importante destacar que a etapa de escolha das palavras-chave que serão consultadas é fundamental para obtenção de resultados que expressem com fidelidade a realidade acadêmica do tema.

Nesse sentido, considerando a contemporaneidade do tema e a vasta nomenclatura adotada pelos pesquisadores, foi utilizado um conjunto de expressões na obtenção desses dados. Acredita-se que a diversidade das palavras deve-se, principalmente, ao fato do tema em questão ser atual e com alto grau de inovação, o que viabiliza o surgimento de termos personalizados, conforme preferência dos diversos grupos de pesquisa.

Na etapa inicial, a estratégia adotada teve como princípio o emprego de termos mais genéricos, os quais contemplaram muitos resultados. Porém, na busca por termos mais específicos com o intuito de refinar a busca, algumas publicações foram utilizadas como referência, são elas: *Survey on IoV routing protocols: security and network architecture*

[Alouache et al. 2019], *MANET-oriented SDN: motivations, challenges, and a solution prototype* [Bellavista et al. 2018], *Services and security threats in SDN based VANETs: a survey* [Shafiq et al. 2018], *A survey on software-defined networking in vehicular ad hoc networks: challenges, applications and use cases* [Chahal et al. 2017] e *A survey on software-defined vehicular networks* [Fan and Zhang 2017].

Nas duas plataformas, com a finalidade de obter a maior quantidade de resultados, a busca foi feita levando em consideração o título, palavras-chave e *abstract* das publicações. O termo “sdn” foi utilizado em conjunto com o operador lógico AND (E) em 11 sentenças com diferentes palavras retiradas das publicações citadas anteriormente. As expressões e resultados em cada base de dados estão organizados na Tabela 2.

Tabela 2. Palavras-chave e expressões utilizadas na pesquisa.

	Estratégia de Busca	Total Parcial		Expressão Completa	Total Final	
		Scopus	WoS		Scopus	WoS
1	vehicle AND sdn	277	123	OR	368	211
2	uav AND sdn	39	17			
3	aircraft AND sdn	19	3			
4	drone AND sdn	18	8			
5	unmanned aerial vehicle AND sdn	28	15			
6	fanet AND sdn	4	3			
7	underwater vehicle AND sdn	5	4			
8	car AND sdn	31	21			
9	manet AND sdn	23	12			
10	vanet AND sdn	89	53			
11	auv AND sdn	4	1			

Na segunda etapa da busca, foi criada uma expressão global com objetivo de contemplar todas as publicações que se enquadraram no primeiro momento. A estratégia teve como base a utilização do operador lógico OR (OU) entre todas as expressões iniciais. A Tabela 3 ilustra as operações feitas para obtenção do valor total de publicações encontradas por base de dados. Como resultado final foram encontradas 368 publicações na base Scopus e 211 na WoS. Estes valores foram utilizados nas análises feitas neste trabalho. A data da consulta nas referidas base de dados foi 27 de fevereiro de 2019.

3. Resultados e Análises

As publicações encontradas na seção anterior foram agrupadas conforme algumas características com objetivo de obter um retrato da utilização de SDN em redes de dispositivos móveis. A finalidade é realizar uma análise temporal do tema, detectar as principais regiões de investimento, além de identificar quais as áreas de aplicação e técnicas empregadas nas pesquisas.

3.1. Análise Temporal

Conforme descrito na primeira seção do trabalho, Rede Definida por Software é resultado de esforços recentes que visam otimizar, principalmente, o gerenciamento das redes de comunicação. Nesse sentido, publicações nesse tema aplicadas para redes móveis ad hoc compostas por veículos, conforme as bases de dados consultadas, datam de 2014, quando foram feitas 13 (*Scopus*) e 9 (*WoS*) publicações, conforme Figura 1(a).

Destaca-se que o crescimento nos primeiros anos, 2014 à 2017, foi de aproximadamente 100% em relação ao ano imediatamente anterior, realidade presente nas duas plataformas. Além disso, os números de 2019 já são expressivos, tendo em vista que nos

dois primeiros meses do ano já foram realizadas 32 publicações na base *Scopus*, o que gera uma expectativa positiva para os números finais do corrente ano.

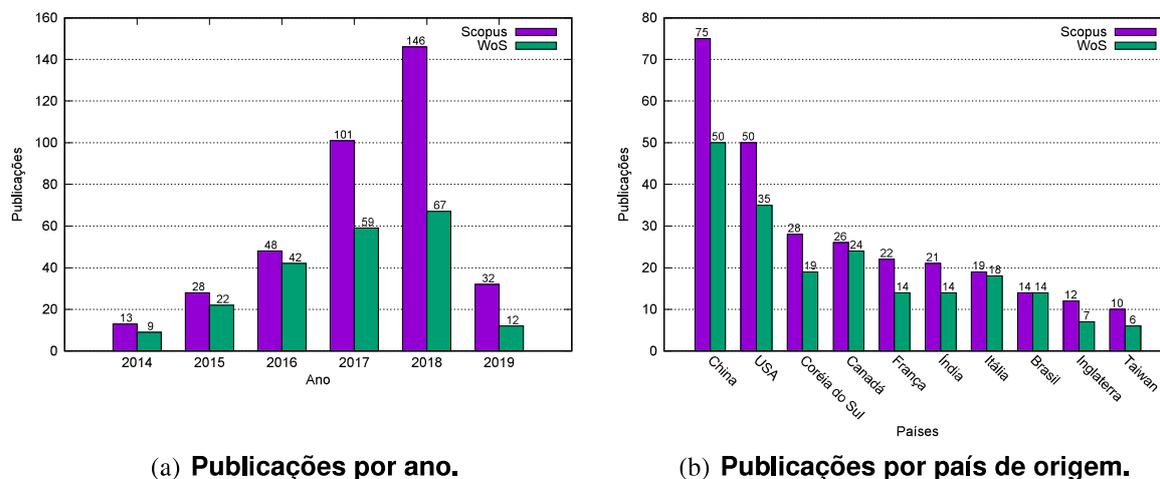


Figura 1. Publicações classificadas por ano e país de origem.

3.2. Regiões de Investimento

Os 10 países que mais publicaram nessa temática estão dispostos na Figura 1(b). A China e Estados Unidos merecem destaque, afinal suas publicações na base *Scopus* quase que totalizam as publicações dos 8 países anteriores no ranking.

Os países da região central do gráfico (Coreia do Sul, Canadá, França, Índia e Itália) tem valores próximos, a média de publicação entre eles é de 23 artigos. Isso revela interesse na área e existência de projetos em diferentes centros, o que dinamiza e instiga novas pesquisas. Outro ponto relevante é a presença do Brasil na oitava colocação com 14 publicações, um número representativo quando inserido dentro do cenário mundial.

3.3. Palavras-chave

As palavras-chave mais escolhidas pelos autores na base *Scopus* foram *Software Defined Networking*, com 95 aparições, ou seja, está presente em 25,8% das publicações, *Network Architecture*, com 94 aparições, totalizando 25,5% das publicações, e SDN com um total de 87 aparições, chegando a 23% das publicações. A segunda colocação para *Network Architecture* chama a atenção pois indica que muitas publicações estão focadas em apresentar novas arquiteturas, refletindo em um momento de descoberta na temática SDN.

Na base de dados WoS, um dos termos se repetiu, a palavra-chave SDN foi usada em 31% das publicações, somando 67 aparições. Um fator que merece destaque nessa base é a presença de palavras de outras áreas, tais como: 5G e NFV com 16 aparições cada, além de FOG *Computing* com 12 aparições, totalizando, 8,2% para cada uma das duas primeiras e 6,1% para a última. A listagem com as 10 palavras-chave mais utilizadas nas duas bases de dados é apresentada na Tabela 3.

3.4. Áreas de Aplicação

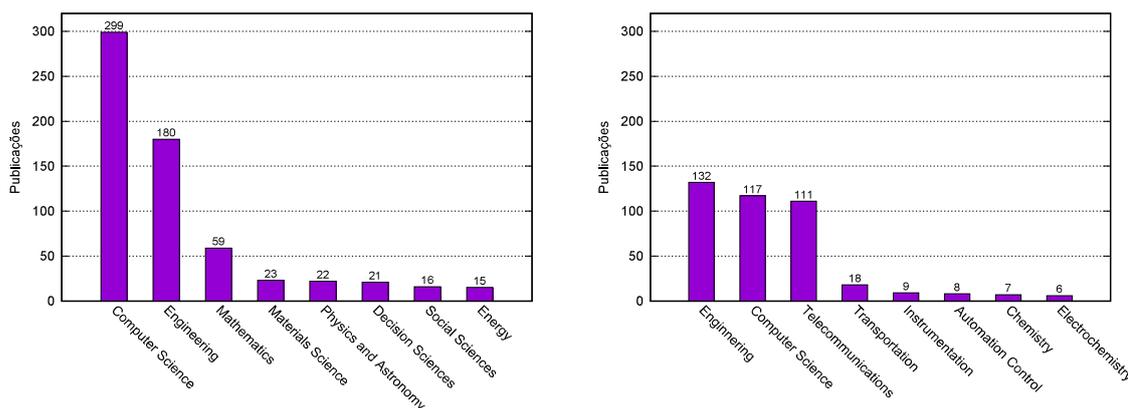
Quanto as áreas de aplicação e técnicas, os resultados foram analisados separadamente devido a utilização de critérios distintos nas duas bases de dados, ou seja, a *Scopus* e a WoS caracterizam suas áreas de pesquisa de forma diferente.

Tabela 3. Principais palavras-chave encontradas.

Scopus		Web of Science	
Palavra-chave	Quantidade	Palavra-chave	Quantidade
Software Defined Networking	95	SDN	67
Network Architecture	94	VANET	22
SDN	87	Software-defined Networking	17
Vehicular Ad Hoc Networks	86	5G	16
Software Defined Networking (SDN)	84	NFV	16
Vehicles	66	Software Defined Networking	14
Vehicle to Vehicle Communications	45	FOG Computing	12
Vehicular Networks	41	Software Defined Network	11
Mobile Telecommunication Systems	37	Cloud Computing	10
Ad Hoc Networks	32	Internet of Things	10

As áreas de aplicação, resultados apresentados na Figura 2, de Engenharia e Ciência da Computação possuem maior número de publicações. Na base *Scopus*, Ciência da Computação possui 299 publicações, enquanto Engenharia 180. Porém, na base WoS, as posições se invertem, Engenharia apresenta 132 publicações e 117 publicações estão associadas a área de Ciência da Computação. Portanto, fica evidenciado o domínio dessas áreas nas duas bases de dados.

Um fator interessante é a presença de 111 publicações na área de Telecomunicações na base WoS, Figura 2(b), que retrata uma aproximação entre essa área e a de computação. Avanços recentes nas tecnologias de transmissão estão permitindo sua inclusão em diversas aplicações móveis, extrapolando a barreiras da telefonia. Destaca-se que a ausência da área de Telecomunicações na Figura 2(a), provavelmente, incrementou os números das áreas de Ciência da Computação e Engenharia, resultando em uma diferença ampla entre as duas bases.



(a) Áreas de Pesquisa base Scopus.

(b) Áreas de Pesquisa base WoS.

Figura 2. Publicações por área de pesquisa conforme cada base de dados.

3.5. Estudo Comparativo

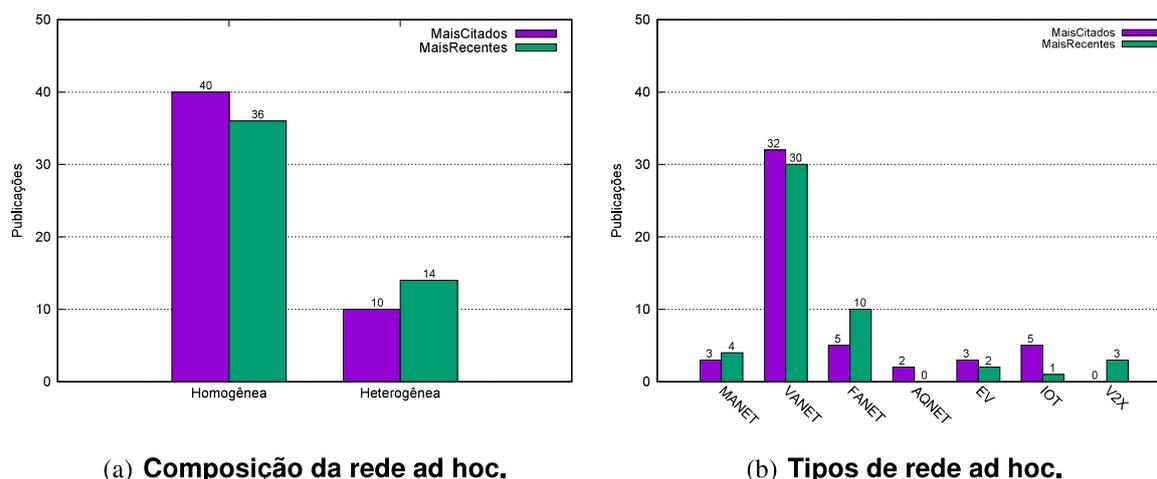
Com objetivo de realizar uma análise da situação atual do tema abordado, foi feito um estudo comparativo entre as publicações mais citadas e as mais recentes. Um total de 50 artigos de cada grupo foram consultados e agrupados conforme a composição e classificação da

rede, metodologia para geração de resultados e tecnologias adotadas. Nesta parte do trabalho apenas as publicações da base *Scopus* foram consultadas.

3.5.1. Composição e Classificação da Rede

A Figura 3(a) apresenta os resultados quanto a composição da rede. Uma rede é dita homogênea quando todos os seus nós são de uma mesma categoria (carro, aeronave, embarcação), caso contrário essa rede é chamada heterogênea. Grande parte das publicações são sobre homogêneas, o percentual para essa classificação é superior 70% nos dois grupos, embora um leve aumento seja apresentado entre as publicações mais recentes. Isso evidencia a maturidade dos estudos em redes homogêneas e um aumento de interesse em redes heterogêneas.

Já a Figura 3(b) retrata quais os tipos de redes são contemplados nas pesquisas. A subcategoria com maior número de publicações é a VANET, cerca de 60% dos trabalhos estão vinculados a redes veiculares. Deve-se, principalmente, ao investimento dos grandes centros em sistemas de prevenção de acidentes e monitoramento do trânsito na sua malha rodoviária, além dessa aplicação ser alvo dos sistemas 5G (em conjunto com as redes V2X).



(a) Composição da rede ad hoc.

(b) Tipos de rede ad hoc.

Figura 3. Publicações classificadas conforme composição e tipo da rede ad hoc.

3.5.2. Metodologia de Prototipagem

A metodologia para geração dos resultados versa sobre a estratégia adotada pelos pesquisadores para comprovação de suas pesquisas. Os resultados das pesquisas foram classificados em duas categorias: Ambiente simulado e experimental.

No primeiro caso, nota-se que grande parte das publicações apresentam algum tipo de resultado em ambiente simulado, mais de 60%, seja para o grupo dos mais citados ou dos mais recentes, Figura 4(a). Credita-se esse percentual elevado às dificuldades em criação e manutenção de *testbeds* ou, ainda, de experimentos reais, dentre alguns pontos críticos pode-se citar o alto custo para elaboração dos cenários e/ou a complexidade deles.

Já a Figura 4(b) apresenta os números para resultados experimentais. Observa-se que menos de 5% das publicações possuem resultados experimentais, revelando um nicho para futuras publicações. Como informação adicional, 11 trabalhos entre os mais citados não

possuem qualquer tipo de resultado, seja simulado ou experimental, logo tratam-se de revisões do estado da arte ou propostas iniciais. De forma semelhante, 8 trabalhos desse grupo foram encontrados entre os mais recentes.

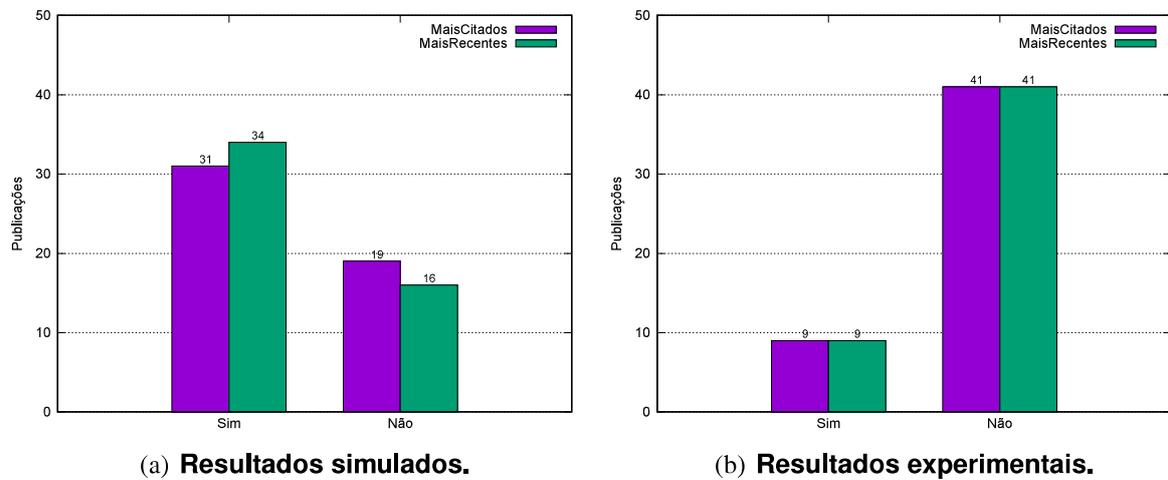


Figura 4. Publicações classificadas conforme metodologia de prototipagem.

3.5.3. Tecnologia, Simuladores e Ferramentas utilizadas

Quanto as tecnologias utilizada para comunicação entre os nós da rede (Figura 5(a)), notou-se números semelhantes entre os grupos. Entende-se que há um investimento no aprimoramento de tecnologias já utilizadas, como por exemplo, os protocolos da família IEEE 802.11, de forma específica, o IEEE 802.11p, amplamente utilizado em VANETs. Nota-se também o destaque das redes LTE e 5G no contexto de redes veiculares bem como menor interesse em pesquisas com redes WiMax e 3G.

A Figura 5(b) apresenta os simuladores utilizadas nas publicações. Dentre os simuladores destacam-se o ns-3 (*Network Simulator 3*) e o SUMO (*Simulation of Urban Mobility*). O primeiro, um simulador de rede altamente especializado e utilizado na literatura, é desenvolvido em C++ (parte também disponível em Python). Além de contar com diversos módulos, tem excelente material de documentação.

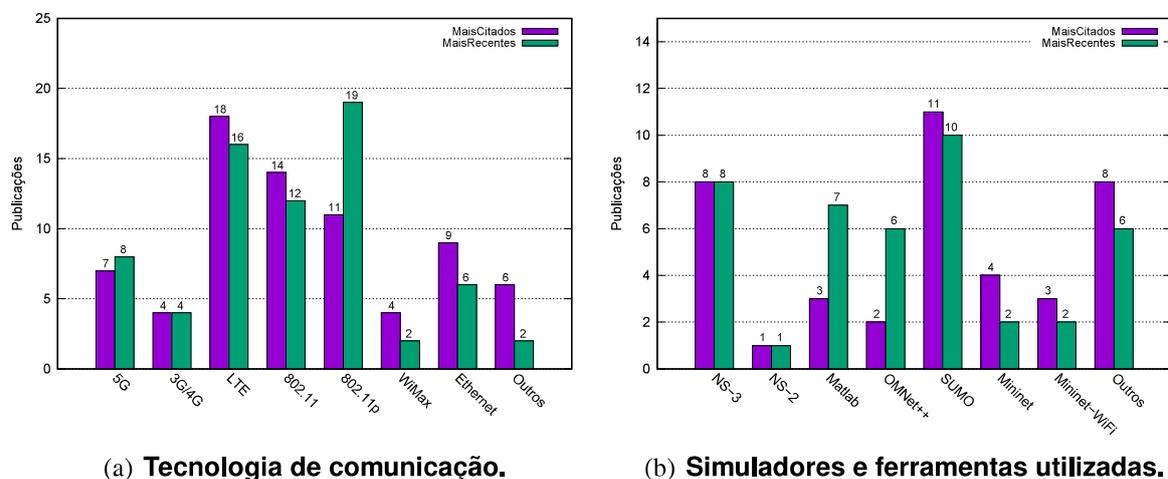


Figura 5. Classificação quanto as tecnologias, simuladores e ferramentas utilizadas.

O SUMO é utilizado para atribuir mobilidade aos nós da rede com fidelidade a terrenos reais, como por exemplo, cidades. Ele permite atribuir tipos de veículos, velocidade e comportamento, como aceleração. É a ferramenta muito utilizada para pesquisas com VANET, por isso o alto número de publicações.

Outras ferramentas de prototipagem também merecem destaque, como simuladores proprietários como o Matlab e o OMNet++. O Matlab é um software proprietário, o que pode inviabilizar algumas pesquisas devido ao seu custo. Já o OMNet++ está em expansão e assemelha-se ao ns-3, com linguagem de programação C++, gratuito e modular.

4. Conclusões

A utilização de SDN em redes ad hoc móveis ainda é um tema recente e com grande capacidade de expansão. Observou-se um grande crescimento no quantitativo de publicações nas duas bases de dados consultadas, além de apresentar grande diversidade entre os países que atuam nessa temática. Notadamente as áreas de computação e afins possuem um interesse maior em desenvolver o tema, contudo existem aplicações em diversas áreas, como transporte, automação, energia, entre outras.

Dentre as tendências da área, observou-se um grande número de trabalhos focados em VANET. Em consequência disso, as tecnologias mais utilizadas, como IEEE 802.11p, são mais encontradas nas publicações, pois estão diretamente vinculadas a redes veiculares. Outro ponto de destaque é a utilização dos simuladores ns-3 e OMNet++, aliados ao SUMO, como metodologia para geração de resultados simulados.

Os próximos passos dessa pesquisa serão o aprofundamento em cada subcategoria de MANET e o detalhamento das soluções de SDN adotadas em cada uma delas, como por exemplo, arquitetura da rede e o controlador adotado.

Referências

- Alouache, L., Nguyen, N., Aliouat, M., and Chelouah, R. (2019). Survey on iov routing protocols: Security and network architecture. *International Journal of Communication Systems*, 32(2):e3849.
- Bellavista, P., Dolci, A., and Giannelli, C. (2018). Manet-oriented sdn: motivations, challenges, and a solution prototype. In *2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, pages 14–22. IEEE.
- Chahal, M., Harit, S., Mishra, K. K., Sangaiah, A. K., and Zheng, Z. (2017). A survey on software-defined networking in vehicular ad hoc networks: Challenges, applications and use cases. *Sustainable cities and society*, 35:830–840.
- Fan, Y. and Zhang, N. (2017). A survey on software-defined vehicular networks. *Journal of Computers*, 28(4):236–244.
- Foerster, K.-T., Schmid, S., and Vissicchio, S. (2018). Survey of consistent software-defined network updates. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- Sánchez-García, J., García-Campos, J., Arzamendia, M., Reina, D., Toral, S., and Gregor, D. (2018). A survey on unmanned aerial and aquatic vehicle multi-hop networks: Wireless communications, evaluation tools and applications. *Computer Communications*, 119:43–65.
- Shafiq, H., Rehman, R. A., and Kim, B.-S. (2018). Services and security threats in sdn based vanets: A survey. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.