

Um roadmap tecnológico sobre sistemas URLLC

Daniel de L. Flor, Tarciana C. de Brito Guerra, Vicente A. de Sousa Jr.^{1*}

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

{daniel flor, tarciana brito, vicente.sousa}@ufrn.edu.br

Resumo. A chegada da quinta geração (5G) de sistemas de comunicação móveis trará uma variedade de novos serviços e aplicações para as redes celulares. Para atender as suas distintas exigências, será necessário uma mudança no paradigma de projeto das redes móveis, em especial quando se trata de serviços de missão crítica. Por isso, a Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC), que é o caso de uso do 5G que representa tais serviços, tem atraído o interesse dos pesquisadores. Este trabalho, então, propõe um levantamento bibliométrico sobre o assunto. Embora o número de trabalhos publicados ainda seja baixo, foi identificado uma tendência de crescimento no interesse tanto no meio acadêmico como no comercial.

Abstract. The arrival of the fifth generation (5G) of mobile communications systems will bring a selection of novel services and applications for cellular networks. To satisfy their different requirements, a new paradigm for the network design is required, especially when dealing with mission critical services. Hence, the Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC), the 5G use case that represents those services, has gathered attention from researchers. This paper, thus, presents a bibliometric study of the topic. Although the number of publications is still small, it was possible to identify a growing interest in these systems, both on academics and on commercial applications.

1. Introdução

A revolução tecnológica atual, também chamada de quarta revolução industrial, tem mudado a forma como as pessoas vivem, trabalham e interagem umas com as outras [Ji et al. 2018]. Tal mudança desencadeou a necessidade do surgimento de diversos novos serviços de telecomunicações, tais como veículos autônomos, cidades inteligentes, vídeos online em ultra-definição, dentre outros. Para se adequar aos requisitos específicos de cada funcionalidade, a *International Telecommunication Union* (ITU) as dividiu em três casos de uso a serem abarcados pela quinta geração de redes de comunicações móveis celulares (5G): *enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *massive Machine-type Communication* (mMTC) e *Ultra-Reliable Low-Latency Communication* (URLLC) [ITU 2015], tal qual mostrado na Figura 1.

O caso de uso URLLC, ou Comunicação Ultra-Confável e de Baixa Latência, representa um dos maiores desafios dos sistemas 5G [Bennis et al. 2018]. Esse caso engloba o conjunto de características necessárias às aplicações com missão crítica [5G Americas White Paper 2018], nas quais taxas de erro ou atrasos comumente

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

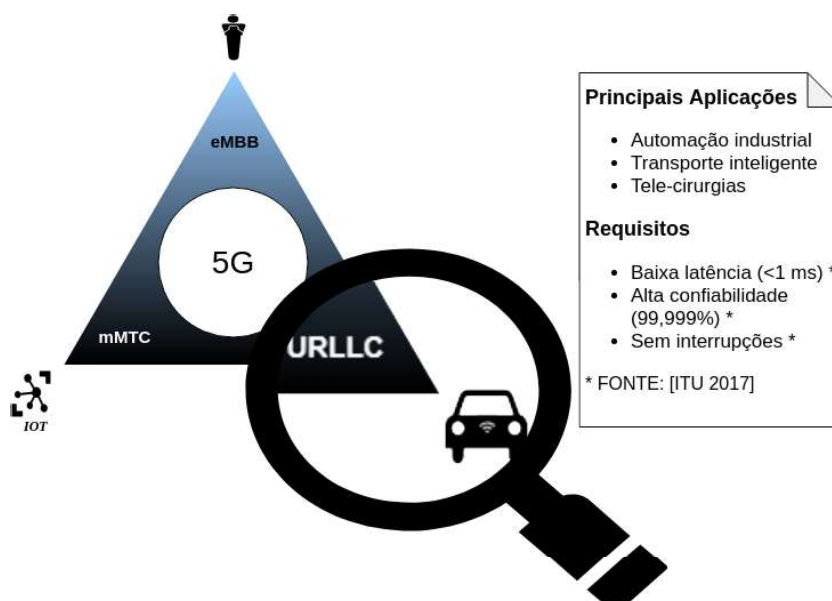


Figura 1. Requisitos e principais aplicações da URLLC. Fonte: Autoria própria.

toleráveis hoje em dia não são permitidos, sob o risco de causar altos danos ao desempenho do sistema.

Como exemplos de aplicações enquadradas como URLLC há: tele-cirurgias, nas quais o médico encontra-se em local remoto e precisa de dados atualizados sobre o estado do paciente, podendo tanto realizar uma cirurgia utilizando manipuladores robóticos, quanto fornecer, em situações de emergência, orientação à pessoa que se encontra junto ao paciente; automação industrial, que se refere à automação de processos, do sistema de energia e de outros aspectos das indústrias; e transporte inteligente, que engloba os veículos autônomos, os serviços de segurança de vias e de eficiência de tráfego, dentre outros [Chen et al. 2017].

Todas as aplicações supracitadas possuem rígidos requisitos, de acordo com a norma [ITU 2017], em termos de: latência, que deve ser inferior a 1 ms no plano de usuário; confiabilidade, que deve ser superior a 99,999% de entrega de pacotes; e continuidade (sem interrupções), tal como exposto na Figura 1. Tais requisitos geram aparente conflito sob a perspectiva das atuais tecnologias da camada física. Para reduzir a latência, normalmente se usa um tamanho de pacote menor, o que prejudica o ganho da codificação de canal, diminuindo a confiabilidade. Por outro lado, confiabilidade usualmente requer retransmissões, redundância, e outras técnicas que demandam recursos de rádio e, por conseguinte, causam um aumento na latência [Bennis et al. 2018]. Por isso, uma nova abordagem no projeto dos protocolos de camada física e camada de enlace será necessária para suprir simultaneamente todas as demandas deste caso de uso [5G Americas White Paper 2018].

Por esse motivo, a comunidade acadêmica tem mostrado interesse em investigar tecnologias e técnicas capazes de viabilizar os sistemas URLLC. A Figura 2 apresenta o resultado de uma pesquisa realizada na base de dados *Scopus* para cada caso de uso dos sistemas 5G. Nesta busca, foram selecionados artigos que continham apenas os campos *título* ou *palavras-chave* relacionadas a um caso de uso por vez, excluindo-se de cada busca os demais casos. O resultado mostra que a URLLC, por apresentar novos desafios no projeto de redes móveis, tem atraído mais o foco da comunidade acadêmica do que os demais casos de uso. Assim, este trabalho apresenta uma análise bibliométrica da URLLC incluindo artigos científicos e patentes. A análise se justifica pela necessidade de avaliar o desenvolvimento da área, bem como de mapear regiões mais produtivas e avaliar a transferência de tecnologia entre a academia e a indústria, comparando a produção de artigos e patentes.

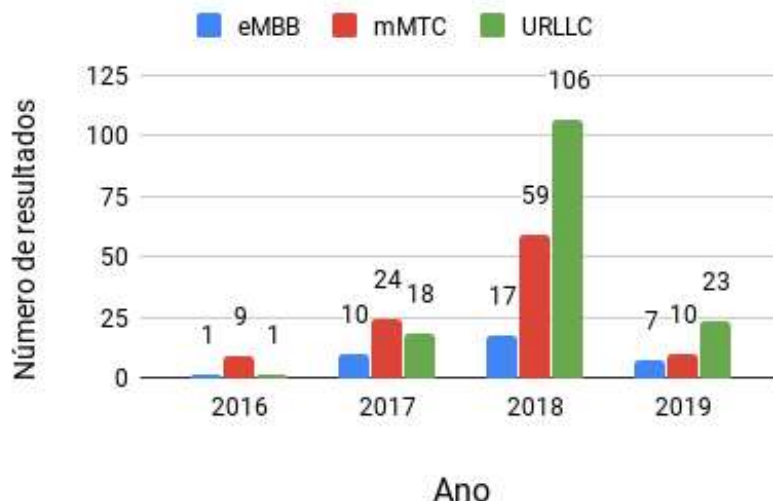


Figura 2. Número de artigos por ano para cada caso de uso dos sistemas 5G. Fonte de dados: Scopus.

O trabalho está organizado como a seguir. As Seções 2 e 3 apresentam, respectivamente, a metodologia da pesquisa e a apresentação/análise dos resultados obtidos nas diversas pesquisas realizadas. O trabalho é finalizado na Seção 4 com considerações finais.

2. Metodologia do Trabalho

Um *roadmap* tecnológico é um estudo que busca obter uma visão geral do desenvolvimento tecnológico e científico de uma certa tecnologia, técnica ou área [de Souza et al. 2018]. É uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento estratégico de uma empresa, pois demonstra a maturidade de recursos tecnológicos e identifica tendências e *players* no mercado. Também pode ser um recurso valioso no meio acadêmico, pois ressalta o interesse da comunidade científica em certos tópicos ao longo do tempo.

A primeira etapa na elaboração de um *roadmap* tecnológico consiste em um estudo da literatura para se obter um panorama geral do tema a ser trabalhado. Deve ser identificada a taxonomia usual da tecnologia, bem como os principais tópicos relacionados ao assunto. Para este fim, artigos de revisão (*survey*) e *whitepapers* são uma fonte muito rica de informações. Por exemplo, por meio da leitura de [5G Americas White Paper 2018, Chen et al. 2017], foi possível apontar quais são os termos técnicos associados a cirurgias remotas, um dos principais casos de uso da URLLC. Já em [Bennis et al. 2018], os autores destacam as principais técnicas e tecnologias que estão sendo cogitadas como viabilizadoras das comunicações de baixa latência e de alta confiabilidade. O resultado desse levantamento é ilustrado na Figura 3, que apresenta dois temas comuns na literatura (aplicações e requisitos), bem como a taxonomia associada.

Na busca por registro de patentes, foram testadas as plataformas *Scopus* e *PatentInspiration*. A primeira retornou resultados muito abrangentes, que incluíam soluções para os sistemas eMBB e mMTC. Optou-se por utilizar o levantamento feito pela base *PatentInspiration*, que permite uma busca mais minuciosa.

Após essa etapa pré-prospectiva, é definida a estratégia de busca e as palavras-chave a serem usadas. As bases de dados *Web of Science* (WoS) e *Scopus* foram utilizadas para realizar a pesquisa bibliométrica deste trabalho. Quando possível, limitou-se a pesquisa aos campos de *título* e *palavras-chave*. Isto foi feito para encontrar as publicações que realmente exploram

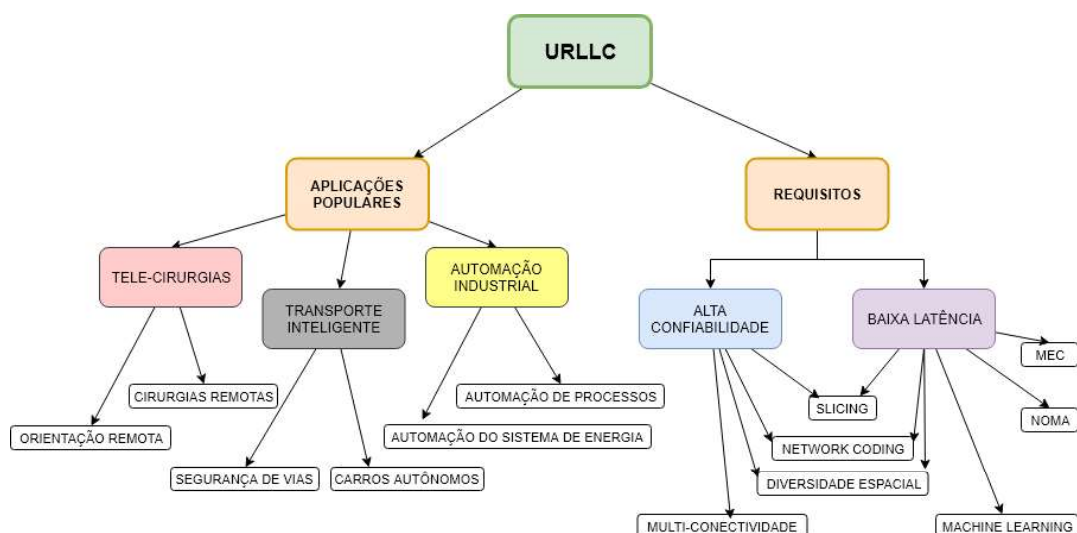


Figura 3. Taxonomia da URLLC. Fonte: Autoria própria.

algum aspecto da URLLC, não apenas a citando como caso de uso do 5G em conjunto com o eMBB e mMTC.

A busca pelas palavras chaves descritas na Tabela 1, nos campos *Keyword* e *Title* da base *Scopus*, gerou os resultados ilustrados pela Figura 2. As estratégias e palavras-chave usadas nas outras buscas são apresentadas na Seção 3.

Tabela 1. Estratégia de busca para a pesquisa sobre o casos de uso do 5G.

| Palavras-chave | Palavras excluídas da busca | Observação |
|--|-----------------------------|--|
| mmtc OR "massive machine-type communication" | embb OR urllc | Foi necessário excluir resultados irrelevantes (Ex: Trabalhos em Economia) |
| embb OR "enhanced mobile broadband" | urllc OR mmtc | Foi necessário excluir resultados irrelevantes (Ex: Trabalhos em Medicina) |
| urllc OR "ultra-reliable low latency communication" | embb OR mmtc | Não foi necessário excluir resultados irrelevantes |

3. Resultados e Análises

3.1. Análise Temporal

A primeira pesquisa realizada foi um levantamento quantitativo de artigos com foco em URLLC ao longo dos anos. Nessa busca utilizou-se ambas as bases de dados. Na *Scopus*, a busca foi limitada aos campos *Title* e *Keywords*. No *WoS* não é possível pesquisar por palavras-chave, mas sim pelo campo *Topic*, que inclui títulos, palavras-chave e resumos. A busca nesse campo gerou um resultado muito abrangente, que incluía trabalhos cujo foco não é a URLLC. Optou-se então por procurar apenas no campo *Title*. Em ambas as buscas, as palavras-chave utilizadas foram URLLC OR "ultra-reliable low-latency communication*". A Figura 4 apresenta o resultado do levantamento.

A análise do gráfico indica que a produção acadêmica sobre a URLLC ainda é muito recente, com o primeiro trabalho publicado em 2016. Porém, é possível notar o crescente interesse da comunidade científica com o tema. O número de trabalhos publicados em 2018 ultrapassa em quase seis vezes o ano anterior, para a plataforma *Scopus*. Espera-se que esse interesse continue crescente à medida que se aproxima o ano esperado para implantação das redes 5G (2020, de acordo com calendário do ITU). A pesquisa também permitiu observar que a base de dados *Scopus* obteve resultados mais abrangentes que a base *WoS*, já que esta foi

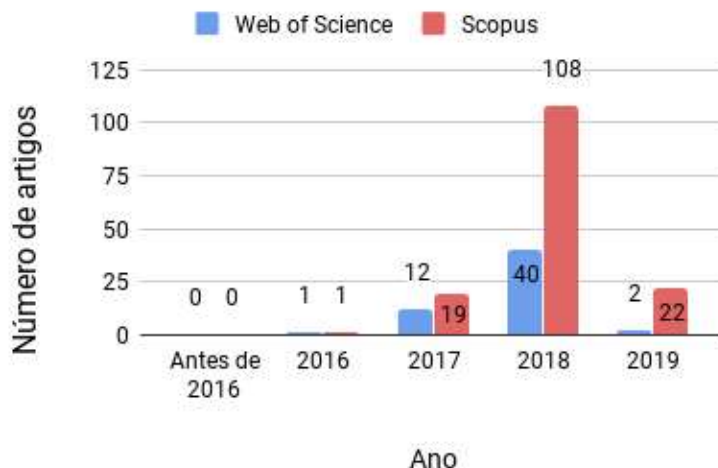
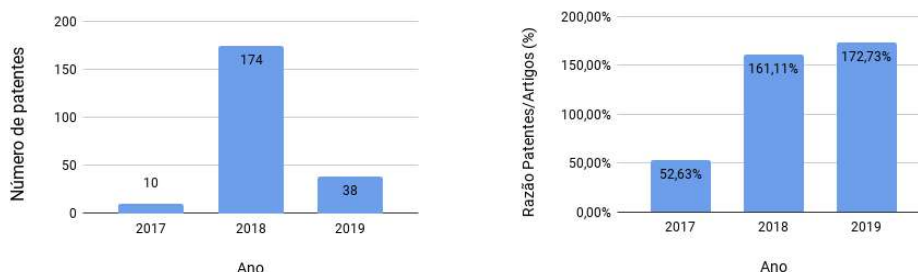


Figura 4. Número de artigos por ano. Fontes de dados: WoS e Scopus.

limitada a buscas por título. Portanto, optou-se por realizar a maior parte das demais buscas apenas na primeira base.

A Figura 5a mostra o resultado da busca por patentes na base *PatentInspiration*. A busca foi realizada nos campos *Title* e *Abstract*, de forma a limitar o escopo dos resultados às patentes focadas em URLLC. As palavras-chave utilizadas foram as mesmas da busca anterior. Já a Figura 5b apresenta a razão entre o número de pedidos de depósito de patente e o número de artigos publicados para cada ano, em porcentagem. O ano de 2016 foi omitido pois não foram identificados registros de patentes.



(a) Número de pedidos de patentes por ano.

(b) Razão entre o número de pedidos de patentes e artigos por ano.

Figura 5. Análise da maturidade tecnológica. Fontes de dados: *PatentInspiration* (registros de patentes) e *Scopus* (artigos).

Os gráficos acima mostram o interesse de pesquisadores e empresas nos sistemas URLLC, com 174 patentes publicadas apenas no ano de 2018. Apesar de ser um conceito recente, a URLLC já atraiu a atenção de empresas, com o número de patentes superando o número de artigos em 2017 e 2018. A expectativa é que essa razão continue crescendo nos anos seguintes, com a implementação desses sistemas e o investimento de pesquisadores e empresas em novas aplicações e soluções. Contudo, esse resultado mostra que a URLLC atingiu um alto nível de maturidade tecnológica em pouco tempo.

3.2. Regiões de Investimento

Após a análise temporal, realizou-se uma análise por regiões de investimento com o intuito de identificar quais nações investem em URLLC. O número de publicações por país foi

contabilizado por meio de pesquisa nas três bases de dados previamente descritas (WoS, *Scopus* e *PatentInspiration*), com os mesmos parâmetros de pesquisa da análise temporal. Os resultados são apresentados nas Figura 6 e 7, com ênfase nos 10 países com maior quantidade de artigos publicados ou patentes requeridas. Cabe ressaltar que o somatório do número de publicações ou patentes por país é maior do que o apresentado na análise temporal, já que um mesmo artigo (ou patente) pode envolver pesquisadores de diversos países.

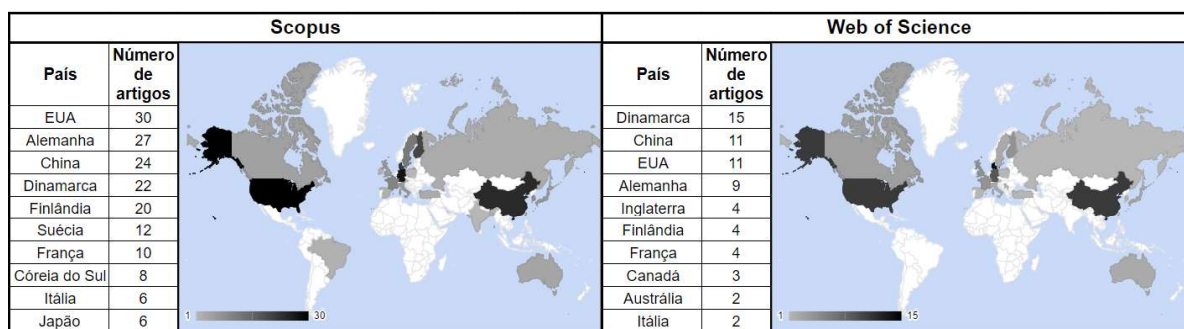


Figura 6. Número de artigos por país. Fontes de dados: *Scopus* e *WoS*.

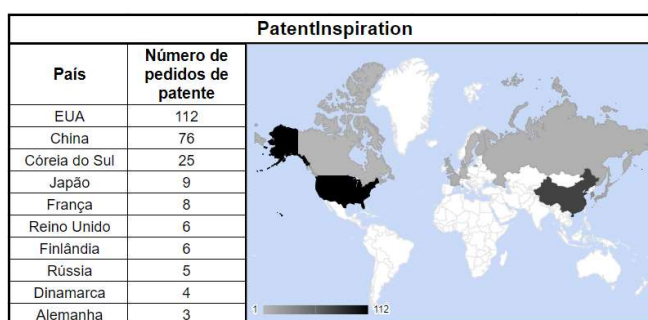


Figura 7. Número de pedidos de patente por país. Fonte de dados: *PatentInspiration*.

Como pode-se perceber pela Figura 6, EUA, Alemanha, China e Dinamarca concentram a maior parte das publicações encontradas pelas duas bases. Todavia, a análise da Figura 7 revela que os EUA produzem bem mais patentes que os demais. Já o Brasil e a América Latina, em geral, não fizeram grandes investimentos no tema.

3.3. Áreas de aplicação e tecnologias habilitadoras

A Tabela 2 apresenta a divisão dos artigos por área de conhecimento, conforme a busca na plataforma WoS. A maioria dos resultados é classificada como Telecomunicações, Engenharia Elétrica, Ciência de Computação e áreas afins. No entanto, aparecem também resultados para a área de Tecnologia de Transporte, evidenciado esta como uma das principais aplicações dos sistemas URLLC. Para verificar quais são as aplicações que mais atraíram o interesse da comunidade acadêmica, foi realizada uma busca com palavras-chave relacionadas a aplicações típicas de sistemas URLLC.

Tabela 2. Quantidade de publicações sobre URLLC por áreas de conhecimento.

| Área de conhecimento | Número de artigos | Área de conhecimento | Número de artigos |
|--|-------------------|--|-------------------|
| Telecomunicações | 50 | Ciências da Computação (métodos teóricos) | 6 |
| Engenharia Elétrica e Eletrônica | 47 | Tecnologia de Transporte | 2 |
| Ciências da Computação (sistemas de informação) | 21 | Ciências da Computação (aplicações interdisciplinares) | 1 |
| Ciências da Computação (arquitetura de hardware) | 13 | Física | 1 |

Tabela 3. Resultado da pesquisa sobre as aplicações da URLLC. Fonte de dados: Scopus.

| Aplicação da URLLC | Palavras-chave | Número de Resultados |
|---|---|----------------------|
| Transporte Inteligente | AUV OR UGV OR UAV OR "transport indust*" OR "intelligent transportation*" OR "vehicle communication*" OR V2X | 11 |
| Automação Industrial | automation* OR "smart facto*" OR "smart indust**" | 7 |
| Smart Grids/Smart Metering | "smart grid*" OR "smart meter*" OR "grid communication**" | 1 |
| Realidade Virtual (VR) e Aumentada (AR) | VR OR AR "virtual reality" OR "augmented reality" | 1 |
| Cirurgia Remota | "tele-surgery" OR "remote surgical consultation" OR "remote surgery" | 1 |

A Tabela 3, por sua vez, mostra as estratégias de busca utilizadas bem como o número de artigos encontrados. Os resultados evidenciam que as duas áreas de maior interesse são as de Transporte Inteligente e Automação Industrial. Isso possivelmente se deve ao fato de se tratarem de ramos já consolidados e que já integram diversos avanços tecnológicos no sentido de automatização e tratamento inteligente da informação. A expectativa é, portanto, que os primeiros serviços URLLC sejam implementados nessas áreas. É interessante notar que no caso de Transporte Inteligente, os países com maior número de publicações são Alemanha, Estados Unidos e Finlândia. Os dois primeiros possuem grande tradição na indústria automobilística, enquanto o segundo tem feito investimentos em mobilidade urbana e ônibus autônomos nos últimos anos.

Por fim, foi realizada uma pesquisa para identificar quais tecnologias e técnicas são visadas pelos pesquisadores como habilitadoras para a URLLC. Foram selecionados alguns termos que aparecem comumente na literatura sobre o tema, conforme descrito na Tabela 4, a qual também apresenta o resultado do levantamento. O termo que mais retornou resultados foi *Service Slicing*, que se refere a como a rede física será configurada em várias redes virtuais (*slices*) para atender os diferentes serviços propostos pelo 5G. Realizar essa configuração de forma a garantir os requisitos das aplicações enquadradas como URLLC, e simultaneamente maximizar a taxa de transmissão dos serviços eMBB, é o tema abordado por alguns dos trabalhos [Sun and Naser 2018, Tang et al. 2018].

Tabela 4. Principais técnicas e tecnologias habilitadoras do URLLC.

| Tecnologia | Palavras-chave | Número de Resultados |
|------------------------|--|----------------------|
| Service Slicing | "network slicing*" OR "service slicing*" OR "slicing algorithm**" | 16 |
| Control Channel Design | "control channel**" | 14 |
| Channel Coding | "channel coding**" | 12 |
| Grant Free Scheduling | "grant free**" | 12 |
| Machine Learning | machine learning** OR "reinforcement learning*" OR "neural network*" OR "deep learning*" OR "Q-learning*" OR "learning algorithms**" | 10 |
| NOMA | NOMA OR "Non-Orthogonal Multiple Access" | 9 |
| Mobile Edge Computing | "edge caching*" OR "edge computing*" OR "mobile edge computing**" | 8 |
| Network Coding | "network coding**" | 6 |

Os quatro termos seguintes com maior número de resultados representam técnicas tradicionais que devem ser adaptadas para o caso URLLC. O projeto do canal de controle deve ser pensando de forma a reduzir o cabeçalho adicionado, bem como a latência introduzida por processos de autenticação e associação ao sistema. Esquemas de codificação de canal estão sendo avaliados para verificar se atendem a alta confiabilidade necessária, enquanto introduzem o menor atraso possível. Diferentes algoritmos de escalonamento foram propostos para dar prioridade ao tráfego URLLC, minimizando o prejuízo causado a outros usuários na região.

É importante salientar que nenhuma dessas técnicas são mutuamente exclusivas. Técnicas de múltiplo acesso não ortogonal (NOMA), por exemplo, podem ser aplicadas para

viabilizar a coexistência de serviços eMBB e URLLC [Matera et al. 2018].

4. Conclusões

A pesquisa bibliométrica realizada neste trabalho evidenciou que o caso de uso do 5G URLLC é um tema ainda pouco explorado nas pesquisas científicas. Todavia, o crescimento significativo do número de artigos e, sobretudo, de patentes, indica um aumento vertiginoso do interesse e da maturidade tecnológica do URLLC, sendo os EUA o país que mais gerou, em geral, ativo científico referente a esse tema.

Outrossim, pode-se perceber que as aplicações do sistema ainda foram pouco exploradas no meio acadêmico. As aplicações em transporte inteligente e automação industrial vêm sendo o maior foco de interesse científico deste caso de uso, estando isto evidenciado não só pela pesquisa de aplicações, como também pela de áreas de conhecimento. Como possíveis trabalhos futuros, pretende-se aprofundar a pesquisa nestas duas áreas de aplicação, além de realizar um *survey* sobre a URLLC, englobando as tecnologias habilitadoras, casos de aplicação e os principais desafios na área.

Referências

- 5G Americas White Paper (2018). New Services & Applications with 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communications.
- Bennis, M., Debbah, M., and Poor, H. V. (2018). Ultrareliable and Low-Latency Wireless Communication: Tail, Risk, and Scale. *Proceedings of the IEEE*, 106(10):1834–1853.
- Chen, H., Abbas, R., Cheng, P., Shirvanimoghaddam, M., Hardjawana, W., Bao, W., Li, Y., and Vucetic, B. (2017). Ultra-reliable low latency cellular networks: Use cases, challenges and approaches. *CoRR*, abs/1709.00560.
- de Souza, L. B., Moura, D. F. C., and Borschiver, S. (2018). Formas de Onda e o Programa RDS-Defesa: Proposta e Resultados do Roadmap Tecnológico do LTE para Aplicações Militares. *XXXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais – SBrT2018*.
- ITU (2015). ITU-R Rec. M.2083-0: IMT Vision — Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond.
- ITU (2017). ITU-R Rep. M.2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s).
- Ji, H., Park, S., Yeo, J., Kim, Y., Lee, J., and Shim, B. (2018). Ultra-reliable and low-latency communications in 5g downlink: Physical layer aspects. *IEEE Wireless Communications*, 25(3):124–130.
- Matera, A., Kassab, R., Simeone, O., and Spagnolini, U. (2018). Non-Orthogonal eMBB-URLLC Radio Access for Cloud Radio Access Networks with Analog Fronthauling. *Entropy*, 20(9):661.
- Sun, P. and Naser, H. (2018). A Service Slicing Strategy with QoS for LTE-based Cellular Networks. In *Proceedings of the 14th ACM International Symposium on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks, Q2SWinet'18*, pages 63–69, New York, NY, USA. ACM.
- Tang, D., Hu, C., and Dang, T. (2018). Delay-Aware Resource Allocation for Network Slicing in Fog Radio Access Networks. In *2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, pages 1–6.