
HISTORICIDADE DA REDE 5G (QUINTA GERAÇÃO): APLICAÇÕES E DESAFIOS

Recebido: 31/07/24 | *Avaliado:* 01/08/24 | *Aceito:* 26/08/24

Washington Lima de Santana

Discente do curso de Engenharia de Energias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
E-mail: wtel@fsonline.com.br

Anderson Dourado Sisnando

Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia e Pós-Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
E-mail: anderson.dourado@ufrb.edu.br

Kilder Leite Ribeiro

Doutorado em Astrofísica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Mestrado em Ciências Técnicas Nucleares. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
E-mail: kilder@ufrb.edu.br

Robson Hebraico Cipriano Maniçoba

Doutorado e Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Docente da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.
E-mail: rhcmanicoba@uesb.edu.br

Alex Ferreira dos Santos

Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade São Paulo. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual de Feira de Santana.
E-mail: alex.ferreira@ufrb.edu.br

RESUMO

A tecnologia sem fio provocou mudanças na sociedade e nas formas de negócio. A evolução dos dispositivos móveis desde o sistema de comunicação analógico ao que se tem hoje de comunicação instantânea, forneceram de forma eficiente as necessidades da sociedade. No entanto, devido as novas demandas de uso de banda larga fixa e móvel, comunicação massiva de Internet, cidade e indústrias baseados na efemeridade da informação, fora exigido uma rede confiável e de baixa latência. Neste sentido, a rede 5G tem se apresentado como um facilitador na transformação digital, trazendo tecnologias e experiências inéditas. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar a rede 5G e sua nova arquitetura, demonstrando através de seus resultados as possíveis aplicações e possibilidades técnicas da nova rede, bem como, elencar os desafios a serem superados. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico nas principais bases de dados com recorte temporal entre os anos de 2019 e 2023. Os tópicos sucedem esta introdução, descrevem sobre a historicidade das redes de comunicações móveis, caracterização da rede 5G, panorama atual da nova arquitetura nos contextos global e local (Brasil), além de apresentar a aplicabilidade da rede. O estudo de revisão permitiu observar que a nova rede de quinta geração, tem o potencial de possibilitar novas aplicações e modelos de negócios que podem melhorar drasticamente a qualidade de vida em todo o mundo. Ainda que existam desafios, operadoras e empresas do ramo de tecnologia tem feito esforços para tornar a rede 5G realidade, principalmente no Brasil.

Palavras-chave: 5G. Internet das Coisas. Aplicações de Redes.

ABSTRACT

Wireless technology has brought about changes in society and business practices. The evolution of mobile devices from the analog communication system to what we have today, instant communication, has efficiently met society's needs. However, due to the new demands for the use of fixed and mobile broadband, massive internet communication, and cities and industries based on the ephemerality of information, a reliable and low latency network was required. In this sense, the 5G network has presented itself as a facilitator in digital transformation, bringing new technologies and experiences. Therefore, this work aims to analyze the 5G network and its new architecture, demonstrating through its results the possible applications and technical possibilities of the new network, as well as listing the challenges to be overcome. To this end, a bibliographical survey was carried out in the main databases with a time frame between the years 2019 and 2023. The topics follow this introduction, describing the historicity of mobile communications networks, characterization of the 5G network, current panorama of the new architecture in global and local contexts (Brazil), in addition to presenting the applicability of the network. The review study made it possible to observe that the new fifth generation network has the potential to enable new applications and business models that can drastically improve the quality of life around the world. Even though there are challenges, operators and technology companies have made efforts to make the 5G network a reality, especially in Brazil.

Keywords: 5G. Internet of Things. Network Applications.

1 INTRODUÇÃO

Em uma década de conectividade, de maior velocidade de transferência de dados e de máquinas mais sofisticadas, cria-se uma clara tendência do aumento contínuo da quantidade de dispositivos móveis e da quantidade de dados que estes consomem. A previsão é que em 2025 esse número cresça mais 20 bilhões (GARCIA E SILVA; MARQUES, 2019).

O início dos sistemas de comunicação se deu por volta da década de 1960, durante a Guerra Fria (1947-1991), quando o Departamento de Defesa Norte-Americano propusera um sistema descentralizado de comunicação com o objetivo de resistir, caso houvesse ataque. Assim, a Agência de projetos de pesquisa avançada (*Advanced Research Projects Agency – ARPA*) criou a ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*). No final da referida década, através do protocolo de conexão da ARPANET, denominado de Protocolo de controle de rede (*Network Control Protocol – NCP*), os usuários já conseguiam o acesso a dispositivos e computadores remotamente, com transmissão de arquivos. Por ser uma rede de comunicação aberta, usada para fins científicos e militares, a ARPANET se popularizou, evidenciando também suas fragilidades e provocando o surgimento de protocolos mais eficazes como o *Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)* (SHANTAF *et al.*, 2023; TRONCO, 2010).

Na década de 1980, a primeira geração (1G) de redes móveis permitiu a comunicação de voz em redes móveis analógicas por meio das ligações sem fio através de um aparelho telefônico. No entanto, o Sistema avançado de telefonia móvel (*Advanced Mobile Phone System – AMPS*) apresentava instabilidades e interferências, além de atender uma quantidade limitada de usuários e possuir problemas de estrutura. Problemas como a falta de segurança e questões econômicas tornaram o padrão inviável (FRAUENDORF; ALMEIDA DE SOUZA, 2022).

A segunda geração (1990), chamada de 2G, trouxe novas ferramentas, transformando o que antes era analógico em digital. Os primeiros sistemas, introduziram os serviços de voz digital, mensagens de texto e dados com operações básicas na Internet. Este avanço tecnológico proporcionou um aumento expressivo no uso de telefones celulares, os quais ganharam um design mais moderno, visores com cor, menor peso e o envio de mensagens, fotos e vídeos através do Serviço de Mensagens Curtas (*Short Message Service – SMS*). Além disso, o sistema de segurança se tornou mais confiável com a inclusão da criptografia digital (WEI *et al.*, 2014).

A partir de 2001, a terceira geração (3G) provocou grandes mudanças para o setor de telecomunicações móveis. A tecnologia propiciou uma taxa de transmissão de dados mais rápida e a solidificação de serviços de Internet móvel. Levando-se em consideração as

proporções territoriais do Brasil, o 3G conseguiu suprir as necessidades de conectividade da população durante os anos 2000, tornando-se uma tecnologia acessível por se conectar com mais de 90% da população (FRAUENDORF; ALMEIDA DE SOUZA, 2022). Uma década após o surgimento do 3G, a quarta geração (4G) incrementou as características e funcionalidades da geração anterior, aumentando a capacidade de transferência de dados e a popularização do uso de recursos multimídia, ampliando a possibilidade de uso de serviços de streaming de vídeos, músicas e videochamadas (WEI *et al.*, 2014).

O objetivo da evolução das redes é o aumento da velocidade de transmissão de dados. A tecnologia 5G marca a próxima geração de redes móveis e representa uma revolução em vários aspectos, com requisitos como transportar uma grande quantidade de dados em menor tempo, conectar com segurança um número extremamente grande de dispositivos e processar grandes volumes de dados com o mínimo de atraso. A proposta da quinta geração vai muito além do aumento do volume de transferência de dados, inclui, na verdade, flexibilidade e capacidade para suportar grandes inovações tecnológicas, como computação em nuvem, cidades inteligentes “smart cities”, carros autônomos, vídeos 3D, serviços médicos remotos, realidade virtual e aumentada e a internet das coisas (ALÉN-SAVIKKO, 2019).

A tecnologia 5G chega ao Brasil com o propósito de transformar as formas de interação e conectividade nas operações em todos os setores da economia, através da entrega de um número maior de funcionalidades e serviços com maior agilidade e, conseqüentemente, capacidade de promover maior produtividade na indústria nacional (FERNANDES *et al.*, 2023). As características apresentadas pelo 5G gerou e gera grandes expectativas nas possibilidades de seu uso. A maior velocidade na banda larga móvel em comparação com o 4G; a utilização das redes em malha 5G, na qual se pensa em um maior volume de conexões, fazendo com que um aparelho se conecte com outro, o que encadeia uma melhor rede, como observa-se em interfaceamento de sistemas ou Redes *Mesch*. Além da baixa latência do 5G, quando as redes garantem respostas rápidas para suas aplicações e o fatiamento de rede (*Network Slicing*), que garantirá a personalização dos serviços de Internet, o suporte, o isolamento e a multilocação das redes físicas comuns (SPADINGER, 2024).

Relatos de sucesso vêm sendo comuns entre os usuários dessas tecnologias. Shao (2020), propõem uma estrutura de sistema de *Edge Computing (Internet of Vehicular – EC-IoV)* habilitada para 5G para melhorar o desempenho do sistema EC-IoV já existente. O descarregamento computacional específico no sistema EC-IoV habilitado para 5G foi apresentado em três casos diferentes, e por meio destes, dois modos de comunicação são concluídos demonstrando o desempenho do sistema proposto através da avaliação e

comparação com o sistema existente. O projeto 5G Rural *First* realizou desde o plantio até a colheita com sucesso, utilizando tratores autônomos para semear, drones para monitorar plantações e máquinas para aplicar água, fertilizantes e defensivos agrícolas, todas as etapas foram realizadas por máquinas sem entrar nenhum trabalhador no campo (TANG *et al.*, 2021). Esses exemplos mostram que a tecnologia 5G já é realidade, no entanto deve passar por novas reestruturações em prol de melhorias e evoluções.

Tebe *et al.* (2022) propõem em seu artigo um sistema hospitalar móvel baseado em fatiamento de rede 5G, onde dois tipos de fatias, a saber, fatia de banda larga móvel aprimorada (*enhanced Mobile Broadband – eMBB*) e fatia de comunicações ultra confiáveis e de baixa latência (*ultra Reliable Low Latency Communications – uRLLC*), são dedicadas aos dados médicos. Os autores idealizaram um método de otimização para maximizar o rendimento dos dados médicos atribuídos à fatia eMBB. Também é proposto um algoritmo de alocação de recursos para confiabilidade de transmissão muito alta com latência muito baixa dos dados médicos atribuídos à fatia uRLLC. Os resultados da simulação indicam que nossa abordagem proposta pode atender com eficácia aos requisitos de sistemas hospitalares móveis para taxa de transferência de dados, confiabilidade e latência de locais remotos para centros hospitalares.

De maneira geral, a rede 5G pode ser definida e caracterizada por suas aplicações, as quais são divididas em três categorias: banda larga veloz, comunicação confiável e segura; e comunicação em massa (*Machine type communications – MTC*). (SPADINGER, 2024). A tecnologia 5G já é realidade, no entanto, devido a evolução que traz consigo, enfrenta dificuldades de popularização e utilização de forma homogênea. Essas lacunas a serem preenchidas e melhoradas aumentam o interesse de estudos acadêmicos e indústrias (Mistry *et al.*, 2020).

Neste sentido, o presente trabalho busca analisar a rede 5G e sua nova arquitetura, demonstrando através de seus resultados as possíveis aplicações e possibilidades técnicas da nova rede, bem como, elencar os desafios a serem superados. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico nas principais bases de dados com recorte temporal entre os anos de 2019 e 2023. Os tópicos sucedem esta introdução, descrevem na fundamentação teórica sobre o panorama atual da nova arquitetura nos contextos global e local (Brasil), além de apresentar a aplicabilidade da rede.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A tecnologia de quinta geração (5G) das redes de telecomunicações tem enorme potencial de transformação econômica e digital. O tema 5G está associado diretamente a questões geopolíticas e geoeconômicas, as quais se relacionam a capacidade de cobertura, sendo essa uma das medidas mais importantes da experiência móvel, uma vez que os utilizadores precisam de poder ligar-se a serviços móveis nos locais que visitam. O relatório elaborado pela Opensignal, denominado “Experiência de Cobertura da Opensignal” mede a cobertura geográfica de áreas povoadas em uma escala de 10 pontos para representar a experiência que os usuários recebem enquanto viajam por áreas onde razoavelmente esperariam encontrar cobertura.

Segundo o referido relatório, os dados de desenvolvimento global são combinados com a Experiência de Cobertura (Figura 1) para mostrar como os aspectos geográficos e econômicos do mercado podem afetar a experiência dos utilizadores. A experiência de cobertura 4G mostra que muitos mercados têm pontuações quase perfeitas, indicando a maturidade da tecnologia. No entanto, as pontuações da experiência de cobertura 5G são mais baixas, com os mercados dos EUA e da Ásia-Pacífico (APAC) na liderança. Os dados mostram que existem correlações entre a Experiência de Cobertura 5G e tanto o grau de urbanização como o Rendimento Nacional Bruto (RNB) per capita do mercado, destacando o efeito que os fatores econômicos e geográficos podem ter na Experiência de Cobertura.

De acordo com a Figura 1, a Coreia do Sul e os EUA têm uma pontuação relativamente alta em Experiência de Cobertura 5G – com os EUA empatando estatisticamente no primeiro lugar com Singapura. Isto deve-se, em parte, à implementação mais generalizada de 5G nos EUA em bandas de baixa frequência, permitindo um maior alcance geográfico em comparação com muitos outros mercados com grandes áreas terrestres.

Figura 1 - Representando a experiência de cobertura por país

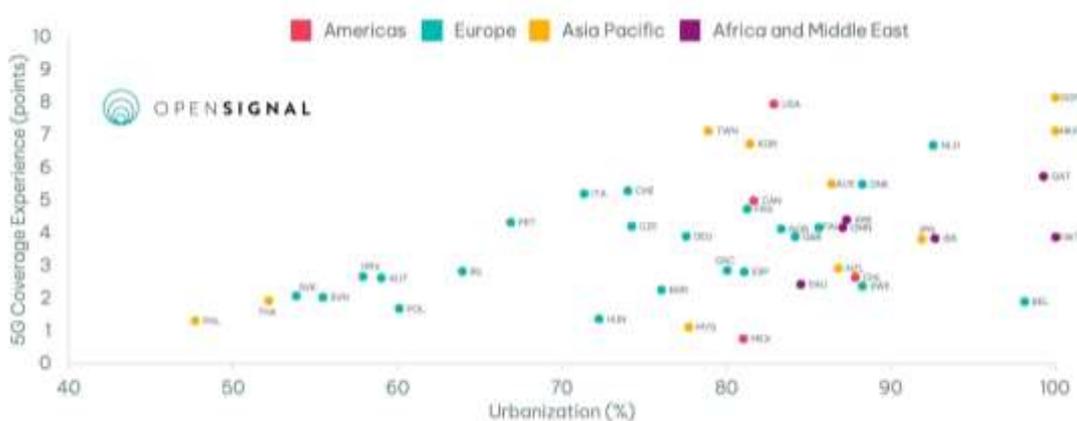


Source: © Opensignal Ltd 2023 | 43 selected 5G markets listed

Fonte: Opensignal (2023).

Uma percentagem mais elevada de urbanização num mercado significa que, mantendo-se todos os restantes fatores iguais, os operadores são capazes de servir proporcionalmente mais utilizadores com o mesmo número de estações base, o que se reflete numa maior experiência de cobertura 5G nesses mercados. A Figura 2 mostra que a pontuação aumenta junto com a percentagem de urbanização, com os mercados abaixo de 65% lutando para pontuar acima de três pontos. Alguns mercados, como Singapura e Hong Kong, têm quase 100% da sua população a viver em áreas urbanas. Isto beneficia-os enormemente quando se trata de implementar infraestrutura para 5G.

Figura 2 - Experiência de cobertura em 5G de acordo com a urbanização (global)



Source: © Opensignal Ltd 2023 | 43 selected 5G markets listed | urbanization data from worldbank.org

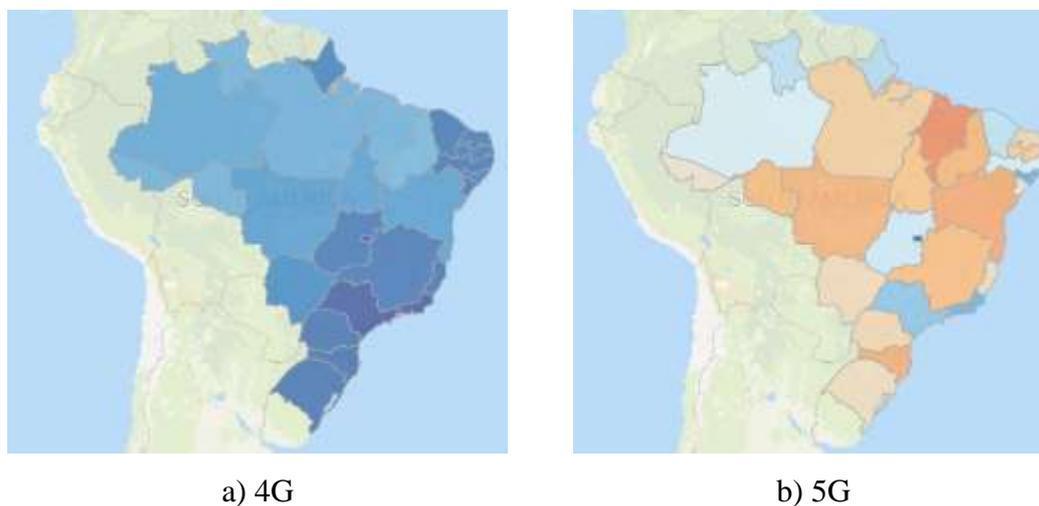
Fonte: Opensignal (2023).

O cenário de tecnologia de rede no Brasil possui aspectos similares a países em desenvolvimento. Alguns aspectos como concentração de renda, diferenças entre regiões e desigualdades sociais, são características importantes quando se trata de políticas públicas nacionais e que impactam no desenvolvimento de novas tecnologias.

Segundo a Anatel, todos os municípios brasileiros possuem acesso à telefonia móvel, o que não significa que suas áreas urbanas são totalmente cobertas, no entanto 92,44% do território possui sinal 3G ou 4G (Figura 3a). As cores demonstram que quanto mais próximo da cor azul mais forte, mais perto da conectividade em 100% a região está. A tecnologia 4G, por sua vez, já está em operação em 5.565 dos 5.570 municípios brasileiros e, segundo a Associação Brasileira de Telecomunicações (Telebrasil), a tecnologia está disponível a 99,6% da população brasileira. O 4G permite maior velocidade de navegação na internet, com até 100 megabits por segundo (Mbps) de download, tendo as primeiras antenas instaladas em 2013 nas cidades que receberam a Copa das Confederações.

Dados do mesmo período demonstram bom desempenho das instalações da rede 5G no território brasileiro, conforme apresentado pela ANATEL na Figura 3b. As cores demonstram que quanto mais próximo da cor azul, mais perto da conectividade em 100% a região está.

Figura 3 - Mapa de conectividade no Brasil



Fonte: Anatel (2023).

3 METODOLOGIA

Com o intuito de abordar os principais desafios e as principais aplicações do 5G e, em consequência, seus impactos na sociedade, este estudo faz uma abordagem qualitativa ao tema proposto, podendo também ser definido como pesquisa exploratória. Busca-se responder às

seguintes perguntas: “Quais são os principais desafios no processo de implementação da rede 5G? Quais impactos da rede 5G na sociedade? Quais as principais áreas de aplicação da rede 5G, reais e com prospecção?”

Quanto aos seus objetivos, de acordo com Gil (2008) e Mazucato (2018) essa pesquisa foi classificada como descritiva-exploratória, pois visou avaliar o potencial de aplicação e impacto da rede 5G na sociedade a qual será beneficiada. A pesquisa bibliográfica foi a forma de obtenção de dados sobre as áreas em que a rede 5G possui aplicabilidade. Para tanto, as fontes de pesquisas recorridas consistiram em artigos da de dados Google Acadêmico, Emerald insight, IEEE, Taylor&Francis, Science Direct; fazendo um recorte temporal entre os anos de 2019 a 2023.

As palavras-chaves utilizadas na busca bibliográfica incluíram: (“5G”) OR (“fifth generation”) AND (“connectivity”) OR (“technology”) AND (“Application”) AND (“challenge”). A escolha destas, além de servir de base para a construção do referencial teórico, propuseram a ligação entre a tecnologia e as demandas intrínsecas da sociedade. Os critérios para escolha dos artigos selecionados foram: serem trabalhos redigidos nas línguas portuguesa, inglesa ou espanhola; serem documentos classificados como artigo, revisão ou revisão de conferência e; abordarem a temática da rede 5G em estudos de caso.

Para isso, suas etapas de desenvolvimento foram divididas em: (a) definição do tema; (b) construção das hipóteses; (c) definição dos critérios; (d) definição das palavras-chave; (e) definição das bases de dados; (f) levantamento dos artigos nas bases de dados usando as palavras-chave; (g) seleção de documentos de acordo com os critérios; (h) extração da literatura selecionada; (i) seleção e preenchimento das perguntas que respondem ao problema levantado, após leitura dos resumos e introdução dos artigos. As etapas realizadas estão dispostas na Figura 4.

A pesquisa nas bases de dados escolhidas, foi realizada nos meses de novembro e dezembro de 2023, obtendo um total de 4838 artigos, os quais subdividem-se nas respectivas quantidades por base de dados, conforme demonstrado na Tabela 1.

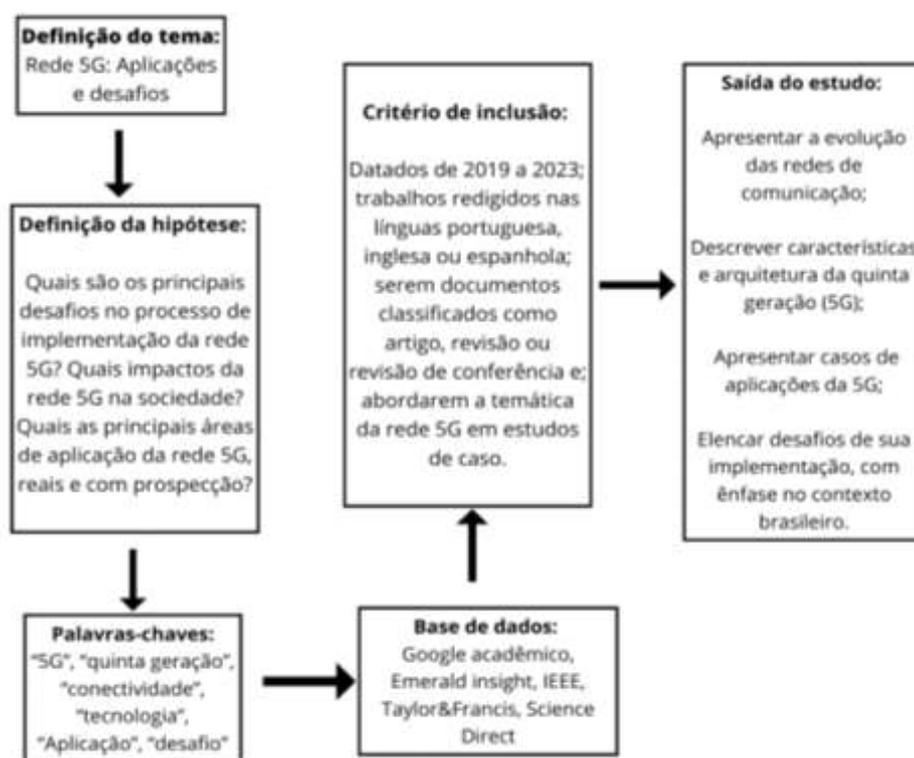
Durante a seleção de artigos, para além dos critérios citados anteriormente, foram excluídos artigos de acesso fechado (revistas pagas), e que não se referiam a aplicação e desafios relacionados a rede 5G. Assim, apenas 15 foram efetivamente utilizados para a construção do resultado.

Tabela 1 - Quantidade de artigos encontrados

	Base de Dados		
	Primeira busca	Artigos de revisão	Após leitura do título e resumo
Google acadêmico	287	80	9
Emerald insight	6000	4683	4
IEEE explorer	7833	56	12
Taylor & Francis	26	19	1
Science Direct	0	0	0
Total	14146	4838	26

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 4 - Fluxograma com as etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração própria (2024).

4 RESULTADOS

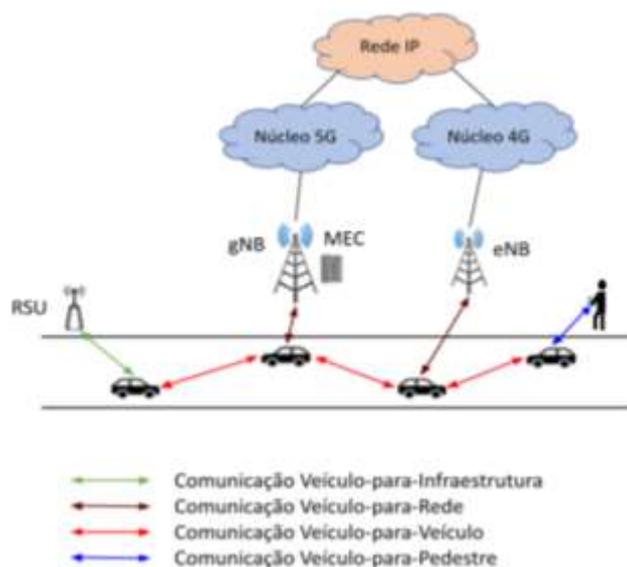
4.1 APLICAÇÕES DA REDE 5G

4.1.1 Internet dos Veículos (*Internet of Vehicles – IoV*)

A Internet dos veículos é uma área de pesquisa destinada a integração das redes *Ad Hoc Veiculares – Vehicular Ad Hoc Networks* (VANETs) e a Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), contribuindo diretamente com os Sistemas de Transporte Inteligentes no desenvolvimento das Cidades Inteligentes. Essa integração adiciona novas capacidades às VANETs e amplia o ecossistema da comunicação entre veículos, proporcionando mais segurança para pedestres e veículos, economia de combustível, controle do tráfego e prevenção de colisões. No ecossistema IoV, a existência de dispositivos distintos gerando dados com estruturas diversas promove a coexistência de diferentes tecnologias de comunicação com o mesmo objetivo: garantir que o usuário possa utilizar os serviços disponíveis com segurança, conforto e eficiência, mantendo a privacidade dos dados trocados pelas entidades da rede (AGBAJE *et al.*, 2022).

A IoV estabelece que o veículo inteligente é capaz de se comunicar diretamente com os outros dispositivos integrantes da rede veicular, por meio do novo conceito de comunicação chamado Veículo-para-Tudo (*Vehicle-to-Everything – V2X*). Especificamente, o conceito de V2X engloba a capacidade do veículo se comunicar diretamente: com outros veículos, por intermédio da comunicação Veículo-para-Veículo; com dispositivos móveis de pedestres, mediante a comunicação Veículo-para-Pedestre; com a infraestrutura fixa na beira de estradas, com o uso da comunicação Veículo-para-Infraestrutura; ou com a infraestrutura da rede celular, através da comunicação Veículo-para-Rede, conforme ilustrado na Figura 5 (SEHLA *et al.*, 2022).

Figura 5 - Ecossistema da IoV



Fonte: SOTO *et al.*, 2022.

Para que a IoV se torne possível, é necessário a atuação de duas tecnologias, a tecnologia WiFi e a tecnologia celular (*Cellular Vehicle to Everything*). A tecnologia WiFi se baseia na comunicação sem fio para o envio ou recepção de mensagens e dados entre os dispositivos, necessitando de uma infraestrutura de comunicação em ruas e estradas, ou comunicação par a par entre veículos. Já a tecnologia celular, se baseia no uso da infraestrutura celular para habilitar as comunicações V2X (AGBAJE *et al.*, 2022).

Dentre as aplicações da Internet de veículos, destacam-se: o uso da direção cooperativa entre Veículos em Pelotão (*Vehicle Platooning*); a Direção Avançada (*Advanced Driving*), e a Direção Remota (*Remote Driving*). Na direção cooperativa entre Veículos em Pelotão, ou Veículos em Grupo, os veículos trafegam cooperativamente, proporcionando mais eficiência no trânsito à medida que reduzem a distância entre os outros veículos de seu pelotão e aumentam a velocidade de deslocamento, sem comprometer a segurança do trânsito. Já a Direção Avançada habilita a condução de veículos semiautomáticos, ou completamente automáticos, através do compartilhamento de dados coletados de dispositivos de beira de estrada ou de outros veículos, o que possibilita a coordenação da trajetória ou de manobras (por exemplo, conversão à direita/esquerda, estacionamento). Na Direção Remota, um motorista ou uma aplicação V2X controla um veículo remotamente, principalmente em ambientes que representem perigo para humanos, e em casos em que as trajetórias possuem poucas variações (por exemplo, transporte público) é habilitado o uso da condução baseada em nuvem (SEHLA *et al.*, 2022).

4.1.2 Veículos Aéreos não Tripulados (*Unmanned Aerial Vehicle – UaV*)

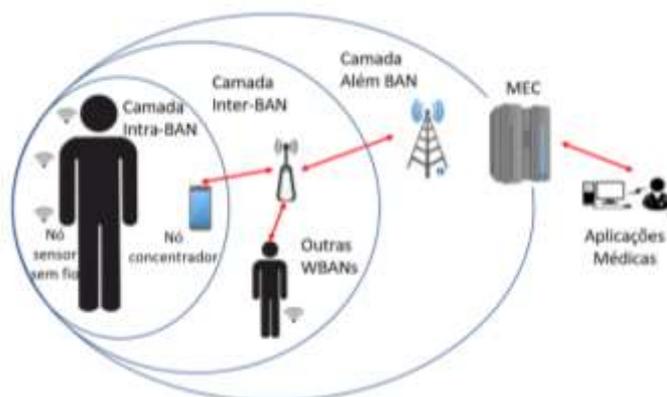
O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados, a exemplo dos drones; tem ganhado destaque em diversos setores da sociedade, tendo em vista que estes veículos podem realizar uma série de tarefas devido à sua versatilidade, mobilidade e baixa altitude de operação. Um UAV é um dispositivo voador inteligente que possui uma unidade de processamento, sensores que auxiliam a navegação e movimentação, uma fonte energética (por exemplo, bateria, combustível), dispositivos de comunicação e mecanismos de voo. Ele é capaz de se movimentar cooperativamente em grupo ou isolado, se comunicando com as estações de controle para troca de dados e recepção e/ou sinalização de comandos (FOTOUHI *et al.*, 2019).

4.1.3 Aplicações de e-Health

Com a pandemia de COVID-19 (2019-2021), novas tecnologias médicas foram impulsionadas, em especial, as que facilitaram as medidas de distanciamento e isolamento social. Neste sentido, as aplicações e-Health tiveram destaque no período, remodelaram as interações interpessoais através de sensores inteligentes e das Redes de Sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks – WSNs*), para o acompanhamento remoto de sinais vitais e da recuperação do paciente é primordial para o controle da disseminação de doenças. Em especial, as Redes Corporais sem fio (*Wireless Body Area Networks – WBANs*) são responsáveis pela coleta dos sinais vitais, emoções e hábitos de pacientes e pelo envio dos dados ao corpo clínico para acompanhamento e prescrição de tratamentos (SANTOS *et al.*, 2020).

A aplicação mais frequente é o uso de sensores com baixo consumo de energia para monitoramento de sinais vitais do paciente, através da comunicação Intra-BAN. O grande volume de dados é enviado pela Internet para serem processados, com o intuito da equipe médica que acompanha o estado de saúde do paciente e propõe tratamentos necessários. Com a proliferação das redes de área corporal sem fio (*Wireless Body Área Network – WBAN*), o volume de dados a serem processados se torna imensurável e as redes 5G com o paradigma MEC (Computação de Borda de Múltiplo Acesso) podem ofertar recursos computacionais sob demanda e de larga escala (ALENOGHENA *et al.*, 2022). A Figura 6 denota a arquitetura básica destas redes.

Figura 6 - Arquitetura de Rede WBAN



Fonte: SANTOS *et al.*, 2020.

Além de auxiliar no monitoramento dos sinais vitais, destaca-se também a telemedicina, possibilitando o atendimento a distância, além de cirurgias educativas remotas, avaliações e suporte paramédico durante o transporte de pacientes para o hospital, entre diversos outros. É possível observar que altas taxas de dados em *uplink* (UL) e *downlink* (DL) e baixas latências são necessárias para manter a segurança das atividades médicas. Em especial para realização de cirurgias, uma vez que é utilizado um sistema robótico mestre-escravo. Além disso, para a realização de exames, a taxa de DL é extremamente alta, sendo atendida apenas pelas redes 5G. A eficiência energética é outro desafio enfrentado pelas aplicações eHealth. No contexto de monitoramento de sinais vitais, a vida útil das baterias de sensores invasivos é um tema relevante estudado pela comunidade acadêmica (SABA *et al.*, 2020).

4.1.4 Manufatura Inteligente (*Smart Manufacturing*)

A evolução dos setores industriais acompanha os ciclos de desenvolvimento das tecnologias. A revolução mais recente é a quarta geração, também conhecida como Indústria 4.0, a qual representa a evolução dos setores industriais, que passam a utilizar a conexão de diferentes máquinas, objetos e dispositivos para facilitar a coleta de dados e automatizar a manufatura de um produto. No entanto, já é mencionado a Indústria 5.0 como a próxima revolução que permitirá uma customização em massa através da criatividade dos especialistas trabalhando em conjunto com máquinas inteligentes, eficientes e extremamente precisas (MADDIKUNTA *et al.*, 2022).

A Manufatura Inteligente consiste em aplicações baseadas em *Cyber-Physical Manufacturing Systems* (CPMS) e no paradigma da IoT. O CPMS possibilita controle com

precisão próxima a do tempo real a partir de qualquer local. Para tanto, utilizam-se as redes sensores sem fio, a computação na nuvem, a computação na borda e a computação em nuvem. Nesse cenário industrial, há ainda a possibilidade de implantação da comunicação máquina para máquina (*Machine to Machine – M2M*) e da manufatura colaborativa, que ocorre quando máquinas e humanos coexistem. Essas aplicações demandam alta confiabilidade, alta cobertura, baixa latência, dentre outras características que não estão disponíveis na rede 4G, mas se tornam acessíveis na rede 5G (WU *et al.*, 2021).

Além dos requisitos específicos das aplicações, o ambiente industrial é desafiador para a rádio propagação do 5G. A presença de grande número de maquinário com superfície metálica lisa gera múltiplas reflexões de sinal, assim como o considerável tamanho dificulta a propagação direta. O processo industrial e a presença de grande quantidade de motores geram muita interferência eletromagnética aleatória, alterando as características do meio sem fio e, conseqüentemente, o modelo de canal de propagação em comparação com ambientes de escritórios (JIANG *et al.*, 2021).

4.1.5 Gêmeos Digitais (*Digital Twins*)

O funcionamento da tecnologia gêmeos digitais, tornou-se possível graças a possibilidade de conexão de um número massivo de sensores IoT. Apesar da criação de uma representação virtual do objeto, rede ou sistema real, essa representação virtual pode ou não estar conectada ao objeto real. Para que isso seja possível, considerando os casos nos quais o gêmeo digital conversa em tempo real com o gêmeo físico, é necessária uma rede extremamente confiável e robusta, com baixa latência e alta conectividade (WU *et al.*, 2021).

Como exemplo de gêmeos digitais, pode-se citar o The Spirent 5G DT2 que emula em software a réplica de uma rede 5G para teste de comportamento e performance de diversas aplicações. No contexto de emulação de redes 5G, há também a iniciativa da Huawei que, em 2020, lançou a primeira solução de engenharia para criar um site digital 5G que é uma réplica de um site físico (HUAWEI, 2020).

As características fundamentais que permitem identificar um gêmeo digital verdadeiro conectado em tempo real, e não um simples modelo digital, são a auto adaptação, autorregulação, automonitoramento e autodiagnóstico. A perda de conectividade ou mesmo atraso da conexão pode representar um desvio do gêmeo digital em relação ao sistema real. A computação de borda no 5G contribui muito para a diminuição da latência possibilitando que

as redes de 5ª geração surjam como candidata natural para habilitar a expansão da utilização de gêmeos digitais (ZHOU *et al.*, 2021).

A tecnologia de gêmeos digitais usufrui em maior ou menor escala de todas as características dos cenários de uso do 5G. O foco maior é no cenário de mMTC e uRLLC, por conta da necessidade de conexão de diversos dispositivos e inúmeros sensores dentro do ambiente industrial, além da necessidade de troca de informações quase que em tempo real, sendo idêntico ao tempo de reação e interação entre homem e máquina, permitindo a utilização de soluções de automatização mais complexas com operação remota de equipamentos e máquina. A confiabilidade da conexão também é extremamente importante não podendo haver perda de conexão (ISTO *et al.*, 2020).

4.1.6 Sensoriamento e controle em Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*)

As redes elétricas inteligentes implementam sensores e tecnologias de controle e comunicação nos sistemas de potência para coordenar e gerenciar as atividades do setor elétrico diferente dos sistemas tradicionais, onde a comunicação cobria somente os centros de controle das subestações de energia, nas redes elétricas inteligentes a comunicação bidirecional abrange desde a geração de energia até o consumidor, aumentando demasiadamente o fluxo de dados gerados pelas redes elétricas (ESENOGHO *et al.*, 2022).

As subestações de geração e transmissão, muitas vezes, se encontram em locais de difícil acesso, sendo, em alguns casos, não assistidas, ou seja, operam sem supervisão in loco humana. A dificuldade de acesso a essas subestações e a necessidade de constante supervisão com requisitos estritos na comunicação enseja o estudo de novas tecnologias, tais como as redes 5G, para atender às demandas dessa nova geração das redes elétricas (ADRAH *et al.*, 2022).

Ainda no Domínio de Distribuição, a automação dos sistemas de distribuição integra o gerenciamento de dados, inteligência artificial, atuadores e sensores inteligentes para aumentar a confiabilidade e qualidade da energia entregue ao consumidor e diminuir a despesas operacionais. Com o crescimento da medição inteligente e a integração dos medidores inteligentes com centros de controle e casas inteligentes, torna-se necessária uma rede de comunicação sem fio capaz de lidar com um altíssimo número de dispositivos a baixo custo. As redes 5G surgem como uma forma técnica e economicamente viável de atender a essa demanda (ADRAH *et al.*, 2022).

4.1.7 Atendimento de áreas remotas ou de difícil acesso

Alguns locais, como plataformas de petróleo, centros de pesquisa avançados em locais remotos, ou mesmo áreas rurais ou de baixa densidade demográfica, usualmente carecem de uma infraestrutura de telecomunicações. A dificuldade de acesso e o alto custo de instalação e manutenção da infraestrutura impedem a disponibilização de redes de alta velocidade baseada em tecnologias como fibra ótica. Devido a essas dificuldades, se torna necessário a busca de outras soluções para atender a esses cenários, que usualmente precisam da comunicação de forma confiável para diversas aplicações de saúde, sensoriamento e controle. Nesse contexto, as redes 5G surgem com suporte a adaptações capazes de atender a essas necessidades com um custo viável.

Apesar de ter muitas características em comum com a manufatura inteligente, as plataformas de petróleo não são ambientes comuns. Elas estão localizadas em áreas remotas e inóspitas que na maioria dos casos não possuem infraestrutura de comunicação, havendo grande dependência de conexões por satélite. Por demandarem baixa latência, alta disponibilidade e grande quantidade de dispositivos conectados, o atendimento a plataformas de petróleo por meio de conexão por satélite representa um desafio para os cenários de uso eMBB, uRLLC e mMTC (MAROUFKHANI *et al.*, 2022).

Diferentemente do ambiente terrestre, onde normalmente há grande disponibilidade e a infraestrutura de comunicação é relativamente fácil de ser implantada, o ambiente marítimo proporciona uma série de desafios e problemas para uma comunicação precisa e de qualidade. Pode-se citar desafios relacionados a eficiência de comunicação (taxa, latência, confiabilidade), integração multidisciplinar entre tecnologias e a deterioração aos equipamentos causadas pelo ambiente marítimo. Além disso, plataformas são metálicas o que prejudica a adoção de soluções por radiopropagação. Nesse cenário, as redes 5G surgem como grandes candidatas para suprirem as necessidades desse ambiente, facilitando a integração entre as diversas aplicações e provendo os requisitos necessários para o pleno funcionamento de todas (MAROUFKHANI *et al.*, 2022).

Nos dias atuais há uma demanda reprimida por conectividade sem fio em áreas remotas e rurais. O atendimento a zonas rurais ou plataformas de pesquisa remotas é desafiador porque essas áreas normalmente não possuem infraestrutura de comunicação. A rede 4G, desenvolvida para atender principalmente os requisitos e necessidades do ambiente urbano, e a cobertura padrão viabilizada pelas células 5G padrão, utilizadas em ambientes urbanos, são ineficazes para atendimento as áreas rurais e remotas. Algumas tecnologias habilitadoras adotadas nas

redes 5G, por exemplo o uso de frequências mais altas e MIMO, podem ocasionar uma cobertura limitada das células 5G. Em áreas urbanas isso não é um problema, mas em áreas remotas não é alcançado um número suficiente de assinantes de forma a viabilizar um custo aceitável por assinante atendido. Soma-se a isso o investimento necessário em CAPEX para aquisição de equipamentos, licenças, aquisição de espectro de radiofrequência e infraestrutura (torres, energia, *backhaul*) (MENDES *et al.*, 2020).

De acordo com Guilherme *et al.* (2023), no cenário de demandantes de tecnologias da informação (TIC), 26,61% dos demandantes de soluções e serviços TIC acreditam que o agronegócio será o setor mais impactado com soluções e softwares para a tecnologia 5G, seguido pela indústria (22,94%), serviços (22,94%), varejo (11,93%), setor público (9,15%) e saúde (6,42%). Neste sentido, nos últimos anos, a agricultura está evoluindo e se transformando de acordo com as revoluções (1, 2, 3, 4 e 5G), sendo a 4G pioneira em integrar inovações como: Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nas práticas agrícolas tradicionais (ZHOU *et al.*, 2021), Tecnologias como Sensoriamento Remoto, Internet das Coisas (IoT), Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs), *Big Data Analytics* (BDA) e *Machine Learning* (ML) são essenciais para continuar o avanço nas práticas agrícolas.

Apesar do termo agricultura inteligente já existir antes de algumas tecnologias como por exemplo, Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs), a adição dessa e de outras tecnologias tem funções importantes na melhora da produção, produtividade, otimização no uso de implementos agrícolas, processos de produção, monitoramento e controle de condições ambientais. Além do monitoramento de solo, status hídricos são feitos realizados com maior exatidão a irrigação, controle de pragas e manejo de espécies daninhas. Importante ressaltar que todo esse avanço tecnológico é positivo para redução dos impactos diretos e indiretos causados ao ambiente pela agricultura, sendo considerada como uma abordagem de tecnologia verde quando comparada a agricultura tradicional aplicada de forma mais ampla no mundo (BOURSIANIS *et al.*, 2022).

Segundo Correia *et al.* (2023), o Brasil ainda está no processo inicial de adesão a agricultura Inteligente e busca oportunidades de negócios nesse setor, uma vez que é grande produtor de soja, milho entre outras culturas. O desenvolvimento e uso dessas máquinas melhoradas e conectadas estão em fase de protótipos em fazendas integradas. Por meio de algumas startups já é possível encontrar usar tipos padrões abertos dos quais são capazes de combinar diferentes conjuntos de dados. Desse modo, a 5G pode ser considerada um suporte necessário para melhorias na agricultura inteligente e IoT. A IoT é uma peça fundamental para a realização de atividades físicas no campo, onde a agricultura inteligente determina a função e local de ação por meio da comunicação da 5G.

4.1.8 Atendimento de áreas remotas ou de difícil acesso

Devido ao avanço nas comunicações e o crescimento do número de dispositivos móveis e diversas aplicações que utilizam streaming de vídeo que necessitam de baixa latência e altas taxas de dados, a demanda pela comunicação móvel sem fio está crescendo rapidamente. O crescimento do tráfego está sendo impulsionado pelo número crescente de assinaturas de smartphones e pelo aumento do volume médio de dados por assinatura, alimentado principalmente por mais visualização de conteúdo de vídeo. Em 2026, espera-se que as redes 5G transportem 53% do tráfego total de dados móveis (ERICSSON, 2020).

De acordo com Salva-Garcia *et al.* (2018), os autores propuseram uma nova estrutura 5G-UHD para alcançar streaming de vídeo adaptável tendo em vista um grande desafio técnico para atender à crescente expectativa dos usuários de ultra alta definição (UHD) de entrega contínua de vídeo de alta qualidade em pontos de acesso 5G, onde é comum ocorrer congestionamento. Dentre das principais vantagens esperadas nas futuras redes 5G, espera-se lidar com streaming de vídeo UHD.

Outros autores como Ali Muthanna *et al.* (2020), ressaltam o crescente interesse em aplicativos baseados em vídeo em que resultou em um rápido aumento no tráfego de dados sem fio e atendendo às rigorosas demandas de qualidade de experiência. A ideia trazida se refere a modelos de transmissão de tráfego de vídeo em redes 5G com base em ondas milimétricas em conjunção com unidades de nuvem no limite de rede de acesso de rádio (RAN) para descarregar a rede subjacente atingindo assim maior eficiência em termos de descarga, sobrecarga, cobertura e atraso.

4.2 DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Questões técnicas relacionadas a privacidade e segurança são importantes quando se fala de conectividade. Aspectos de acesso, autenticação, criptografia e como prover acesso a apenas dispositivos confiáveis são pontos importantes e que deve ser devidamente endereçado. Uma falha de segurança pode permitir ataques a toda infraestrutura da virtualização da rede (*Network Functions Virtualization – NFV*) podendo ocasionar a sua manipulação ou desligamento. Somam-se ao caso anterior aspectos relacionados ao uso de inteligência artificial que precisam ser mais bem estudados para que seja possível extrair todo o potencial de forma a incrementar a eficiência de sistemas físico cibernéticos (SPINELLI; MANCUSO, 2020).

A comunicação móvel possibilita grandes avanços científicos ao longo de suas gerações, pois flexibiliza e universaliza a troca de informações em tempo real, tornando os usuários e dispositivos ubíquos, através de computação móvel, redes de sensores, entre outros. Entretanto, essas características também contribuem para que os ataques aumentem de forma exponencial, porque a superfície de ataque aumenta conforme mais dispositivos são conectados e há possibilidade desses mesmos dispositivos serem vetores de ataques distribuídos, causando prejuízos financeiros, roubo de informações e até mesmo uma guerra eletrônica. O tráfego dentro de uma célula, geralmente apresenta flutuações recorrentes e possui rajadas a qualquer instante, assemelhando-se com o comportamento de pessoas, que possuem características aleatórias no deslocamento ao longo do dia. A análise de segurança das redes tem ganhado foco em diversos campos de pesquisa, sobretudo na detecção de anomalias. Entretanto, a detecção em tempo real torna-se desafiadora em função da quantidade de dados gerados pelos dispositivos, pois requer um monitoramento ininterrupto de eventos, processos e mensagens na infraestrutura (ARIYALURAN HABEEB *et al.*, 2019).

Uma das principais características da rede 5G é a escalabilidade, seja pela ótica de novos serviços ofertados pelos provedores, quanto por uma maior utilização por parte de consumidores, sensores, dispositivos inteligentes, entre outros. Dessa forma, estender a capacidade da rede torna-se fundamental para garantir essa escalabilidade. Nesse sentido, técnicas como fatiamento da rede são comumente tema de estudos para alcançar a escalabilidade, fornecendo uma maior flexibilidade na administração dos recursos. A utilização de recursos virtualizados e automatizados, fundamentais na rede 5G, são agravantes no ponto de vista de segurança, pois os provedores devem garantir que o fatiamento seja eficaz, evitando que agentes externos possam interromper o serviço e garantindo que o plano de dados continue íntegro. Nesse contexto, é proposto um arcabouço utilizando o modelo ARIMA para prever ataques, e o modelo LSTM para prever anomalias e falhas (BENSLIMEN *et al.*, 2021).

Com o avanço das tecnologias, os meios de comunicação sem fio tornaram-se extremamente populares, fazendo com que a tecnologia associada evolua contínua e rapidamente para suportar a comunicação de dados em tempo real com qualidade, como a realização de vídeo chamadas. No entanto, na rede 5G, diversos sensores e dispositivos também são parte fundamental das comunicações, sendo imprescindível estabelecer uma robusta proteção do ponto de vista de infraestrutura, privacidade de usuários e, sobretudo, software para esses dispositivos (ZHANG *et al.*, 2019). Lopez *et al.* (2021) propõem a utilização de codificadores automáticos variacionais condicionais (*Conditional Variational Autoencoders*)

para integrar os rótulos de intrusão dentro das camadas de decodificação, permitindo ser utilizado para predição de ataques e reconstrução de informações faltantes.

Com a implantação das redes 5G por todo o mundo, várias aplicações e casos de uso são criados utilizando todas as vantagens e recursos oferecidos por essas redes e desafiando os seus limites. Esse fato impulsiona os pesquisadores a trabalhar na próxima geração de redes móveis celulares, buscando uma grande evolução para suprir as demandas futuras da sociedade (ALWIS *et al.*, 2021).

O desenvolvimento de novas tecnologias surge para aprimorar as gerações antecessoras. A tecnologia desenvolvida para rede 5G contribui de forma significativa para diminuição da latência das redes móveis através da utilização de novas faixas de frequências com comprimento de onda milimétricas, utilização inteligente do espectro e redefinição do núcleo da rede (GIORDANI *et al.*, 2020). No entanto, mesmo antes de sua completa implementação, a rede possui limitações e a sua sucessora, 6G, já vem sendo amplamente estudada para resolver problemas principalmente de automação e inteligência artificial, com uma quantidade de dispositivos conectados ainda maior e novos conceitos.

A próxima geração das redes de telecomunicações deverá comportar uma quantidade crescente de terminais inteligentes, tais como celulares e sensores, disponibilizar aplicações de tempo real e prover inteligência e confiança embarcadas na infraestrutura de rede. Para atender a esses requisitos, a sexta geração das redes móveis, 6G, vislumbra o uso de novas tecnologias de inteligência artificial, de cadeia de blocos (blockchain) e de fornecimento de serviços para Internet das Coisas (CHOWDHURY *et al.*, 2020).

As aplicações 6G futuras apresentarão requisitos rigorosos e exigirão recursos de rede estendidos em comparação com as redes 5G desenvolvidas atualmente (ALWIS *et al.*, 2021). Na rede 6G, todos os dispositivos de ponta são concebidos para se conectarem à Internet e os aplicativos de inteligência artificial serão amplamente usados por esses dispositivos. A principal característica da rede 6G é uma conectividade ainda maior através do conceito de *Internet of Everything* (IoE), sendo uma integração entre sensores, dispositivos e qualquer objeto conectado. A IoE pode ser considerada uma extensão da Internet das Coisas abrangendo dados, processos, pessoas e dispositivos (CHOWDHURY *et al.*, 2020).

A utilização da rede 6G tem como objetivo aprimorar a fidelidade nas comunicações, tendo como desafios estabelecer comunicações ultra confiáveis e de baixa latência (*Ultra-Reliable Low Latency Communications* – URLLC). Esses conceitos permitem contribuir de maneira significativa em diversas áreas de missão crítica, permitindo por exemplo, que a comunicação tátil seja implementada para garantir que as interações físicas em tempo real sejam

executadas, como a tele operação. Questões relativas à segurança, sigilo e privacidade de dados terão grande foco nas redes 6G. A maioria das aplicações de inteligência artificial são orientadas a dados, aumentando a preocupação com a segurança e privacidade dos dados coletados. O uso de inteligência artificial e questões relacionadas à privacidade de dados são temas em constante ascensão, sendo cada vez mais necessário que questões como a mitigação de vazamento de informações estejam presentes nas arquiteturas do núcleo das redes. Portanto, a criptografia, recomendada para qualquer serviço, será mandatória na rede 6G (SUN *et al.*, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um panorama geral da produção científica mundial sobre a disseminação e aplicação da rede 5G. Com o estudo foi possível perceber a vasta aplicabilidade da rede 5G, tendo em vista seus claros benefícios para conectividade, velocidade de transmissão de dados e segurança; ainda que seu uso de maneira isonômica necessite de adaptabilidade e investimento, os desafios são identificáveis e soluções para tais já estão sendo levantadas por estudiosos. Por isso, o objetivo de descrever a rede 5G e sua nova arquitetura, abordando os casos de uso e os desafios de implantação dessa rede foi alcançado.

Definitivamente o 5G não é apenas mais uma atualização evolucionária da geração anterior, mas sim uma tecnologia revolucionária que eliminará os limites de acesso, largura de banda, desempenho e limitações de latência na conectividade em todo o mundo. A rede 5G, tem o potencial de possibilitar novas aplicações e modelos de negócios que podem proporcionar melhorias na qualidade de vida por meio de novos casos de uso que exigem alta comunicação instantânea de dados, baixa latência e conectividade massiva, podendo ser aplicados na área da saúde, indústria, veículos autônomos, cidades inteligentes, casas inteligentes e a IoT.

Existem grandes desafios para que o 5G se torne uma realidade. Dentre os principais, destaca-se os investimentos significativos necessários pelas operadoras que terão que se reinventar para criar modelos de negócios. Por fim, o 5G abre espaço para uma nova era das comunicações móveis e colocará a tecnologia sem fio como um pilar fundamental para movimentar a economia de empresas, países e, de forma geral, a vida das pessoas. Como sugestão de trabalhos futuros, enfatiza-se a importância de estudos de soluções para os principais desafios de implantação dessas redes, principalmente no que se refere aos desafios de cobertura da rede. Assim sugere-se um trabalho de prospecção tecnológica sobre a aplicação de inteligência artificial para resolver os desafios de cobertura da rede 5G.

REFERÊNCIAS

- ADRAH, C. M. *et al.* **Deploying 5G architecture for protection systems in smart distribution grids.** IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), p. 1-5. 2022.
- AGBAJE, P. *et al.* Survey of interoperability challenges in the Internet of Vehicles. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 23, n. 12, p. 22838-22861, 2022.
- ALÉN-SAVIKKO, A. Network neutrality in the era of 5G—a matter of faith, hope, and design?. **Information & Communications Technology Law**, v. 28, n. 2, p.115-130, 2019.
- ALI MUTHANNA, M. S. *et al.* **Analysis of the Advantages of Millimeter Waves for Video Traffic Transmission in 5G Networks.** IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), p. 51-53. 2020.
- ALWIS, C. D. *et al.* Survey on 6G frontiers: Trends, applications, requirements, technologies and future research. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 2, p. 836-886, 2021.
- ANATEL. **Panorama do 5G no Brasil.** Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/panorama>. Acesso em: jun. 2024.
- ARIYALURAN HABEEB, R. A. *et al.* Real-time big data processing for anomaly detection: A survey. **International Journal of Information Management**, v. 45, p. 289-307, 2019.
- BENSLIMEN, Y. *et al.* Attacks and failures prediction framework for a collaborative 5G mobile network. **Computing**, v. 103, n. 6, p. 1165-1181, 2021.
- BOURSIANIS, A. D. *et al.* Internet of things (IoT) and agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. **Internet of Things**, v. 18, p. 100187, 2022.
- CHOWDHURY, M. Z. *et al.* 6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 1, p. 957-975, 2020.
- CORREIA, T. P. *et al.* Tecnologia e produção agrícola: uma interface promissora e de gestão. **Agriculturae**, v. 5, n. 1, p.20-27, 2023.
- ERICSSON. Ericsson Mobility Report. **Ericsson**, n. November, p. 36. 2020.
- ESENOGHO *et al.* Artificial intelligence Internet of Things and 5G for next-generation smartgrid: A survey of trends challenges and prospect. **IEEE Access**, v. 10, p. 4794-4831, 2022.
- FERNANDES, A. V. *et al.* 5G no Brasil: equilíbrio entre cooperação e concorrência. **Revista do IBRAC**, n. 2, p. 218-253, 2023.

- FOTOUHI, A. *et al.* Survey on UAV cellular communications: Practical aspects, standardization advancements, regulation, and security challenges. **IEEE Communications surveys & tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3417-3442, 2019.
- FRAUENDORF, J. L.; ALMEIDA DE SOUZA, É. The different architectures used in 1G, 2G, 3G, 4G, and 5G networks. **The Architectural and Technological Revolution of 5G**. Cham: Springer International Publishing, p. 83-107, 2022.
- GARCIA E SILVA, H. B.; MARQUES, R. M. Falsa percepção de gratuidade: a prática do zero-rating e o Marco Civil da Internet. **Transinformação**, v. 31, 2019.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIORDANI, M. *et al.* Toward 6G networks: Use cases and technologies. **IEEE Communications Magazine**, v. 58, n. 3, p. 55-61, 2020.
- GUILHERME, *et al.* Impactos Econômicos da Implantação do Ecossistema 5G No Setor de Tecnologia da Informação e Comunicação do Brasil. **Cadernos CEPEC**, v. 12, n. 1, 2023.
- HUAWEI. **Huawei launches industry's first site digital twins based 5G digital engineering solution**. 2020. Disponível em: <https://www.huawei.com/en/news/2020/2/site-digitaltwins-based-5g-digital-engineering-solution>. Acesso em: jul. 2024.
- ISTO, P. *et al.* 5G based machine remote operation development utilizing digital twin. **Open Engineering**, v. 10, n. 1, p. 265–272, 2020.
- JIANG, T. *et al.* 3GPP standardized 5G channel model for IIoT scenarios: A survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 11, p. 8799-8815, 2021.
- LOPEZ, A. M. *et al.* **Towards secure wireless mesh networks for uav swarm connectivity: Current threats, research, and opportunities**. Proceeding of 3rd International Workshop on Wireless Sensors and Drones in Internet of Things (WiDroIT), p. 1-6. 2021.
- MADDIKUNTA, P. K. R. *et al.* Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, p. 100257, 2022.
- MAROUFKHANI, P. *et al.* Digital transformation in the resource and energy sectors: A systematic review. **Resources Policy**, v. 76, p. 102622, 2022.
- MAZUCATO. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. Organizador: Thiago Mazucato. Penápolis: FUNEPE, 2018.
- MENDES, L. L. *et al.* Enhanced remote areas communications: The missing scenario for 5G and beyond 5G networks. **IEEE Access**, v. 8, p. 219859-219880, 2020.
- MISTRY, I. *et al.* Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: a systematic review, solutions, and challenges. **Mechanical systems and signal processing**, v. 135, p. 106382, 2020.

OPENSIGNAL. **Compreendendo o 5G e a cobertura geral em todo o mundo**. Disponível em: <https://www.opensignal.com/2023/05/17/understanding-5g-and-overall-coverage-worldwide>. Acesso em: jul. 2024.

SABA, T. *et al.* Secure and energy-efficient framework using Internet of Medical Things for e-healthcare. **Journal of Infection and Public Health**, v. 13, n. 10, p. 1567-1575, 2020.

SALVA-GARCIA, P. *et al.* 5G-UHD: Design, prototyping and empirical evaluation of adaptive Ultra-high-Definition video streaming based on scalable H.265 in virtualised 5G networks. **Computer Communications**, v. 118, n. April, p. 171-184. 2018.

SANTOS, A. C. *et al.* **Aplicações em redes de sensores na área da saúde e gerenciamento de dados médicos: tecnologias em ascensão**. Sociedade Brasileira de Computação, 2020.

SEHLA, K. *et al.* Resource allocation modes in C-V2X: from LTE-V2X to 5G-V2X. **IEEE Journal Internet of Things**, v. 9, n 11, p. 8291-8314, 2022.

SHANTAF, A. M. *et al.* **A comparison study of TCP/IP and named data networking protocol**. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023.

SHAO, V. M. **5G: The Complicated Relationship Between ITU and 3GPP**. 2020. Disponível em: <https://medium.com/swlh/5g-the-complicated-relationship-between-itu-and-3gpp-719938f42b8>. Acesso em: jul. 2024.

SOTO, I. *et al.* A survey on road safety and traffic efficiency vehicular applications based on C-V2X technologies. **Vehicular Communications**, v. 33, p. 100428, 2022.

SPADINGER, R. Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e da indústria 4.0. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, v. 1, 2024.

SPINELLI, F.; MANCUSO, V. Toward enabled industrial verticals in 5G: A survey on mec-based approaches to provisioning and flexibility. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 23, n. 1, p. 596-630, 2020.

SUN, Y. *et al.* When machine learning meets privacy in 6G: A survey. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 22, n. 4, p. 2694-2724, 2020.

TANG, Y. *et al.* A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.180, p.105895, 2021.

TEBE, P. I. *et al.* **Remote Patients Monitoring and Pretreatment in 5G-Based Mobile Hospital Systems**. 7th IEEE International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), p. 729-733, 2022.

TRONCO, T. R. A brief history of the internet. **New Network Architectures: The Path to the Future Internet**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 1-11.

WEI, L.; HU, R. Q.; QIAN, Y.; WU, G. Key elements to enable millimeter wave communications for 5G wireless systems. **IEEE Wireless Communications**, v. 21, n. 6, p. 136-143, 2014. ISSN 1558-0687.

WU, Y. *et al.* Digital twin networks: A survey. **IEEE Internet of Things Journal**. v. 8, n. 18, p. 13789-13804, 2021.

ZHANG, S. *et al.* Towards secure 5G networks: A survey. **Computer Networks**, v. 162, p. 106871, 2019.

ZHOU, Z. *et al.* Secure and latency-aware digital twin assisted resource scheduling for 5G edge computing-empowered distribution grids. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 18, n. 7, p. 4933–4943, 2021.

MINI CURRÍCULO E CONTRIBUIÇÕES AUTORES

TÍTULO DO ARTIGO	ABSENTEÍSMO ENTRE OS PROFISSIONAIS DE ENFERMAGEM
RECEBIDO	31/07/2024
AVALIADO	01/08/2024
ACEITO	26/08/2024

AUTOR 1	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Washington Lima de Santana
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.
CIDADE	Feira de Santana
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Discente do curso de Engenharia de Energias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.
AUTOR 2	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Anderson Dourado Sisnando
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.
CIDADE	Feira de Santana
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia e Pós-Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
AUTOR 3	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Kilder Leite Ribeiro
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.
CIDADE	Feira de Santana
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Doutorado em Astrofísica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Mestrado em Ciências Técnicas Nucleares. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
AUTOR 4	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Robson Hebraico Cipriano Maniçoba
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.
CIDADE	Feira de Santana
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Doutorado e Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Docente da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

AUTOR 5	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Alex Ferreira dos Santos
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PGCC) da Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS.
CIDADE	Feira de Santana
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
RESUMO DA BIOGRAFIA	Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade São Paulo. Docente da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual de Feira de Santana.
CONTRIBUIÇÃO DO AUTOR NO ARTIGO	Todos os autores contribuíram na mesma proporção.

Endereço de Correspondência dos autores	<p>Autor 1: wtel@fsonline.com.br</p> <p>Autor 2: anderson.dourado@ufrb.edu.br</p> <p>Autor 3: kilder@ufrb.edu.br</p> <p>Autor 4: rhcmanicoba@uesb.edu.br</p> <p>Autor 5: alex.ferreira@ufrb.edu.br</p>
---	---