

Transição de 5G para 6G nas comunicações militares

Este livro fornece uma análise abrangente e prospetiva da transição das tecnologias 5G para 6G nas comunicações militares. Examina os fundamentos arquitectónicos, as aplicações operacionais, os desafios de segurança e as implicações estratégicas dos sistemas de comunicação da próxima geração em ambientes de defesa. Abrangendo tópicos como fatiamento de rede, gestão orientada por IA, integração de satélites, resiliência cibernética, segurança pós-quântica e operações multi-domínio, o livro apresenta as comunicações militares como um facilitador crítico de comando e controlo. Oferece uma perspetiva ao nível do sistema que integra tecnologia, doutrina e estratégia para responder a futuras exigências operacionais.



Rexhep Mustafovski, MSc, é um oficial de sinalização e investigador académico em comunicações militares e sistemas de rede seguros. Licenciou-se na Academia Militar "General Mihailo Apostolski" em Skopje e tem um mestrado em Comunicações e Tecnologias da Informação da Universidade "Ss. Cyril and Methodius" - Skopje.



9 786209 866845



EDIÇÕES
NOSSO CONHECIMENTO



EDIÇÕES
NOSSO CONHECIMENTO



Transição de 5G para 6G nas comunicações militares

Arquitecturas, integração e impacto operacional

Rexhep Mustafovski
Besnik Qehaja
Edmond Hajrizi

Mustafovski, Qehaja, Hajrizi

Rexhep Mustafovski
Besnik Qehaja
Edmond Hajrizi

Transição de 5G para 6G nas comunicações militares

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Rexhep Mustafovski
Besnik Qehaja
Edmond Hajrizi**

Transição de 5G para 6G nas comunicações militares

Arquitecturas, integração e impacto operacional

FOR AUTHOR USE ONLY

ScienciaScripts

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

This book is a translation from the original published under ISBN 978-620-9-71856-4.

Publisher:

Scienza Scripta

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova, Europe

Managing Directors: Ieva Konstantinova, Victoria Ursu
info@omniscryptum.com

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-9-86684-5

Copyright © Rexhep Mustafovski, Besnik Qehaja, Edmond Hajrizi

Copyright © 2026 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

Transição do 5G para o 6G nas comunicações militares

Arquiteturas, integração e impacto operacional

Prefácio	2
Introdução	5
Capítulo 1 – Introdução à evolução das comunicações militares.....	9
Capítulo 2 – Fundamentos dos sistemas de comunicações militares	30
Capítulo 3 – Visão geral da tecnologia 5G	52
Capítulo 4 – Casos de Utilização Militar das Redes 5G.....	75
Capítulo 5 – Desafios de segurança do 5G em ambientes militares.....	94
Capítulo 6 – Integração do 5G com os sistemas militares existentes	111
Capítulo 7 – Fatores impulsionadores da transição do 5G para o 6G	128
Capítulo 8 – Visão e conceitos fundamentais da tecnologia 6G	145
Capítulo 9 – Arquiteturas 6G para comunicações militares	164
Capítulo 10 – Segurança e resiliência nas redes militares 6G	186
Capítulo 11 – Impacto operacional da transição do 5G para o 6G.....	207
Capítulo 12 – Interoperabilidade, normalização e perspectiva da OTAN	226
Capítulo 13 – Implicações éticas, legais e estratégicas	246
Capítulo 14 – Orientações futuras e desafios de investigação	269
Conclusão.....	288
Referências.....	292

Prefácio

Chamo-me **Rexhep Mustafovski, MSc**, e este livro representa a continuação e a expansão estratégica do meu envolvimento acadêmico, profissional e de investigação no campo dos sistemas modernos de comunicação militar. Ao longo dos anos, o meu trabalho centrou-se na transformação das arquiteturas de comunicação como facilitadores decisivos do comando e controlo, da coordenação operacional e da resiliência estratégica. A evolução das implementações avançadas de 5G para o paradigma emergente do 6G apresenta não só oportunidades tecnológicas, mas também desafios estruturais que influenciam diretamente a segurança nacional, a interoperabilidade e a soberania a longo prazo. A motivação para escrever este livro surge da investigação académica sustentada, do envolvimento profissional na educação militar e do compromisso contínuo com as tecnologias de comunicação emergentes que moldam cada vez mais a doutrina operacional.

Este livro foi escrito em colaboração com o **Dr. Besnik Qehaja** e o **Prof. Dr. Edmond Hajrizi**. A sua liderança académica e experiência enriquecem significativamente o âmbito interdisciplinar deste trabalho. O Dr. Besnik Qehaja, um reconhecido estratega de inovação digital e Reitor do Departamento de Ciência da Computação e Engenharia da UBT, contribui com profunda experiência em transformação digital, integração de inteligência artificial, sistemas de aprendizagem avançados e desenvolvimento de infraestruturas inteligentes. A sua formação académica, incluindo investigação de doutoramento sobre sistemas de monitorização em tempo real e liderança em iniciativas nacionais de eSaúde, reforça o rigor analítico deste livro em áreas relacionadas com sistemas inteligentes, arquiteturas de dados distribuídos e estruturas orientadas por IA. O Prof. Dr. Edmond Hajrizi, fundador e reitor da UBT, criou uma das principais instituições académicas orientadas para a inovação na região. O seu compromisso de longa data em fazer a ponte entre a investigação académica e a implementação tecnológica prática, bem como a colaboração internacional, confere profundidade estratégica à visão mais ampla apresentada neste livro.

O objetivo principal deste trabalho é examinar a transição de 5G para 6G nas comunicações militares como uma transformação sistémica e estratégica, em vez de um conjunto de atualizações técnicas isoladas. Nas operações militares contemporâneas, os sistemas de comunicação são indissociáveis da autoridade de comando, da integração de informações e da manobra coordenada em múltiplos domínios. A capacidade de trocar informações de forma segura, fiável e atempada determina a consciência situacional, a eficácia da missão, a proteção das forças e a credibilidade da dissuasão. A arquitetura de comunicações evoluiu de uma função de apoio para um ativo estratégico fundamental.

Ao longo da nossa experiência académica e profissional, observámos uma lacuna recorrente entre as tecnologias de comunicação em rápido avanço e a sua integração coerente nas estruturas de comando militar. Embora a literatura técnica se concentre frequentemente em inovações individuais, tais como o network slicing, a criptografia pós-quântica, a gestão de redes baseada em IA ou a integração de satélites, são poucos

os trabalhos abrangentes que analisam como estes componentes, coletivamente, remodelam a doutrina das comunicações militares. Este livro procura colmatar essa lacuna, oferecendo uma análise estruturada e interdisciplinar dos sistemas de comunicação de próxima geração em ambientes de defesa.

O âmbito deste livro abrange a evolução histórica dos sistemas de comunicação militar, os fundamentos arquitetônicos da tecnologia 5G, casos de utilização militar operacional, desafios de cibersegurança e guerra eletrônica, integração com sistemas táticos legados e os fatores emergentes da transformação 6G. A análise explora ainda arquiteturas nativas de inteligência artificial, detecção e comunicações integradas, mecanismos de segurança resistentes à tecnologia quântica, conectividade multidomínio, interoperabilidade no âmbito de alianças, considerações regulamentares e implicações estratégicas a longo prazo.

É dada especial ênfase à resiliência, à soberania e à interoperabilidade. À medida que as redes de comunicação convergem cada vez mais com as infraestruturas civis e as cadeias de abastecimento globalizadas, a autonomia estratégica torna-se uma consideração essencial. A transição para o 6G envolve não só métricas de desempenho melhoradas, mas também novos modelos de governação capazes de abordar as dimensões éticas, legais e geopolíticas. A orquestração impulsionada pela inteligência artificial, os quadros de autenticação distribuída, a gestão adaptativa do espectro e os mecanismos de encriptação preparados para a tecnologia quântica devem ser integrados em arquiteturas coerentes concebidas para ambientes contestados e degradados.

Uma importante contribuição deste livro reflete a trajetória de investigação orientada para a integração que enfatiza a convergência estruturada de inteligência artificial, mecanismos criptográficos resistentes à tecnologia quântica, estruturas de autenticação baseadas em blockchain, gestão adaptativa do espectro e redundância de comunicação multidomínio. Esta abordagem de integração procura garantir uma comunicação segura, resiliente e eficaz em todas as condições operacionais, incluindo ambientes eletromagnéticos contestados e cenários meteorológicos extremos. Ao sintetizar tecnologias avançadas em estruturas arquitetônicas coesas, este trabalho alinha a inovação contemporânea com os requisitos militares práticos.

A análise é conduzida a um nível conceptual e arquitetónico, permitindo que os princípios discutidos permaneçam aplicáveis em diversos contextos nacionais e implementações tecnológicas. Este livro não apresenta procedimentos classificados, detalhes de engenharia específicos de fornecedores ou estruturas doutrinárias específicas de cada nação. Em vez disso, centra-se em princípios estruturais duradouros, raciocínio estratégico e pensamento ao nível do sistema que apoiam a tomada de decisões informadas e a investigação orientada para o futuro.

Certas limitações são inerentes a esta abordagem. Dado o ritmo acelerado do desenvolvimento tecnológico, as implementações específicas dos sistemas 6G continuarão a evoluir. Este livro não pretende fornecer uma cobertura exaustiva de todos os protótipos experimentais ou iniciativas de investigação emergentes. Em vez

disso, visa apresentar uma base estruturada que se mantenha relevante apesar da aceleração tecnológica. A lógica arquitetónica, os princípios de governação e as considerações estratégicas aqui delineados foram concebidos para perdurar para além de transições geracionais específicas.

O público-alvo inclui estudantes de mestrado e doutoramento em engenharia de comunicações, cibersegurança, estudos de defesa e áreas afins, bem como investigadores, arquitetos de sistemas, decisores políticos e profissionais militares envolvidos no planeamento de comunicações de « », na educação e no comando operacional. O livro está estruturado para apoiar tanto a investigação académica como a aplicação profissional, oferecendo profundidade analítica ao mesmo tempo que mantém a relevância prática.

A colaboração entre os autores reflete um compromisso comum com a investigação orientada para a inovação e a integração interdisciplinar. Ao combinar a experiência em comunicações militares com a estratégia de transformação digital e a liderança em inovação institucional, este trabalho procura contribuir com uma perspetiva equilibrada e voltada para o futuro sobre os sistemas de comunicações de defesa. A convergência entre rigor académico, conhecimento tecnológico e visão estratégica molda o quadro apresentado nestes capítulos.

Em última análise, este livro reflete uma jornada académica e profissional contínua dedicada a compreender como as tecnologias de comunicação de próxima geração remodelam a capacidade operacional e a estabilidade estratégica. A transição do 5G para o 6G representa um momento decisivo na evolução das comunicações militares. Através de uma análise estruturada, de um pensamento arquitetónico integrado e de uma consciência estratégica, este trabalho aspira a contribuir de forma significativa para o discurso académico e para o avanço prático neste domínio crítico. Esperamos que as perspetivas aqui apresentadas incentivem mais investigação, colaboração interdisciplinar e inovação responsável no desenvolvimento de sistemas de comunicações militares seguros, inteligentes e resilientes.

Introdução

A transformação dos sistemas de comunicação militar ao longo do último século reflete a evolução mais ampla da própria guerra. Desde as linhas telegráficas com fios e os rádios de campo analógicos até à banda larga via satélite e às redes definidas por software, a comunicação tem permanecido como o sistema nervoso central da organização militar. No entanto, a atual transição das redes avançadas de quinta geração para o paradigma antecipado da sexta geração representa uma mudança qualitativa, em vez de uma progressão tecnológica linear. Ela sinaliza o surgimento de ecossistemas de comunicação inteligentes, adaptativos e profundamente integrados que redefinem a relação entre conectividade, autoridade de comando, domínio da informação e estabilidade estratégica. Este livro examina essa transição não como um desenvolvimento de engenharia restrito, mas como uma transformação sistêmica da doutrina, arquitetura e capacidade operacional das comunicações militares.

As forças armadas modernas operam em ambientes caracterizados por uma complexidade sem precedentes. O espaço de batalha é cada vez mais multidomínio, abrangendo terra, mar, ar, espaço e ciberespaço. As operações são conduzidas sob vigilância persistente, intenso congestionamento do espectro e exposição contínua a ameaças cibernéticas. Os ciclos de decisão aceleraram-se drasticamente, comprimindo a janela temporal entre a detecção, a análise e a resposta. Neste contexto, os sistemas de comunicação já não são facilitadores passivos da coordenação. Tornaram-se determinantes ativos do ritmo operacional, da consciência situacional e da vantagem estratégica. A capacidade de transmitir, proteger, analisar e agir com base na informação em tempo real define a eficácia militar de forma tão decisiva quanto as capacidades cinéticas tradicionais.

As redes de quinta geração introduziram elementos transformadores, tais como banda larga móvel melhorada, comunicação ultra-fiável de baixa latência, conectividade massiva do tipo máquina, virtualização, segmentação de rede e computação de ponta. Estas capacidades expandiram o horizonte das aplicações militares, permitindo a coordenação de drones em tempo real, integração de sensores distribuídos, sistemas vestíveis para soldados, infraestruturas de bases inteligentes e modelos híbridos de comunicação via satélite-terrestre. No entanto, as mesmas características que tornam o 5G poderoso também introduzem vulnerabilidades estruturais. Os planos de controlo virtualizados ampliam as superfícies de ataque. As camadas de orquestração distribuída aumentam a interdependência sistêmica. A infraestrutura civil partilhada complica o planeamento da resiliência. Como resultado, a integração do 5G em ambientes militares requer mais do que a simples adoção; requer uma adaptação estratégica.

O surgimento previsto de sistemas de comunicação de sexta geração intensifica tanto as oportunidades como a complexidade. O 6G é concebido como nativo de IA, habilitado para detecção, sensível à tecnologia quântica e integrado entre espaço, ar e terra. Tem como objetivo alcançar uma latência ultrabaixa na escala de microssegundos, fiabilidade extrema aproximando-se da comunicação determinística,

utilização da frequência terahertz e convergência perfeita entre comunicação e percepção ambiental. Tais características prometem avanços revolucionários na coordenação de sistemas autônomos, comando e controlo distribuídos, processamento integrado de inteligência e superioridade de informação. No entanto, levantam também questões e es profundas relativas à governação, soberania, interoperabilidade, responsabilidade ética e risco estratégico a longo prazo.

Este livro explora a transição do 5G para o 6G no âmbito das comunicações militares através de uma perspetiva abrangente e multidisciplinar. Começa por situar a comunicação no seu contexto doutrinário histórico, analisando a evolução desde os rádios táticos tradicionais e redes de comando fixas até às arquiteturas de banda larga móvel e infraestruturas definidas por software. As limitações dos sistemas tradicionais, incluindo restrições de largura de banda, interoperabilidade limitada e vulnerabilidade à guerra eletrónica, são examinadas para esclarecer a motivação para a adoção de tecnologias de próxima geração. Os fatores operacionais da integração do 5G, incluindo a conectividade em tempo real no campo de batalha e a coordenação centrada na rede, são analisados juntamente com as suas implicações estruturais.

Os fundamentos técnicos essenciais do 5G são então explorados em profundidade. Os princípios arquitetónicos, os modelos de virtualização, os mecanismos de segmentação de rede, a integração da computação de ponta e as categorias de serviços são examinados não como conquistas de engenharia isoladas, mas como facilitadores da transformação doutrinária. A distinção entre implementações civis e militares do 5G destaca a necessidade de estruturas de segurança reforçadas, disponibilidade garantida e resiliência do espectro em condições de conflito. Ao comparar estes domínios, a análise esclarece as adaptações necessárias para a implementação operacional em ambientes de defesa.

Os casos de utilização militar das redes 5G são avaliados em comunicações táticas no campo de batalha, coordenação de sistemas não tripulados, redes de soldados com dispositivos vestíveis, infraestruturas de bases inteligentes e postos de comando críticos para a missão. Estas aplicações ilustram como a conectividade melhorada remodela o ritmo operacional e a coordenação. No entanto, a análise revela também desafios de segurança emergentes, incluindo ameaças cibernéticas, vulnerabilidades de autenticação, suscetibilidade a interferências e riscos de segmentação de rede. A integração do 5G com rádios táticos legados, arquiteturas C4ISR e sistemas híbridos de satélite demonstra a complexidade da transição sem comprometer a interoperabilidade ou a resiliência.

À medida que a discussão avança para o 6G, a atenção desvia-se para requisitos emergentes que excedem as capacidades dos sistemas atuais. A guerra impulsionada pela inteligência artificial, a coordenação de latência ultrabaixa, a escassez de espectro, a deteção integrada e as estruturas de segurança resistentes à computação quântica são analisadas como imperativos estratégicos. A transição do 5G para o 6G é enquadrada não como entusiasmo tecnológico, mas como uma resposta a lacunas operacionais e a

cenários de ameaças em evolução. Esta transição requer planeamento deliberado, experimentação estruturada e adaptação doutrinária.

A visão e os conceitos centrais da tecnologia 6G são examinados na sua relevância militar. As comunicações em terahertz, as arquiteturas de rede nativas de IA, a deteção e comunicações integradas e a integração espaço-ar-terra são analisadas com atenção tanto à expansão de capacidades como ao risco estrutural. A segurança e a resiliência nas redes 6G são abordadas através da análise da criptografia pós-quântica, da deteção de intrusões baseada em IA, da resistência cognitiva à guerra eletrónica, da tomada de decisões autónoma segura e dos modelos de confiança e soberania. Estes elementos sublinham que a superioridade das comunicações futuras depende tanto da governação segura como do desempenho da transmissão.

O impacto operacional é avaliado em termos de evolução do comando e controlo, consciência situacional reforçada, ciclos de decisão acelerados, apoio a operações multidomínio e domínio da informação. A análise salienta que a infraestrutura de comunicações molda o comportamento estratégico. Uma conectividade mais rápida influencia a doutrina. A deteção distribuída afeta a dinâmica de escalada. A coordenação autónoma altera as estruturas de autoridade. Por conseguinte, a transição tecnológica acarreta consequências que se estendem aos domínios geopolítico e ético.

A interoperabilidade e a normalização são abordadas numa perspetiva de coligação. As normas de comunicação da OTAN, a coexistência civil-militar no espectro, os desafios de interoperabilidade da aliança e as considerações regulamentares ilustram que a vantagem estratégica depende do alinhamento coletivo. A fragmentação dos ecossistemas tecnológicos corre o risco de comprometer a coesão da coligação. As vias de desenvolvimento harmonizadas reforçam a resiliência coletiva.

São analisadas as implicações éticas, legais e estratégicas das redes de próxima geração, com especial destaque para a autonomia da IA, a soberania dos dados, a dependência de infraestruturas comerciais e os cenários de risco estratégico. As redes de comunicação estão cada vez mais interligadas com as infraestruturas civis e as cadeias de abastecimento globais. Esta convergência exige uma governação transparente e o desenvolvimento de capacidades soberanas para mitigar as vulnerabilidades sistémicas.

As orientações futuras e os desafios de investigação são articulados através da identificação de problemas de investigação em aberto, da necessidade de bancos de ensaio militares experimentais de 6G, do papel colaborativo do meio académico e da indústria de defesa, e de roteiros estruturados para a implantação operacional. A visão estratégica de longo prazo é enquadrada como um equilíbrio entre inovação e resiliência, automação e responsabilização, integração e soberania. Dentro desta trajetória de investigação mais ampla, o quadro de comunicação orientado para a integração proposto por Rexhep Mustafovski enfatiza a convergência estruturada da inteligência artificial, encriptação quântica resiliente, autenticação baseada em blockchain, gestão adaptativa do espectro e redundância multidomínio para garantir

uma comunicação segura e eficaz em todas as condições operacionais e meteorológicas.

O argumento central deste livro é que a comunicação já não é um subsistema de apoio à capacidade militar. É um ativo estratégico fundamental que determina a velocidade, a precisão e a legitimidade da ação militar. A transição do 5G para o 6G remodela não só as métricas de largura de banda e latência, mas também a arquitetura da autoridade e a estrutura da resiliência. As instituições militares devem, portanto, abordar a adoção da comunicação de próxima geração com uma visão de futuro disciplinada, experimentação rigorosa e quadros de governação abrangentes.

A modernização dos sistemas de comunicação deve prosseguir de forma a preservar a continuidade operacional, permitindo simultaneamente a inovação. A integração incremental com plataformas legadas, princípios arquitetónicos de segurança desde a conceção, estratégias de espectro adaptativas e medidas de segurança preparadas para a tecnologia quântica () constituem componentes essenciais deste processo. A colaboração entre instituições de investigação, indústrias de defesa, autoridades reguladoras e parceiros aliados reforça a credibilidade tecnológica e a coerência estratégica.

Em última análise, o futuro das comunicações militares será definido pela capacidade de manter uma conectividade fiável, oportuna e resiliente em todos os domínios e em todas as condições. Condições ambientais extremas, agravadas por ambientes eletromagnéticos, ações cibernéticas adversas e fragmentação geopolítica, não devem comprometer a coordenação operacional. Uma arquitetura de comunicações que antecipe perturbações e se adapte de forma inteligente à incerteza fornece a base estrutural para uma vantagem estratégica sustentável.

Este livro oferece uma análise abrangente das dimensões tecnológicas, doutrinárias e estratégicas da transição do 5G para o 6G nas comunicações militares. Ao sintetizar a análise de engenharia com a visão estratégica, procura contribuir para o discurso em evolução sobre ecossistemas de comunicação seguros, inteligentes e soberanos. O objetivo não é apenas analisar tecnologias emergentes, mas enquadrá-las numa visão coerente de resiliência, interoperabilidade, governação ética e eficácia operacional.

Numa era marcada por uma rápida aceleração tecnológica e por desafios complexos de segurança, a capacidade de comunicar de forma segura e fiável torna-se sinónimo da capacidade de liderar, coordenar e prevalecer. A transição para arquiteturas de comunicação nativas de IA e sensíveis à tecnologia quântica representa tanto uma oportunidade como uma responsabilidade. Através de uma integração estruturada, de uma governação disciplinada e de um alinhamento de investigação voltado para o futuro, os sistemas de comunicações militares podem evoluir para infraestruturas adaptativas, capazes de sustentar a estabilidade estratégica e a excelência operacional nas próximas décadas.

Conclusão

Este livro examinou a transição do 5G para o 6G nas comunicações militares como uma transformação sistêmica, em vez de uma atualização tecnológica linear. Ao longo dos seus capítulos, demonstrou que as redes de comunicação de próxima geração não são meramente plataformas de transmissão de dados mais rápidas, mas facilitadores fundamentais da doutrina operacional, da resiliência estratégica, da coordenação multidomínio e da soberania a longo prazo. As principais conclusões que emergem desta análise abrangente confirmam que a evolução para arquiteturas nativas de IA, preparadas para o quântico e integradas espaço-ar-terra representam um ponto de inflexão decisivo na modernização dos sistemas de comunicação militar.

O resumo das principais conclusões revela várias conclusões interligadas. Em primeiro lugar, os sistemas de comunicação tática legados, embora historicamente eficazes no seu âmbito operacional, são estruturalmente limitados em termos de capacidade de largura de banda, interoperabilidade, adaptabilidade e resiliência face às ameaças cibernéticas e eletrônicas contemporâneas. A sua arquitetura não foi concebida para operações intensivas em dados em tempo real, detecção distribuída ou coordenação de plataformas autônomas. À medida que o ambiente operacional se expandiu para teatros multidomínio caracterizados por congestionamento do espectro e exposição cibernética persistente, estas limitações tornaram-se estrategicamente significativas.

Em segundo lugar, a integração das tecnologias 5G em ambientes militares introduziu capacidades transformadoras. A banda larga móvel melhorada permitiu a transmissão de vídeo de alta definição e a fusão de sensores quase em tempo real. A comunicação ultraconfiável de baixa latência suportou a coordenação de veículos aéreos e terrestres não tripulados. A conectividade massiva do tipo máquina facilitou a implantação de sensores distribuídos e infraestruturas de bases inteligentes. A virtualização e o network slicing permitiram a segmentação crítica para a missão e a gestão de tráfego priorizada. No entanto, o livro também demonstrou que estes benefícios vêm acompanhados de desafios estruturais. Os planos de controlo virtualizados aumentam a superfície de ataque potencial. A convergência das infraestruturas civis e militares introduz domínios de vulnerabilidade partilhados. A natureza dinâmica da arquitetura definida por software requer modelos avançados de governação e segurança.

Em terceiro lugar, os fatores operacionais que impulsionam o 6G não são baseados em aspirações, mas sim em necessidades. Os requisitos militares emergentes exigem fiabilidade extrema, latência determinística, alocação adaptativa do espectro, capacidades de detecção integradas e estruturas de encriptação resistentes à computação quântica. A aceleração dos ciclos de decisão, particularmente no âmbito de estruturas de comando e controlo apoiadas por IA, requer sistemas de comunicação capazes de manter uma capacidade de resposta ao nível de microssegundos. A densificação de dispositivos e sensores exige eficiência avançada do espectro e orquestração inteligente de recursos. As capacidades adversárias de guerra eletrónica requerem mecanismos de defesa adaptativos e cognitivos incorporados na própria arquitetura de comunicação.

A análise dos conceitos fundamentais da 6G revelou que a inteligência artificial se tornará um princípio arquitetônico, em vez de uma camada de otimização. As redes nativas de IA prometem autoconfiguração, manutenção preditiva, detecção de anomalias e gestão dinâmica da topologia e d . A integração de sensores e comunicações esbata a distinção entre conectividade e consciência ambiental. As comunicações em terahertz ampliam os horizontes da largura de banda, mas introduzem desafios de propagação que exigem técnicas avançadas de formação de feixes e modelação ambiental. A integração espaço-ar-terra proporciona redundância e continuidade operacional, mas exige uma orquestração harmonizada entre domínios de latência heterogêneos.

As considerações de segurança representam um dos temas mais decisivos deste trabalho. A maturação prevista da computação quântica introduz um risco criptográfico a longo prazo, tornando imperativa a adoção proativa de algoritmos pós-quânticos. Estruturas de confiança zero e mecanismos de autenticação distribuída devem ser incorporados nas bases arquitetônicas. A resistência cognitiva à guerra eletrônica e os sistemas de detecção de intrusão impulsionados por IA devem antecipar a manipulação adversária, em vez de se limitarem a responder a eventos de intrusão. O livro enfatizou que a segurança deve ser intrínseca, e não suplementar, ao projeto de comunicações da próxima geração.

A interoperabilidade e a normalização revelaram-se imperativos estratégicos. As operações de coligação requerem normas de comunicação harmonizadas e mecanismos seguros de intercâmbio entre domínios. A divergência nos quadros regulamentares e nos ecossistemas tecnológicos acarreta o risco de fragmentação. A transição 5G–6G deve, por conseguinte, estar alinhada com as estruturas de aliança e os esforços de governação multinacionais. A coexistência civil-militar no espectro e a partilha de infraestruturas introduzem uma complexidade adicional que deve ser gerida através de uma colaboração regulamentar estruturada.

A importância estratégica da transição do 5G para o 6G vai além da modernização técnica. As redes de comunicação moldam agora o ritmo operacional, a distribuição da autoridade de comando e o domínio da informação. A capacidade de manter uma conectividade segura e contínua influencia diretamente a credibilidade da dissuasão e a estabilidade da escalada. Em ambientes contestados, a resiliência das comunicações determina se a ação coordenada pode ser mantida em condições de perturbação. À medida que a guerra se torna cada vez mais orientada por dados, a superioridade da informação torna-se sinónimo de superioridade operacional.

Além disso, a convergência dos ecossistemas tecnológicos civis e militares tem profundas implicações geopolíticas. A dependência de cadeias de abastecimento globalizadas suscita preocupações de soberania. A fragmentação das normas tecnológicas pode redefinir a coesão das alianças. A infraestrutura partilhada complica o planeamento da resiliência e a dinâmica de escalada. A importância estratégica dos sistemas de comunicação de próxima geração reside, portanto, não apenas no

desempenho no campo de batalha, mas também na estabilidade nacional e internacional.

O roteiro para a implantação operacional do 6G requer uma progressão disciplinada através da validação da investigação, experimentação piloto, alinhamento da interoperabilidade, escalabilidade industrial, desenvolvimento da força de trabalho e maturação da governação. Bancos de ensaio experimentais, gémeos digitais e integração de infraestruturas híbridas são essenciais para testar sob pressão arquiteturas nativas de IA em condições adversas realistas. A colaboração entre o meio académico e a indústria de defesa acelera a inovação, garantindo simultaneamente a viabilidade operacional.

A visão estratégica de longo prazo articulada ao longo deste livro sublinha que a comunicação deve permanecer eficaz em todas as condições operacionais, incluindo ambientes meteorológicos extremos, congestionamento do espectro, intrusão cibernética e degradação da infraestrutura física. O controlo adaptativo de formas de onda, a redundância distribuída em múltiplos domínios, a encriptação resistente à computação quântica e a orquestração impulsionada pela IA não são melhorias opcionais, mas sim necessidades estruturais para os futuros ecossistemas de comunicação militar.

Dentro deste quadro estratégico mais amplo, a abordagem orientada para a integração proposta por Rexhep Mustafovski enfatiza a convergência estruturada da inteligência artificial, autenticação baseada em blockchain, segurança criptográfica pós-quântica, gestão adaptativa do espectro e conectividade multidomínio para garantir uma comunicação resiliente e oportuna em todas as condições operacionais e ambientais. Esta perspetiva de integração alinha-se com as tendências emergentes da investigação global, oferecendo simultaneamente caminhos práticos para uma implementação segura e soberana.

As considerações finais sobre as futuras comunicações militares devem reconhecer que a aceleração tecnológica, por si só, não garante vantagem estratégica. A inovação sem governação introduz fragilidade. A automatização sem supervisão arrisca a perda de responsabilização. A conectividade sem resiliência convida à vulnerabilidade sistémica. Portanto, o futuro das comunicações militares deve ser guiado por princípios de soberania, interoperabilidade, responsabilidade ética e resiliência estrutural.

A inteligência artificial continuará a expandir o seu papel na gestão de redes e no apoio à tomada de decisões. No entanto, a autoridade humana e a clareza doutrinária devem permanecer centrais. As estruturas de segurança pós-quânticas devem fazer a transição da investigação teórica para a implantação operacional antes que ocorram avanços adversários. A deteção integrada deve ser regulamentada para evitar interpretações erradas e escaladas. As arquiteturas espaço-ar-terra devem equilibrar a redundância com a gestão da complexidade.

A integração de energia sustentável e a resiliência ambiental devem também moldar o planeamento das infraestruturas. Os sistemas de comunicação implementados em

condições remotas ou adversas requerem projetos energeticamente eficientes e uma gestão adaptativa da energia. A resiliência meteorológica, incluindo o funcionamento durante condições meteorológicas severas ou perturbações atmosféricas, deve ser incorporada nos parâmetros de projeto de formas de onda e de hardware.

A educação e o desenvolvimento do capital humano representam pilares fundamentais do sucesso a longo prazo. Engenheiros, especialistas em cibersegurança e comandantes operacionais devem compreender a transformação estrutural que ocorre nos ecossistemas de comunicação. A formação contínua e a colaboração interdisciplinar garantem que a capacidade institucional evolua a par do progresso tecnológico.

Em conclusão, a transição de 5G para 6G nas comunicações militares representa uma das transformações tecnológicas mais consequentes do ambiente de segurança contemporâneo. Ela remodela as estruturas de comando, acelera os ciclos de decisão e redefine o domínio da informação. Introduz novas vulnerabilidades, ao mesmo tempo que oferece uma capacidade operacional sem precedentes. O desafio estratégico reside na integração de tecnologias avançadas em arquiteturas coerentes, resilientes e regidas por princípios éticos.

Os futuros sistemas de comunicação militar devem ser inteligentes, mas controláveis; adaptáveis, mas seguros; interoperáveis, mas soberanos. Através de uma integração estruturada, de experimentação rigorosa e de visão estratégica, a transformação rumo ao 6G pode reforçar a resiliência operacional e sustentar a estabilidade estratégica a longo prazo. A evolução analisada neste livro não é o fim da modernização, mas sim a base de uma nova doutrina de comunicação para as décadas que se avizinham.

Referências

1. Mustafovski, Rexhep., *Doutrina de Comunicações Militares – Um Guia Sistemático para o Comando, Controlo e Comunicações nas Forças Armadas Modernas*, LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-23709-6.
2. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de Comunicação Seguros para Operações Militares Modernas – Fundamentos, Tecnologias e Orientações Futuras*, 1.ª Edição, LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Letónia, 2025, ISBN 978-620-9-27053-6.
3. Mustafovski, Rexhep., *Doutrina Militar de Comunicações – Guia Sistemático de Comando, Controlo e Comunicações nas Forças Armadas Modernas*, Edições Nuestro Conocimiento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-52219-2.
4. Mustafovski, Rexhep., *Doutrina das comunicações militares – Um guia sistemático sobre comando, controlo e comunicações nas forças armadas modernas*, Edições Notre Savoir, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-52475-2.
5. Mustafovski, Rexhep., *Doutrina das comunicações militares – Guia sistemático do comando, controlo e comunicações nas forças armadas modernas*, Edições Nosso Conhecimento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-52987-0.
6. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Sapienza, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-52731-9.
7. Mustafovski, Rexhep., *Doutrina das comunicações militares – Um Guia Sistemático para o Comando, Controlo e Comunicações nas Forças Armadas Modernas*, Edições Nosso Conhecimento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-53243-6.
8. Mustafovski, Rexhep., *Doutrina de Comunicações Militares – Um Guia Sistemático para Comando, Controlo e Comunicações nas Forças Armadas Modernas*, Edições Nosso Conhecimento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-51963-5.
9. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicação seguros para operações militares modernas – Fundamentos, tecnologias e perspectivas futuras*, Editora Nasza Wiedza, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-57812-0.
10. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicação seguros para operações militares modernas – Fundamentos, tecnologias e perspectivas futuras*, Editora Nosso Conhecimento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-56532-8.

11. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicação seguros para operações militares modernas – Fundamentos, tecnologias e perspectivas futuras*, Edições Nosso Conhecimento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-56788-9.
12. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicação seguros para operações militares modernas – Fundamentos, tecnologias e direções futuras*, Edições Nosso Conhecimento, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-58836-5.
13. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicação seguros para operações militares modernas – Fundamentos, tecnologias e direções futuras*, Edições Sapienza, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-57556-3.
14. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicação seguros para operações militares modernas – Fundamentos, tecnologias e orientações futuras*, Edições Notre Savoir, Riga, Letónia, 2026, ISBN 978-620-9-57044-5.
15. Mustafovski, Rexhep., «Características tático-técnicas e organização de uma estação de comunicação com o veículo motorizado de comando “Chevrolet Tahoe”», *STIT*, 196 (2), 2026, pp. 28–29, ISSN 1857-6710.
16. Mustafovski, Rexhep., «Simulações para a Formação Logística em Operações Militares», *STIT*, 195 (1), 2026, pp. 32–34, ISSN 1857-6710.
17. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar., «Estado da Arte dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite: Um Estudo Comparativo do GPS, GLONASS e Galileo», *Contemporary Macedonian Defence*, 25 (49), 2025, pp. 119–132, ISSN 1409-8199.
18. Mustafovski, Rexhep., «Estrutura arquitetónica de uma plataforma de comunicação de UAV centrada na missão», *Automation of Technological and Business Processes*, 17 (3), 2025, pp. 44–58, ISSN 2312-3125 (impresso), 2312-931X (online).
19. Mustafovski, Rexhep., «Modelo integrado para uma rede de comunicação classificada com acesso VPN para operações militares modernas», *STIT*, 194 (12), 2025, pp. 34–36, ISSN 1857-6710.
20. Mustafovski, Rexhep., «Plataformas modernas de tecnologia da informação e comunicação: avanços na gestão do SecuDroneComm», *Management Science Advances*, Online (1), 2025, pp. 1–10, ISSN 3042-2205.
21. Mustafovski, Rexhep., «Modelo Conceptual Avançado Integrado para Comunicações Militares», *STIT*, 193 (11), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
22. Mustafovski, Rexhep., «Wi-OPS: Plataforma Integrada para Rastreamento Militar», *STIT*, 192 (10), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
23. Mustafovski, Rexhep., «PoWiFi: Eficiência dos sensores através da alimentação sem fios», *STIT*, 191 (9), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.

24. Mustafovski, Rexhep., «Visão através das paredes: aplicação de sinais Wi-Fi e inteligência artificial para a deteção de pessoas em espaços ocultos», *STIT*, 190 (8), 2025, pp. 36–37, ISSN 1857-6710.
25. Mustafovski, Rexhep., «Dispositivo de rádio “9661 HF” – Um sistema de comunicação moderno para missões militares táticas e operacionais», *STIT*, 189 (7), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
26. Mustafovski, Rexhep., «“Inmarsat” – Comunicação por satélite em unidades táticas e operacionais», *STIT*, 188 (6), 2025, pp. 20–21, ISSN 1857-6710.
27. Mustafovski, Rexhep., «O Futuro das Comunicações Militares», *STIT*, 187 (5), 2025, pp. 22–23, ISSN 1857-6710.
28. Mustafovski, Rexhep., «Guerra eletrónica e bloqueadores de radiofrequência – Tecnologias-chave para operações militares modernas», *STIT*, 186 (4), 2025, pp. 24–25, ISSN 1857-6710.
29. Mustafovski, Rexhep., «Modelação de Sistemas para a Deteção de Veículos Aéreos Não Tripulados», *STIT*, 185 (3), 2025, pp. 26–27, ISSN 1857-6710.
30. Mustafovski, Rexhep., «Utilização do dispositivo de rádio “RF-7800V-HH” em unidades táticas», *STIT*, 184 (2), 2025, pp. 44–45, ISSN 1857-6710.
31. Mustafovski, Rexhep., «Telefone VoIP encriptado “Aselsan 2121” – Avanço tecnológico para comunicações seguras, táticas e estratégicas», *STIT*, 183 (1), 2025, pp. 44–45, ISSN 1857-6710.
32. Mustafovski, Rexhep., «Telefone de campo militar multifuncional “Aselsan 6200” com capacidades avançadas», *STIT*, 182 (12), 2024, p. 45, ISSN 1857-6710.
33. Mustafovski, Rexhep., «Sistema de Guerra Eletrónica por Radar Móvel “KORAL II”», *STIT*, 180 (10), 2024, pp. 44–46, ISSN 1857-6710.
34. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar., «Módulo de localização de alvos por visão computacional baseado em ângulos para vigilância militar melhorada», *Scientific Technical Review*, 74 (2), 2024, pp. 32–37, ISSN 2683-5770.
35. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar e Radovanović, Marko e Jokić, Željko., «Plataformas modulares inteligentes para a próxima geração de treino em campos de tiro», *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, pp. 41–51, ISSN 2683-5770.
36. Mustafovski, Rexhep., «Avaliação do Impacto Operacional do SecuDroneComm: Avaliação Baseada em Simulação da Comunicação Segura de UAV em Ambientes Militares», *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, pp. 11–18, ISSN 2683-5770.

37. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar., «Integração de tecnologias quânticas em sistemas militares móveis e estruturas TOC», *Land Forces Academy Review*, 30 (3), 2025, pp. 466–478, ISSN 3100-5063 (impresso), 3100-5071 (online).
38. Mustafovski, Rexhep., «Comparação do estado da arte dos sensores na Indústria 4.0, Indústria 5.0 e tecnologias de monitorização de baixo custo», *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, Online, 2025, pp. 1–14, ISSN 3009-3309.
39. Mustafovski, Rexhep., «Simulação de segurança e velocidade: uma avaliação comparativa da plataforma MobileSecureComm face aos sistemas de comunicação tática tradicionais», *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 3 (1), 2025, pp. 147–157, ISSN 3009-3309.
40. Mustafovski, Rexhep., «A utilização de plataformas de comunicação em operações militares: reforço da eficácia estratégica e tática», *Database Systems Journal*, 16 (1), 2025, pp. 1–10, ISSN 2069-3230.
41. Mustafovski, Rexhep., «Comparação de ponta entre o MobileSecureComm e plataformas modernas de comunicação segura para operações táticas», *Balkan Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 8 (1), 2025, pp. 87–98, ISSN 2545-4803.
42. Mustafovski, Rexhep., «Integração da visão computacional com o algoritmo YOLOv8 para PID: uma análise do estado da arte», *Contemporary Macedonian Defence*, 48 (1), 2025, pp. 83–94, ISSN 1409-8199.
43. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar e Radovanović, Marko., «Alterações Climáticas e o Seu Impacto na Área de Treino Militar de Krivolak no Século XXI: Desafios, Adaptação e o Papel das Tecnologias Militares Inteligentes», *Serbian Journal of Engineering Management*, 10 (2), 2025, pp. 12–18, ISSN 3042-0474.
44. Mustafovski, Rexhep., «Avanços do SecuDroneComm: Uma Análise Comparativa do Estado da Arte com Plataformas Modernas de TIC para Comunicação Segura», *Revista Sérvia de Gestão de Engenharia*, 10 (2), 2025, pp. 61–70, ISSN 2466-4693.
45. Mustafovski, Rexhep., «Estrutura arquitetónica baseada em fórmulas da plataforma SecuDroneComm para comunicações de veículos aéreos não tripulados», *Management Science Advances*, 2 (1), 2025, pp. 288–303, ISSN 3042-2205.
46. Mustafovski, Rexhep., «Sistema de comando de assistência e resposta precoce a ameaças biológicas (BEAR-CS)», *Automation of Technological and Business Processes*, 17 (1), 2025, ISSN 2312-3125 (impresso), 2312-931X (online).

47. Mustafovski, Rexhep., «Placa de desenvolvimento digital para detecção de objetos de curto alcance com técnica de ocultação de dados esteganográfica», *Revista de Engenharia Elétrica e Tecnologias da Informação*, 9 (1), 2024, pp. 63–70, ISSN 2545-4269.
48. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., e Radovanović, Radovanović., «Sistema Inteligente de Gestão de Resíduos (IWMS): Triagem com Deep Learning e Integração de Sensores de Enchimento de Contentores», em *Proteção Ambiental e Riscos de Catástrofes (EnviroRisks 2024)*, 1.^a Edição, Springer, Cham, Suíça, 2024, pp. 188–193, ISBN 978-3-031-74707-6.
49. Glavinov, Aleksandar., Doneva, Blagica., e Mustafovski, Rexhep., «Aplicação da Inteligência Artificial na Infraestrutura Rodoviária», em *Terceiro Congresso Rodoviário da Macedónia*, 6–7 de novembro de 2025, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2025.
50. Glavinov, Aleksandar., Sofronievska, Maja., e Mustafovski, Rexhep., «Estradas inteligentes para intervenção de emergência e salvamento», no *Terceiro Congresso Rodoviário da Macedónia*, 6–7 de novembro de 2025, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2025.
51. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., «Avanços em Sensores Digitais Industriais (Versão 3.0 a 4.0) e Sistemas de Radar para Detecção de Objetos: Uma Revisão do Estado da Arte», na *Terceira Conferência Internacional ETIMA 2025*, 24–25 de setembro de 2025, Štip, República da Macedónia do Norte, 2025.
52. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., «Desafios e soluções para melhorar o desempenho da comunicação entre drones e o Centro de Operações Táticas (TOC) em operações militares e de crise», na *Terceira Conferência Internacional ETIMA 2025*, 24–25 de setembro de 2025, Štip, República da Macedónia do Norte, 2025.
53. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., «Conceção de uma Estrutura de Comunicação Segura para Operações UAV-TOC em Ambientes Militares e de Emergência», na *Terceira Conferência Internacional ETIMA 2025*, 24–25 de setembro de 2025, Štip, República da Macedónia do Norte, 2025.
54. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., «Análise de desempenho baseada em simulação de uma estrutura de comunicação segura entre UAV e TOC em operações militares e de emergência», na *Terceira Conferência Internacional ETIMA 2025*, 24–25 de setembro de 2025, Štip, República da Macedónia do Norte, 2025.
55. Petrovski, Aleksandar., Mijalkovski, Stojance., e Mustafovski, Rexhep., «Aplicação de biossensores com localizadores GPS para monitorizar a saúde dos mineiros em minas subterrâneas: uma estrutura abrangente para maior

- segurança e eficiência operacional», na *XVI Consulta Profissional com Participação Internacional: Tecnologia de Exploração Subterrânea e à Superfície de Recursos Minerais (Podex–Povex '25)*, 3–5 de outubro de 2025, Ohrid, República da Macedónia do Norte, 2025.
56. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., «MobileSecureComm: Uma Plataforma de Comunicação Tática de Última Geração para Operações Terrestres, Marítimas e Aéreas», na *32.ª Conferência Internacional do IEEE sobre Sistemas, Sinais e Processamento de Imagem (IWSSIP 2025)*, 24–26 de junho de 2025, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2025.
57. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., Radovanović, Marko., e Jokić, Željko., «Aplicação de plataformas modulares terrestres na modernização de campos de tiro – Portadores de alvos inteligentes», na *16.ª Conferência Internacional DQM sobre Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida (ICDQM 2025)*, 26–27 de junho de 2025, Prijedor, República da Sérvia, 2025.
58. Mustafovski, Rexhep., «As Vulnerabilidades de Segurança e os Desafios das Tecnologias IoT», na *Conferência Estudantil sobre Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável (SCEESD)*, 29 de outubro – 1 de novembro de 2024, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2025.
59. Mustafovski, Rexhep., «A Importância da Utilização de Dispositivos Inteligentes», na *Conferência de Estudantes sobre Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável*, 26–29 de outubro de 2022, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2023.
60. Mustafovski, Rexhep., «Sistema Integrado de Controlo e Monitorização (ICMS) Utilizando Placas Eletrónicas Digitais para Monitorização e Detecção de Objetos a Curta Distância», na *Conferência Internacional ACCHE – Conferência Anual sobre os Desafios do Ensino Superior Contemporâneo*, 3–7 de fevereiro de 2025, Kopaonik, República da Sérvia, 2025.
61. Mustafovski, Rexhep., «Comparação de última geração da plataforma SecuDroneComm com sistemas de comunicação segura para drones existentes», na *Conferência Internacional ACCHE – Conferência Anual sobre os Desafios do Ensino Superior Contemporâneo*, 3–7 de fevereiro de 2025, Kopaonik, República da Sérvia, 2025.
62. Mustafovski, Rexhep., «Investigação e análise de ponta de refletores de radar ativos e passivos e de sistemas de radar ultrassónico», na *Conferência Internacional ACCHE – Conferência Anual sobre os Desafios do Ensino Superior Contemporâneo*, 3–7 de fevereiro de 2025, Kopaonik, República da Sérvia, 2025.
63. Mustafovski, Rexhep., e Petrovski, Aleksandar., «Análise da Utilização de Sistemas Modernos de Orientação de Fogo e a sua Implementação em

- Unidades de Infantaria», na 11.^a *Conferência Científica Internacional sobre Tecnologias Defensivas (OTEX 2024)*, 9–11 de novembro de 2024, Tara, República da Sérvia, 2024.
64. Mustafovski, Rexhep., «Aspectos éticos na construção de um sistema de radar de detecção de objetos de curto alcance com Arduino Mega 2560», na *XVI Conferência Internacional ETAI 2024*, 21–23 de setembro de 2024, Struga, República da Macedónia do Norte, 2024.
65. Mustafovski, Rexhep., «A Utilização de uma Placa de Desenvolvimento Digital para o Desenvolvimento de um Sistema de Radar Ultrassónico para Detecção de Curta Distância numa Configuração de 360 Graus», na *XVI Conferência Internacional ETAI 2024*, 21–23 de setembro de 2024, Struga, República da Macedónia do Norte, 2024.
66. Mustafovski, Rexhep., «Garantir a segurança da informação na era digital», na *Segunda Conferência Internacional ETIMA 2023*, 27–29 de setembro de 2023, Štip, República da Macedónia do Norte, 2024.
67. Mustafovski, Rexhep., Achkoski, Jugoslav., e Petrovski, Aleksandar., «Maior influência dos serviços de redes sociais nas interações sociais quotidianas durante a situação de pandemia», em *CMiGIN 2022: 2.^a Conferência Internacional sobre Gestão de Conflitos em Redes de Informação Globais*, 30 de novembro de 2022, Kiev, Ucrânia, 2022.
68. Mustafovski, Rexhep., «Estratégias de Aprendizagem e Consciência Metacognitiva», na 2.^a *Conferência Científica Internacional MILCON'19: Academia Militar «Gen. Mihailo Apostolski»*, 12 de novembro de 2019, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2019.
69. Mustafovski, Rexhep., «Ambiente de Aprendizagem Digital de Próxima Geração (NGDLE)», na 2.^a *Conferência Científica Internacional MILCON'19: Academia Militar «Gen. Mihailo Apostolski»*, 12 de novembro de 2019, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2019.
70. Mustafovski, Rexhep., «Utilização da Análise das Necessidades de Formação para a Melhoria das Competências de Formação dos Cadetes», na 2.^a *Conferência Científica Internacional MILCON'19: Academia Militar «Gen. Mihailo Apostolski»*, 12 de novembro de 2019, Skopje, República da Macedónia do Norte, 2019.
71. Dang, S., Amin, O., Shihada, B., e Alouini, M.S., «O que deve ser o 6G?», *Nature Electronics*, 3, 2020, pp. 20–29.
72. David, K., e Berndt, H., «6G Vision and Requirements: Is There Any Need for Beyond 5G?», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13, 2018, pp. 72–80.
73. Yastrebova, A., Kirichek, R., Koucheryavy, Y., Borodin, A., e Koucheryavy, A., «Redes do Futuro 2030: Arquitetura e Requisitos», no 10.^o *Congresso*

Internacional sobre Sistemas de Telecomunicações e Controlo Ultramodernos e Workshops (ICUMT) de 2018, Moscovo, Rússia, 5–9 de novembro de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2018, pp. 1–8.

74. Andrews, J.G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S.V., Lozano, A., Soong, A.C. e Zhang, J.C., «What Will 5G Be?», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32, 2014, pp. 1065–1082.
75. Patzold, M., «5G Is Coming Around the Corner», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 4–10.
76. Rommel, S., Raddo, T.R., e Monroy, I.T., «Data Center Connectivity by 6G Wireless Systems», em *Photonics in Switching and Computing (PSC)*, Limassol, Chipre, 19–21 de setembro de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2018, pp. 1–3.
77. Kabir, H.D., Khosravi, A., Mondal, S.K., Rahman, M., Nahavandi, S., e Buyya, R., «Decisões Conscientes da Incerteza na Computação em Nuvem: Fundamentos e Direções Futuras», *ACM Computing Surveys*, 54, 2021, pp. 1–30.
78. Mondal, S.K., Wu, X., Kabir, H.M.D., Dai, H.N., Ni, K., Yuan, H., e Wang, T., «Rumo a uma previsão de carga ótima e a um esquema de autoescalonamento personalizável para o Kubernetes», *Mathematics*, 11, 2023, 2675.
79. Fang, C., Yao, H., Wang, Z., Wu, W., Jin, X., e Yu, F.R., «Um Estudo sobre Redes Centradas na Informação Móvel: Questões de Investigação e Desafios», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2353–2371.
80. Tataria, H., Shafi, M., Molisch, A.F., Dohler, M., Sjöland, H., e Tufvesson, F., «Sistemas sem fios 6G: Visão, Requisitos, Desafios, Perspetivas e Oportunidades», *Proceedings of the IEEE*, 109, 2021, pp. 1166–1199.
81. Kabir, H.D., Abdar, M., Khosravi, A., Jalali, S.M.J., Atiya, A.F., Nahavandi, S., e Srinivasan, D., «SpinalNet: Rede Neural Profunda com Entrada Gradual», *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 4, 2022, pp. 1165–1177.
82. Kabir, H.D., Khanam, S., Khozeimeh, F., Khosravi, A., Mondal, S.K., Nahavandi, S., e Acharya, U.R., «Quantificação profunda da incerteza sensível à aleatoriedade para aprendizagem por transferência», *Computers in Biology and Medicine*, 143, 2022, 105246.
83. Cashmore, M., Collins, A., Krarup, B., Krivic, S., Magazzeni, D., e Smith, D., «Towards Explainable AI Planning as a Service», arXiv, 2019, arXiv:1908.05059.
84. Kabir, H., «Redução da incerteza de ativação de classes com informação de contexto», arXiv, 2023, arXiv:2305.03238.

85. Chen, L., Chen, L., Jordan, S., Liu, Y.K., Moody, D., Peralta, R., Perlner, R.A., e Smith-Tone, D., *Relatório sobre Criptografia Pós-Quântica*, Departamento de Comércio dos EUA, Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia, Washington, DC, EUA, 2016.
86. Van Huynh, N., Hoang, D.T., Lu, X., Niyato, D., Wang, P., e Kim, D.I., «Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2889–2922.
87. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Alam, S.B., e Acharya, U.R., «Transfer Learning with Spinally Shared Layers», *Applied Soft Computing*, 163, 2024, 111908.
88. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Khanam, S., Khosravi, A., Rahman, S., Qazani, M.R.C., Alizadehsani, R., Asadi, H., Mohamed, S. e Nahavandi, S., « » «Uncertainty Aware Neural Network from Similarity and Sensitivity», *Applied Soft Computing*, 149, 2023, 111027.
89. Mao, Q., Hu, F., e Hao, Q., «Deep Learning for Intelligent Wireless Networks: A Comprehensive Survey», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2595–2621.
90. Elayan, H., Amin, O., Shihada, B., Shubair, R.M., e Alouini, M.S., «Banda Terahertz: A Última Peça do Quebra-cabeças do Espectro de RF para Sistemas de Comunicação», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2019, pp. 1–32.
91. ITU-R., *Requisitos mínimos relativos ao desempenho técnico para interfaces de rádio IMT-2020*, Relatório 2410-2017, 2017.
92. Boulogeorgos, A.A.A., Alexiou, A., Merkle, T., Schubert, C., Elschner, R., Katsiotis, A., Stavrianos, P., Kritharidis, D., Chartsias, P.K., e Kokkonemi, J., «Tecnologias Terahertz para Proporcionar Qualidade de Experiência de Rede Ótica em Sistemas Sem Fios Além do 5G», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 144–151.
93. Wang, C.X., You, X., Gao, X., Zhu, X., Li, Z., Zhang, C., Wang, H., Huang, Y., Chen, Y., e Haas, H., «On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies and Testbeds», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, pp. 905–974.
94. Jiang, W., Han, B., Habibi, M.A., e Schotten, H.D., «O caminho para o 6G: uma análise abrangente», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2021, pp. 334–366.
95. Nasrallah, A., Thyagaturu, A.S., Alharbi, Z., Wang, C., Shao, X., Reisslein, M., e ElBakoury, H., «Ultra-Low Latency Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, pp. 88–145.

96. Zhong, M., Yang, Y., Yao, H., Fu, X., Dobre, O.A., e Postolache, O., «5G e IoT: Rumo a uma nova era de comunicações e medições», *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 22, 2019, pp. 18–26.
97. Barneto, C.B., Turunen, M., Liyanaarachchi, S.D., Anttila, L., Brihuega, A., Riihonen, T., e Valkama, M., «High-Accuracy Radio Sensing in 5G New Radio Networks: Prospects and Self-Interference Challenge», na 53.^a *Conferência Asilomar sobre Sinais, Sistemas e Computadores de 2019*, Pacific Grove, CA, EUA, 3–6 de novembro de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2019, pp. 1159–1163.
98. 6G Flagship., *Principais impulsionadores e desafios de investigação para a inteligência sem fios ubíqua 6G*, Livro Branco, 2019.
99. NTT Docomo Inc., *Evolução do 5G e 6G*, Livro Branco, 2020.
100. Gui, G., Liu, M., Tang, F., Kato, N. e Adachi, F., «6G: Abrindo novos horizontes para a integração de conforto, segurança e inteligência», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 126–132.
101. You, X., Wang, C.X., Huang, J., Gao, X., Zhang, Z., Wang, M., Huang, Y., Zhang, C., Jiang, Y., e Wang, J., «Rumo às redes de comunicação sem fios 6G: Visão, tecnologias facilitadoras e novas mudanças de paradigma», *Science China Information Sciences*, 64, 2021, pp. 1–74.
102. Bhat, J.R., e Alqahtani, S.A., «Ecossistema 6G: Situação Atual e Perspectivas Futuras», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 43134–43167.
103. Alablani, I.A., e Arafah, M.A., «Um esquema de seleção de células adaptativo para redes 5G heterogêneas ultra-densas», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 64224–64240.
104. Sun, W., Wang, L., Liu, J., Kato, N., e Zhang, Y., «Transferência CoMP sensível ao movimento em redes heterogêneas ultra-densas», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, pp. 340–352.
105. Sharma, S.K., e Wang, X., «Rumo às comunicações massivas do tipo máquina em redes celulares de IoT ultra-densas: questões atuais e soluções assistidas por aprendizagem automática», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, pp. 426–471.
106. Wu, W., «Estudo sobre o desenvolvimento da rede de informação integrada no espaço e no solo», *Space-Integrated-Ground Information Network*, 1, 2020, pp. 1–16.
107. Akyildiz, I.F., Kak, A., e Nie, S., «6G e além: O futuro dos sistemas de comunicações sem fios», *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 133995–134030.
108. Samsung Research., *6G: A Próxima Experiência Hiperconectada para Todos*, Samsung, Suwon-si, República da Coreia, 2020.

109. Lu, Y., e Zheng, X., «6G: A Survey on Technologies, Scenarios, Challenges, and Related Issues», *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 2020, 100158.
110. Wang, C., Yu, H., Li, X., Ma, F., Wang, X., Taleb, T., e Leung, V.C., «Implantação de microsserviços com consciência de dependências para computação de ponta: uma abordagem de aprendizagem por reforço profundo com representação de rede», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 23, 2024, pp. 14737–14753.
111. Wang, C., Jia, B., Yu, H., Chen, L., Cheng, K., e Wang, X., «Aprendizagem federada assistida por atenção para a alocação de tarefas colaborativas com consciência de dependências em cenários de redes inteligentes assistidas por borda», na *Conferência Internacional IEEE/CIC sobre Comunicações na China (ICCC) de 2022*, Foshan, China, 11–13 de agosto de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2022, pp. 856–861.
112. Wang, X., Kong, L., Kong, F., Qiu, F., Xia, M., Arnon, S., e Chen, G., «Comunicação por ondas milimétricas: um estudo abrangente», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 1616–1653.
113. Ippolito, L.J., «Propagação de Rádio para Sistemas de Comunicações Espaciais», *Proceedings of the IEEE*, 69, 1981, pp. 697–727.
114. Ajorloo, H., e Manzuri-Shalmani, M.T., «Modeling Beacon Period Length of the UWB and 60-GHz mmWave WPANs Based on ECMA-368 and ECMA-387 Standards», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12, 2012, pp. 1201–1213.
115. Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A.B., Knightly, E.W., Perahia, E., e Widmer, J.C., «IEEE 802.11ad: Comunicação direcional a 60 GHz para Wi-Fi de vários gigabits por segundo», *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, pp. 132–141.
116. Han, B., Wang, L. e Schotten, H.D., «Um modelo 3D de obstrução pelo corpo humano para comunicações celulares de ondas milimétricas em ambientes exteriores», *Physical Communication*, 25, 2017, pp. 502–510.
117. Al-Samman, A.M., Azmi, M.H., e Rahman, T.A., «Um Estudo sobre Comunicações por Ondas Milimétricas para 5G: medição de canais abaixo e acima de 6 GHz», em *Recent Trends in Data Science and Soft Computing, Atas da 3.ª Conferência Internacional sobre Tecnologia de Informação e Comunicação Fíavel (IRICT 2018)*, Kuala Lumpur, Malásia, 23–24 de junho de 2018, Springer, Berlim/Heidelberg, Alemanha, 2019, pp. 451–463.
118. Huq, K.M.S., Busari, S.A., Rodriguez, J., Frascolla, V., Bazzi, W. e Sicker, D.C., «Sistema sem fios com tecnologia terahertz para redes ultrarrápidas pós-5G: uma breve análise», *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 89–95.

119. Rappaport, T.S., Xing, Y., Kanhere, O., Ju, S., Madanayake, A., Mandal, S., Alkhateeb, A., e Trichopoulos, G.C., «Comunicações sem fios e aplicações acima dos 100 GHz: Oportunidades e desafios para o 6G e além», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 78729–78757.
120. Kabir, H.M.D., «Um multiplicador de frequência utilizando três transistores de grafeno ambipolares», *Microelectronics Journal*, 70, 2017, pp. 12–15.
121. Chen, Z., Ma, X., Zhang, B., Zhang, Y., Niu, Z., Kuang, N., Chen, W., Li, L. e Li, S., «Um Estudo sobre Comunicações Terahertz», *China Communications*, 16, 2019, pp. 1–35.
122. Sareddeen, N.S.H., Al-Naffouri, T.Y., e Alouini, M.S., «Comunicações Terahertz de Próxima Geração: Um Encontro entre Detecção, Imagem e Localização», *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 69–75.
123. Zhang, J., Zhu, M., Hua, B., Lei, M., Cai, Y., Zou, Y., Tian, L., Li, A., Huang, Y., e Yu, J., «Demonstração em tempo real de 100 GbE orientada para o 6G de uma comunicação contínua de fibra-THz-fibr , possibilitada pela fotônica», na *Conferência e Exposição de Comunicações por Fibra Ótica de 2022 (OFC)*, San Diego, CA, EUA, 6–10 de março de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2022, pp. 1–3.
124. Bariah, L., Mohjazi, L., Muhaidat, S., Sofotasios, P.C., Kurt, G.K., Yanikomeroglu, H., e Dobre, O.A., «Uma perspectiva prospetiva: tecnologias facilitadoras-chave, aplicações e tópicos de investigação em aberto nas redes 6G», *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 174792–174820.
125. Giordani, M., Polese, M., Mezzavilla, M., Rangan, S., e Zorzi, M., «Rumo às redes 6G: Casos de uso e tecnologias», *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 55–61.
126. Tavakkolnia, I., Jagadamma, L.K., Bian, R., Manousiadis, P.P., Videv, S., Turnbull, G.A., Samuel, I.D., e Haas, H., «Fotovoltaicos orgânicos para captação simultânea de energia e comunicações sem fios óticas MIMO de alta velocidade», *Light: Science & Applications*, 10, 2021, 41.
127. Xu, W., Zhang, J., Kim, J.Y., Huang, W., Kanhere, S.S., Jha, S.K., e Hu, W., «O projeto, a implementação e a implantação de um sistema de iluminação inteligente para edifícios inteligentes», *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, pp. 7266–7281.
128. Perera, A., Katz, M., Godaliyadda, R., Häkkinen, J., e Strömmer, E., «Internet das Coisas baseada na luz: implementação de um nó energeticamente autónomo ligado opticamente», na *Conferência IEEE de Comunicações e Redes Sem Fios (WCNC) de 2021*, Nanjing, China, 29 de março–1 de abril de 2021, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2021, pp. 1–7.

129. Padhi, S., e Subramanyam, R., «Algoritmos baseados no nível de incerteza através da gestão de energia renovável para centros de dados geograficamente distribuídos», *Cluster Computing*, 27, 2024, pp. 5337–5354.
130. He, X., Xie, E., Islim, M.S., Purwita, A.A., McKendry, J.J., Gu, E., Haas, H., e Dawson, M.D., «Comunicações de 1 Gbps no espaço livre na faixa do ultravioleta profundo com base em micro-LEDs de nitreto III que emitem a 262 nm», *Photonics Research*, 7, 2019, pp. B41–B47.
131. Soltani, M.D., Sarbazi, E., Bamiedakis, N., De Souza, P., Kazemi, H., Elmighani, J.M., White, I.H., Penty, R.V., Haas, H., e Safari, M., «Análise de segurança para comunicações sem fios óticas baseadas em laser: um tutorial», *Proceedings of the IEEE*, 110, 2022, pp. 1045–1072.
132. Hamza, A.S., Deogun, J.S., e Alexander, D.R., «Estrutura de classificação para ligações e sistemas de comunicação ótica em espaço livre», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, pp. 1346–1382.
133. Kazemi, H., Sarbazi, E., Soltani, M.D., Safari, M., e Haas, H., «Um sistema de backhaul óptico sem fios para interiores de 1 Tb/s utilizando matrizes VCSEL», no *31.º Simpósio Internacional Anual da IEEE sobre Comunicações de Rádio Pessoais, de Interior e de Móveis (PIMRC) de 2020*, Londres, Reino Unido, 31 de agosto–3 de setembro de 2020, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2020, pp. 1–6.
134. Yoshida, K., Manousiadis, P.P., Bian, R., Chen, Z., Murawski, C., Gather, M.C., Haas, H., Turnbull, G.A., e Samuel, I.D., «Diodos emissores de luz orgânicos com largura de banda de 245 MHz utilizados numa ligação de dados sem fios ótica de gigabit», *Nature Communications*, 11, 2020, 1171.
135. Matthews, W., Ahmed, Z., Ali, W., e Collins, S., «Um recetor VLC OOK baseado em SiPM de 3,45 Gigabits/s», *IEEE Photonics Technology Letters*, 33, 2021, pp. 487–490.
136. Soltani, M.D., Purwita, A.A., Zeng, Z., Haas, H., e Safari, M., «Modelagem da orientação aleatória de dispositivos móveis: medição, análise e caso de uso do LiFi», *IEEE Transactions on Communications*, 67, 2018, pp. 2157–2172.
137. Arfaoui, M.A., Soltani, M.D., Tavakkolnia, I., Ghrayeb, A., Assi, C.M., Safari, M., e Haas, H., «Modelos de canal baseados em medições para sistemas LiFi em ambientes interiores», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2020, pp. 827–842.
138. Yesilkaya, A., Bian, R., Tavakkolnia, I., e Haas, H., «Modulação espacial ótica baseada em OFDM», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, pp. 1433–1444.
139. Eroglu, Y.S., Anjinappa, C.K., Guvenc, I., e Pala, N., «Slow Beam Steering and NOMA for Indoor Multi-User Visible Light Communications», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 20, 2019, pp. 1627–1641.
140. Su, N., Panayirci, E., Koca, M., Yesilkaya, A., Poor, H.V., e Haas, H., «Segurança da camada física para sistemas de comunicação por luz visível MIMO multiutilizador com modulação por deslocamento espacial

- generalizada», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 2585–2598.
141. Chowdhury, M.Z., Hossan, M.T., Islam, A., e Jang, Y.M., «Um Estudo Comparativo das Tecnologias Óticas Sem Fios: Arquiteturas e Aplicações», *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 9819–9840.
 142. Al-Kinani, A., Wang, C.X., Zhou, L., e Zhang, W., «Medições e modelos de canais de comunicação sem fios óticos», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 1939–1962.
 143. Marcus, M., Burtle, J., Franca, B., Lahjouji, A., e McNeil, N., *Grupo de Trabalho sobre Política de Espectro da Comissão Federal de Comunicações: Relatório do Grupo de Trabalho sobre Dispositivos Não Licenciados e Licenças Experimentais*, Comissão Federal de Comunicações, Washington, DC, EUA, 2002.
 144. Kliks, A., Kulacz, L., Kryszkiewicz, P., Bogucka, H., Dryjanski, M., Isaksson, M., Koudouridis, G.P., e Tengkvist, P., «Beyond 5G: Big Data Processing for Better Spectrum Utilization», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 15, 2020, pp. 40–50.
 145. Liang, Y.C., Zhang, Q., Larsson, E.G., e Li, G.Y., «Symbiotic Radio: Cognitive Backscattering Communications for Future Wireless Networks», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 1242–1255.
 146. Bhattarai, S., Park, J.M.J., Gao, B., Bian, K. e Lehr, W., «An Overview of Dynamic Spectrum Sharing: Ongoing Initiatives, Challenges, and a Roadmap for Future Research», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 2, 2016, pp. 110–128.
 147. Wang, B., e Liu, K.R., «Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 5, 2010, pp. 5–23.
 148. Mitola, J., «Rádio Cognitivo para Comunicações Multimédia Móveis Flexíveis», no *Workshop Internacional IEEE de 1999 sobre Comunicações Multimédia Móveis (MoMuC'99)*, San Diego, CA, EUA, 15–17 de novembro de 1999, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 1999, pp. 3–10.
 149. Haykin, S., «Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23, 2005, pp. 201–220.
 150. Zhang, K., Leng, S., Peng, X., Pan, L., Maharjan, S. e Zhang, Y., «Artificial Intelligence Inspired Transmission Scheduling in Cognitive Vehicular Communications and Networks», *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2018, pp. 1987–1997.
 151. Zhang, Q., Zhang, L., Liang, Y.C., e Kam, P.Y., «Backscatter-NOMA: Um Sistema Simbiótico de Redes Celulares e da Internet das Coisas», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 20000–20013.

152. Long, R., Liang, Y.C., Guo, H., Yang, G. e Zhang, R., «Symbiotic Radio: A New Communication Paradigm for Passive Internet of Things», *IEEE Internet of Things Journal*, 7, 2019, pp. 1350–1363.
153. Sharma, S.K., Bogale, T.E., Le, L.B., Chatzinotas, S., Wang, X., e Ottersten, B., «Partilha dinâmica de espectro em redes sem fios 5G com tecnologia full-duplex: avanços recentes e desafios de investigação», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2017, pp. 674–707.
154. Naparstek, O., e Cohen, K., «Aprendizagem por reforço profunda multiutilizador para acesso dinâmico distribuído ao espectro», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 310–323.
155. Jacob, S., Menon, V.G., Joseph, S., Vinoj, P., Jolfaei, A., Lukose, J., e Raja, G., «Um novo esquema de partilha de espectro utilizando memória dinâmica de curto e longo prazo com CP-OFDMA em redes 5G», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 926–934.
156. Hu, S., Liang, Y.C., Xiong, Z., e Niyato, D., «Blockchain e Inteligência Artificial para a Partilha Dinâmica de Recursos em 6G e Além», *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, pp. 145–151.
157. Wei, Z., Yuan, W., Li, S., Yuan, J., Bharatula, G., Hadani, R. e Hanzo, L., «Modulação ortogonal no espaço tempo-frequência: uma forma de onda promissora de próxima geração», *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, pp. 136–144.
158. Darwazeh, I., Ghannam, H., e Xu, T., «Os primeiros 15 anos do SEFDM: uma breve análise», no *11.º Simpósio Internacional sobre Sistemas de Comunicação, Redes e Processamento de Sinais Digitais (CSNDSP) de 2018*, Budapeste, Hungria, 18–20 de julho de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2018, pp. 1–7.
159. Li, D., «Princípio da Multiplexação Sobreposta e uma Capacidade Melhorada no Canal de Ruído Branco Gaussiano Aditivo», *IEEE Access*, 6, 2017, pp. 6840–6848.
160. Liu, F., Masouros, C., Petropulu, A.P., Griffiths, H., e Hanzo, L., «Concepção Conjunta de Radar e Comunicações: Aplicações, Estado da Arte e o Caminho a Seguir», *IEEE Transactions on Communications*, 68, 2020, pp. 3834–3862.
161. Basar, E., Wen, M., Mesleh, R., Di Renzo, M., Xiao, Y., e Haas, H., «Técnicas de modulação de índice para redes sem fios de próxima geração», *IEEE Access*, 5, 2017, pp. 16693–16746.
162. Costello, D.J., e Forney, G.D., «Codificação de canal: o caminho para a capacidade do canal», *Proceedings of the IEEE*, 95, 2007, pp. 1150–1177.
163. Gallager, R., «Códigos de verificação de paridade de baixa densidade», *IRE Transactions on Information Theory*, 8, 1962, pp. 21–28.
164. Berrou, C., Glavieux, A., e Thitimajshima, P., «Codificação e descodificação de correção de erros próximas do limite de Shannon: códigos turbo», em *ICC'93 IEEE International Conference on Communications*,

- Genebra, Suíça, 23–26 de maio de 1993, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 1993, Vol. 2, pp. 1064–1070.
165. Arikan, E., «Polarização de canal: um método para a construção de códigos que atingem a capacidade para canais simétricos de entrada binária sem memória», *IEEE Transactions on Information Theory*, 55, 2009, pp. 3051–3073.
166. Shao, S., Hailes, P., Wang, T.Y., Wu, J.Y., Maunder, R.G., Al-Hashimi, B.M., e Hanzo, L., «Survey of Turbo, LDPC, and Polar Decoder ASIC Implementations», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2019, pp. 2309–2333.
167. Kschischang, F.R., Frey, B.J., e Loeliger, H.A., «Gráficos de fatores e o algoritmo soma-produto», *IEEE Transactions on Information Theory*, 47, 2001, pp. 498–519.
168. Ren, Y., Kristensen, A.T., Shen, Y., Balatsoukas-Stimming, A., Zhang, C., e Burg, A., «Um decodificador de lista de cancelamento sucessivo baseado em nós de repetição de sequências para códigos polares 5G: algoritmo e implementação», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 70, 2022, pp. 5592–5607.
169. Cao, S., Lin, T., Zhang, S., Xu, S., e Zhang, C., «Uma arquitetura reconfigurável e em pipeline para decodificação LDPC e polar compatível com padrões», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, pp. 5431–5444.
170. Condo, C., Martina, M. e Masera, G., «Implementação VLSI de uma arquitetura de decodificador Turbo/LDPC multimodo», *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 60, 2012, pp. 1441–1454.
171. Fossorier, M.P., e Lin, S., «Decodificação de decisão suave de códigos de blocos lineares com base em estatísticas ordenadas», *IEEE Transactions on Information Theory*, 41, 1995, pp. 1379–1396.
172. Duffy, K.R., Li, J., e Médard, M., «Decodificação com ruído aditivo aleatório e adivinhação que atinge a capacidade», *IEEE Transactions on Information Theory*, 65, 2019, pp. 4023–4040.
173. Arikan, E., «Da decodificação sequencial à polarização do canal e vice-versa», arXiv, 2019, arXiv:1908.09594.
174. You, X., Zhang, C., Sheng, B., Huang, Y., Ji, C., Shen, Y., Zhou, W., e Liu, J., «Codificação de canal 2-D espaço-temporal para transmissão MIMO fiável de latência muito baixa», em *2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Rio de Janeiro, Brasil, 4–8 de dezembro de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2022, pp. 473–479.
175. Saito, Y., Kishiyama, Y., Benjebbour, A., Nakamura, T., Li, A., e Higuchi, K., «Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access», na *77.ª Conferência de Tecnologia Veicular do IEEE (VTC Spring) de 2013*, Dresden, Alemanha, 2–5 de junho de 2013, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2013, pp. 1–5.

176. Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Ren, B., Kang, S., Sun, S., Xiong, Q., Qian, C., Yu, B. e Ding, Z., «Rumo à Normalização do Acesso Múltiplo Não Ortogonal para Redes Sem Fios de Próxima Geração», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 19–27.
177. Makki, B., Chitti, K., Behravan, A., e Alouini, M.S., «Um Estudo sobre NOMA: Situação Atual e Desafios de Investigação em Aberto», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 179–189.
178. Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G.K., Schober, R., Yuan, J., e Bhargava, V.K., «Um Estudo sobre o Acesso Múltiplo Não Ortogonal para Redes 5G: Desafios de Investigação e Tendências Futuras», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35, 2017, pp. 2181–2195.
179. Zeng, M., Nguyen, N.P., Dobre, O.A., e Poor, H.V., «Proteção de redes Massive MIMO-NOMA de ligação descendente com ruído artificial», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, pp. 685–699.
180. Liu, X., Liu, Y., Chen, Y., e Poor, H.V., «Redes Massive Non-Orthogonal Multiple Access melhoradas por RIS: Implementação e projeto de beamforming passivo», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, pp. 1057–1071.
181. Li, X., Zhao, M., Zeng, M., Mumtaz, S., Menon, V.G., Ding, Z., e Dobre, O.A., «Sistemas NOMA de retroespalhamento ambiental com deficiências de hardware: fiabilidade e segurança», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 2723–2736.
182. Marzetta, T.L., «Redes Celulares Sem Fios Não Cooperativas com Número Ilimitado de Antenas de Estação Base», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9, 2010, pp. 3590–3600.
183. Wang, B., Gao, F., Jin, S., Lin, H., e Li, G.Y., «Efeitos de banda larga espacial e de frequência em sistemas MIMO massivos de ondas milimétricas», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66, 2018, pp. 3393–3406.
184. Yu, X., Shen, J.C., Zhang, J. e Letaief, K.B., «Algoritmos de minimização alternada para pré-codificação híbrida em sistemas MIMO de ondas milimétricas», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10, 2016, pp. 485–500.
185. Myers, N.J., e Heath, R.W., «InFocus: Uma técnica de codificação espacial para mitigar o desfoque na formação de feixes LoS de campo próximo», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, pp. 2193–2209.
186. Wei, X., e Dai, L., «Estimativa de canal para Massive MIMO em escala extremamente grande: campo distante, campo próximo ou campo híbrido?», *IEEE Communications Letters*, 26, 2021, pp. 177–181.
187. Huang, J., Wang, C.X., Chang, H., Sun, J., e Gao, X., «Multi-Frequency Multi-Scenario Millimeter Wave MIMO Channel Measurements and Modeling for B5G Wireless Communication Systems», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 2010–2025.

188. He, Z.Q., e Yuan, X., «Estimativa de canal em cascata para Massive MIMO assistido por metassuperfícies inteligentes de grande dimensão», *IEEE Wireless Communications Letters*, 9, 2019, pp. 210–214.
189. Jamali, V., Tulino, A.M., Fischer, G., Müller, R.R., e Schober, R., «Arquiteturas de transmissores assistidas por superfícies inteligentes para sistemas MIMO ultra-massivos de ondas milimétricas», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2020, pp. 144–167.
190. Wang, Y., Chen, X., Cai, Y. e Hanzo, L., «Sistemas Massive MIMO híbridos assistidos por RIS baseados em ADCs de resolução adaptativa: projeto robusto de formação de feixes e alocação de recursos», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2021, pp. 3281–3286.
191. Zhang, J., Chen, S., Lin, Y., Zheng, J., Ai, B. e Hanzo, L., «Massive MIMO sem células: um novo paradigma de próxima geração», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 99878–99888.
192. Ammar, H.A., Adve, R., Shahbazpanahi, S., Boudreau, G. e Srinivas, K.V., «User-Centric Cell-Free Massive MIMO Networks: A Survey of Opportunities, Challenges and Solutions», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 611–652.
193. Chen, Z., e Björnson, E., «Reforço de canal e propagação favorável em Massive MIMO sem células com geometria estocástica», *IEEE Transactions on Communications*, 66, 2018, pp. 5205–5219.
194. Wei, X., Hu, C., e Dai, L., «Deep Learning para estimativa de canal no espaço de feixe em sistemas Massive MIMO de ondas milimétricas», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, pp. 182–193.
195. Albream, M.A., Alhabbash, A.H., Shahabuddin, S., e Juntti, M., «Deep Learning para Detetores de Uplink em Massive MIMO», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 741–766.
196. Kabir, H.D., Khosravi, A., Nahavandi, S., e Srinivasan, D., «Neural Network Training for Uncertainty Quantification over Time-Range», *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 5, 2020, pp. 768–779.
197. Yu, X., Lu, A.A., Gao, X., Li, G.Y., Ding, G. e Wang, C.X., «Comunicação Massive MIMO por ondas ionosféricas de alta frequência», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, pp. 2769–2785.
198. Wu, W., Gao, X., Sun, C. e Li, G.Y., «Shallow Underwater Acoustic Massive MIMO Communications», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, pp. 1124–1139.
199. You, L., Li, K.X., Wang, J., Gao, X., Xia, X.G. e Ottersten, B., «Massive MIMO Transmission for LEO Satellite Communications», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 1851–1865.
200. Li, Q.C., Niu, H., Papatthaniassiou, A.T., e Wu, G., «Capacidade da rede 5G: elementos-chave e tecnologias», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9, 2014, pp. 71–78.

201. Ngo, H.Q., Ashikhmin, A., Yang, H., Larsson, E.G., e Marzetta, T.L., «Massive MIMO sem células versus Small Cells», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, pp. 1834–1850.
202. Björnson, E., e Sanguinetti, L., «Cell-Free versus Cellular Massive MIMO: What Processing Is Needed for Cell-Free to Win?», no *20.º Workshop Internacional IEEE de 2019 sobre Avanços no Processamento de Sinais nas Comunicações Sem Fios (SPAWC)*, Cannes, França, 2–5 de julho de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2019, pp. 1–5.
203. Bassoy, S., Farooq, H., Imran, M.A., e Imran, A., «Esquemas de agrupamento multiponto coordenados: uma revisão», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 2017, pp. 743–764.
204. Kotzsch, V., e Fettweis, G., «Análise de interferência em sistemas MIMO OFDM de rede assíncrona em tempo e frequência», na *Conferência IEEE de Comunicações e Redes Sem Fios de 2010 (WCNC)*, Sydney, Austrália, 18–21 de abril de 2010, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2010, pp. 1–6.
205. O'hara, F., e Moore, G., «Um Recetor CW de Alto Desempenho Utilizando Feedthru Nulling», *Microwave Journal*, 6, 1963, pp. 63–71.
206. Liu, G., Yu, F.R., Ji, H., Leung, V.C., e Li, X., «Retransmissão Full-Duplex na Banda: Um Estudo, Questões de Investigação e Desafios», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17, 2015, pp. 500–524.
207. Liu, W., Huang, K., Zhou, X. e Durrani, S., «Full-Duplex Backscatter Interference Networks Based on Time-Hopping Spread Spectrum», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, pp. 4361–4377.
208. Kolodziej, K.E., Perry, B.T., e Herd, J.S., «Tecnologia Full-Duplex na Banda: Levantamento de Técnicas e Sistemas», *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67, 2019, pp. 3025–3041.
209. Nawaz, H., e Tekin, I., «Antena de patch de polarização dupla com alimentação diferencial dupla e isolamento de RF entre portas de 90 dB para um transceptor full-duplex na banda de 2,4 GHz», *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17, 2017, pp. 287–290.
210. Komatsu, K., Miyaji, Y., e Uehara, H., «Cancelamento iterativo de autointerferência não linear para comunicações sem fios full-duplex na banda sob desequilíbrio do misturador e não linearidade do amplificador», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19, 2020, pp. 4424–4438.
211. Komatsu, K., Miyaji, Y., e Uehara, H., «Análise Teórica de Rádios Full-Duplex na Banda com Canceladores de Autointerferência Hammerstein Paralelos», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2021, pp. 6772–6786.
212. Chang, M.P., Blow, E.C., Lu, M.Z., Sun, J.J., e Prucnal, P.R., «Caracterização de RF de um circuito fotônico de micro-ondas integrado para cancelamento de autointerferência», *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66, 2017, pp. 596–605.
213. Wang, D., Li, P., Wang, Y., Li, T., Yang, F., Zhou, T. e Rong, L., «Conversão de frequência assistida por fotônica e cancelamento de

- autointerferência para comunicação full-duplex na banda», *Journal of Lightwave Technology*, 40, 2021, pp. 607–614.
214. Rong, B., «6G: O próximo horizonte: das pessoas e coisas conectadas à inteligência conectada», *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, p. 8.
215. Chen, S., Liang, Y.C., Sun, S., Kang, S., Cheng, W. e Peng, M., «Visão, requisitos e tendências tecnológicas do 6G: como enfrentar os desafios da cobertura do sistema, capacidade, taxa de dados do utilizador e velocidade de movimento», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 218–228.
216. Yang, H., Zheng, S., He, W., Yu, X. e Zhang, X., «Momento angular orbital terahertz: geração, detecção e comunicação», *China Communications*, 18, 2021, pp. 131–152.
217. Chen, R., Zhou, H., Moretti, M., Wang, X. e Li, J., «Ondas de momento angular orbital: geração, detecção e aplicações emergentes», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, pp. 840–868.
218. Yousif, B.B., e Elsayed, E.E., «Melhoria do desempenho de uma ligação ótica em espaço livre multiplexada por momento angular orbital sob efeitos de turbulência atmosférica utilizando multiplexação de modo espacial e diversidade híbrida baseada em equalização MIMO adaptativa», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 84401–84412.
219. Werner, D.H., e Jiang, Z.H., *Vórtices eletromagnéticos: fenómenos de ondas e aplicações de engenharia*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, EUA, 2021.
220. Liu, K., Cheng, Y., Li, X., e Gao, Y., «Tecnologia de detecção por micro-ondas utilizando momento angular orbital: visão geral das suas vantagens», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 112–118.
221. Lei, Y., Yang, Y., Wang, Y., Guo, K., Gong, Y. e Guo, Z., «Desempenho de taxa de transferência de sistemas sem fios de múltiplas entradas e múltiplas saídas utilizando antenas OAM», *IEEE Wireless Communications Letters*, 10, 2020, pp. 261–265.
222. Liang, L., Cheng, W., Zhang, W. e Zhang, H., «Multiplexação conjunta OAM e OFDM em ambientes de multipath esparsos», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69, 2020, pp. 3864–3878.
223. ElMossallamy, M.A., Zhang, H., Song, L., Seddik, K.G., Han, Z. e Li, G.Y., «Superfícies inteligentes reconfiguráveis para comunicações sem fios: princípios, desafios e oportunidades», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 990–1002.
224. Di Renzo, M., Zappone, A., Debbah, M., Alouini, M.S., Yuen, C., De Rosny, J., e Tretyakov, S., «Ambientes de rádio inteligentes potenciados por superfícies inteligentes reconfiguráveis: como funciona, estado da investigação e o caminho a seguir», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 2450–2525.
225. Björnson, E., Sanguinetti, L., Wymeersch, H., Hoydis, J., e Marzetta, T.L., «Massive MIMO é uma realidade — O que se segue?: Cinco direções de

- investigação promissoras para matrizes de antenas», *Digital Signal Processing*, 94, 2019, pp. 3–20.
226. Zong, B., Fan, C., Wang, X., Duan, X., Wang, B. e Wang, J., «6G Technologies: Key Drivers, Core Requirements, System Architectures, and Enabling Technologies», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 18–27.
227. Deng, R., Di, B., Zhang, H., Tan, Y. e Song, L., «Superfície holográfica reconfigurável: Formação de feixes holográficos para comunicações sem fios assistidas por metassuperfícies», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, pp. 6255–6259.
228. Wan, Z., Gao, Z., Gao, F., Di Renzo, M., e Alouini, M.S., «MIMO massivo de terahertz com superfícies inteligentes holográficas reconfiguráveis», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 4732–4750.
229. Konkol, M.R., Ross, D.D., Shi, S., Harrity, C.E., Wright, A.A., Schuetz, C.A., e Prather, D.W., "Antena de matriz conectada integrada com fotodiodo de alta potência", *Journal of Lightwave Technology*, 35, 2017, pp. 2010–2016.
230. Jiang, W., e Schotten, H.D., «Previsão de canais com desvanecimento em antenas múltiplas potenciada por inteligência artificial», na 88.^a Conferência de Tecnologia Veicular do IEEE (VTC-Fall) de 2018, Chicago, IL, EUA, 27–30 de agosto de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2018, pp. 1–6.
231. Jiang, W., Strufe, M., e Schotten, H.D., «A SON Decision-Making Framework for Intelligent Management in 5G Mobile Networks», na 3.^a Conferência Internacional IEEE sobre Computadores e Comunicações (ICCC) de 2017, Chengdu, China, 13–16 de dezembro de 2017, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2017, pp. 1158–1162.
232. Jiang, W., e Schotten, H.D., «Deep Learning for Fading Channel Prediction», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 320–332.
233. Jiang, W., Strufe, M., e Schotten, H.D., «Experimental Results for Artificial Intelligence-Based Self-Organized 5G Networks», na 28.^o Simpósio Internacional Anual do IEEE sobre Comunicações de Rádio Pessoais, Interiores e Móveis (PIMRC) de 2017, Montreal, QC, Canadá, 8–13 de outubro de 2017, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2017, pp. 1–6.
234. Huang, H., Song, Y., Yang, J., Gui, G., e Adachi, F., «MIMO massivo de ondas milimétricas baseado em aprendizagem profunda para pré-codificação híbrida», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 2019, pp. 3027–3032.
235. Jiang, W., e Schotten, H.D., «Previsão de canais com desvanecimento baseada em redes neurais: uma visão geral abrangente», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 118112–118124.
236. Jiang, W., e Schotten, H.D., «Redes neurais recorrentes com memória de curto prazo longa para previsão de canais com desvanecimento», na 91.^a

- Conferência de Tecnologia Veicular do IEEE de 2020 (VTC2020-Primavera)*, Antuérpia, Bélgica, 25–28 de maio de 2020, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2020, pp. 1–5.
237. Jiang, W., Strufe, M., e Schotten, H.D., «Gestão Inteligente de Redes para Sistemas 5G: A Abordagem SELFNET», na *Conferência Europeia de 2017 sobre Redes e Comunicações (EuCNC)*, Oulu, Finlândia, 12–15 de junho de 2017, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2017, pp. 1–5.
238. Letaief, K.B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J. e Zhang, Y.J.A., «O Roteiro para o 6G: Redes Sem Fios Potenciadas pela IA», *IEEE Communications Magazine*, 57, 2019, pp. 84–90.
239. Cui, Y., Liu, F., Jing, X. e Mu, J., «Integrating Sensing and Communications for Ubiquitous IoT: Applications, Trends, and Challenges», *IEEE Network*, 35, 2021, pp. 158–167.
240. Zhang, J.A., Rahman, M.L., Wu, K., Huang, X., Guo, Y.J., Chen, S. e Yuan, J., «Habilitando a comunicação conjunta e a detecção por radar em redes móveis — Um estudo», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 306–345.
241. Mealey, R.M., «Um método para calcular probabilidades de erro num sistema de comunicação por radar», *IEEE Transactions on Space Electronics and Telemetry*, 9, 1963, pp. 37–42.
242. Sturm, C., e Wiesbeck, W., «Aspectos do Design de Formas de Onda e do Processamento de Sinais para a Fusão de Comunicações Sem Fios e Detecção por Radar», *Proceedings of the IEEE*, 99, 2011, pp. 1236–1259.
243. Zhang, J.A., Liu, F., Masouros, C., Heath, R.W., Feng, Z., Zheng, L. e Petropulu, A., «An Overview of Signal Processing Techniques for Joint Communication and Radar Sensing», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 15, 2021, pp. 1295–1315.
244. Chiriyath, A.R., Paul, B., Jacyna, G.M., e Bliss, D.W., «Limites internos do desempenho da coexistência de radar e comunicações», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64, 2015, pp. 464–474.
245. Kumari, P., Choi, J., González-Prelcic, N., e Heath, R.W., «Radar baseado na norma IEEE 802.11ad: uma abordagem para um sistema conjunto de comunicação veicular e radar», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67, 2017, pp. 3012–3027.
246. Tschorsch, F., e Scheuermann, B., «Bitcoin e além: um estudo técnico sobre moedas digitais descentralizadas», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18, 2016, pp. 2084–2123.
247. Dai, H.N., Zheng, Z., e Zhang, Y., «Blockchain para a Internet das Coisas: Um Estudo», *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, pp. 8076–8094.
248. Xie, J., Yu, F.R., Huang, T., Xie, R., Liu, J. e Liu, Y., «A Survey on the Scalability of Blockchain Systems», *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 166–173.

249. Nguyen, D.C., Pathirana, P.N., Ding, M., e Seneviratne, A., «Blockchain para redes 5G e além: uma análise do estado da arte», *Journal of Network and Computer Applications*, 166, 2020, 102693.
250. Xiong, Z., Zhang, Y., Niyato, D., Wang, P. e Han, Z., «When Mobile Blockchain Meets Edge Computing», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 33–39.
251. Kabir, H.M.D., Alam, S.B., Azam, M.I., Hussain, M.A., Sazzad, A.R., Sakib, M.N., e Matin, M.A., «Non-Linear Down-Sampling and Signal Reconstruction, Without Folding», no *4.º Simpósio Europeu UKSim sobre Modelagem e Simulação Computacional de 2010*, Pisa, Itália, 17–19 de novembro de 2010, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2010, pp. 142–146.
252. Shi, G., Xiao, Y., Li, Y. e Xie, X., «Da Comunicação Semântica às Redes Sensíveis à Semântica: Modelo, Arquitetura e Problemas em Aberto», *IEEE Communications Magazine*, 59, 2021, pp. 44–50.
253. Shannon, C.E., «A Mathematical Theory of Communication», *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, pp. 379–423.
254. Shannon, C.E., e Weaver, W., *A Mathematical Model of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL, EUA, 1949, pp. 11–20.
255. Barwise, J., e Perry, J., «Situations and Attitudes», *Journal of Philosophy*, 78, 1981, pp. 668–691.
256. Floridi, L., «Outline of a Theory of Strongly Semantic Information», *Minds and Machines*, 14, 2004, pp. 197–221.
257. Bao, J., Basu, P., Dean, M., Partridge, C., Swami, A., Leland, W., e Hendler, J.A., «Towards a Theory of Semantic Communication», em *2011 IEEE Network Science Workshop*, West Point, NY, EUA, 22–24 de junho de 2011, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2011, pp. 110–117.
258. Zhong, Y., e Zhang, R., «Information Ecology and Semantic Information Theory», *Document, Information and Knowledge*, 6, 2017, pp. 4–11.
259. Zhong, Y., «A Theory of Semantic Information», *China Communications*, 14, 2017, pp. 1–17.
260. Zhao, Y., Qu, Y., Xiang, Y., Uddin, M.P., Peng, D., e Gao, L., «Um Estudo Abrangente sobre a Verificação da Integridade de Dados na Periferia: Fundamentos e Tendências Futuras», *ACM Computing Surveys*, 57, 2024, pp. 1–34.
261. O’shea, T., e Hoydis, J., «Uma Introdução ao Deep Learning para a Camada Física», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 3, 2017, pp. 563–575.
262. Güler, B., Yener, A., e Swami, A., «O Jogo da Comunicação Semântica», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 4, 2018, pp. 787–802.

263. Xie, H., Qin, Z., Li, G.Y. e Juang, B.H., «Sistemas de Comunicação Semântica Habilitados por Aprendizagem Profunda», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, pp. 2663–2675.
264. Xie, H., e Qin, Z., «A Lite Distributed Semantic Communication System for Internet of Things», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, pp. 142–153.
265. Dahl, G.E., Yu, D., Deng, L., e Acero, A., «Redes neurais profundas pré-treinadas dependentes do contexto para reconhecimento de voz com vocabulário extenso», *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20, 2011, pp. 30–42.
266. Ni, K., Mondal, S.K., Kabir, H.D., Tan, T., e Dai, H.N., «Rumo à quantificação da segurança da computação sem servidor», *Journal of Cloud Computing*, 13, 2024, 140.
267. Kimionis, J., Bletsas, A. e Sahalos, J.N., «Increased Range Bistatic Scatter Radio», *IEEE Transactions on Communications*, 62, 2014, pp. 1091–1104.
268. Stockman, H., «Communication by Means of Reflected Power», *Proceedings of the IRE*, 36, 1948, pp. 1196–1204.
269. Kimionis, J., Georgiadis, A., Daskalakis, S.N., e Tentzeris, M.M., «A Printed Millimetre-Wave Modulator and Antenna Array for Backscatter Communications at Gigabit Data Rates», *Nature Electronics*, 4, 2021, pp. 439–446.
270. Zawawi, Z.B., Huang, Y., e Clerckx, B., «Comunicações de retrodifusão alimentadas sem fios para múltiplos utilizadores: não linearidade, conceção de formas de onda e compromisso SINR-energia», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 241–253.
271. Duan, R., Jäntti, R., Yiğitler, H., e Ruttik, K., «Sobre a taxa alcançável de sistemas de resscatter modulados bistáticos», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66, 2017, pp. 9609–9613.
272. Fasarakis-Hilliard, N., Alevizos, P.N., e Bletsas, A., «Detecção Coerente e Codificação de Canal para Redes de Sensores de Rádio de Reespalhamento Bistático», *IEEE Transactions on Communications*, 63, 2015, pp. 1798–1810.
273. Kashyap, S., Björnson, E., e Larsson, E.G., «Sobre a viabilidade da transferência de energia sem fios utilizando matrizes de antenas massivas», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 15, 2016, pp. 3466–3480.
274. Yang, G., Ho, C.K., e Guan, Y.L., «Transferência de energia sem fios com múltiplas antenas para sistemas de comunicação por retrodifusão», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33, 2015, pp. 2974–2987.
275. Mishra, D., e Larsson, E.G., «Estimativa ótima de canal para retroespalhamento baseado na reciprocidade com um leitor MIMO full-duplex», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67, 2019, pp. 1662–1677.

276. Gu, Z., Zhang, J., Ji, Y., Bai, L., e Sun, X., «Reconfiguração da topologia de rede para fronthaul/backhaul baseados em FSO em redes sem fios 5G+», *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 69426–69437.
277. Douik, A., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T.Y., e Alouini, M.S., «Projeto híbrido de rádio/óptico em espaço livre para sistemas de backhaul de próxima geração», *IEEE Transactions on Communications*, 64, 2016, pp. 2563–2577.
278. Bag, B., Das, A., Ansari, I.S., Prokeš, A., Bose, C., e Chandra, A., «Análise de desempenho de sistemas FSO híbridos utilizando adaptação de ligação FSO/RF-FSO», *IEEE Photonics Journal*, 10, 2018, pp. 1–17.
279. Zhang, H., Dong, Y., Cheng, J., Hossain, M.J., e Leung, V.C., «Fronthauling para redes de pequenas células em nuvem ultra-densas 5G LTE-U», *IEEE Wireless Communications*, 23, 2016, pp. 48–53.
280. Chowdhury, M.Z., Hasan, M.K., Shahjalal, M., Hossain, M.T., e Jang, Y.M., «Redes híbridas ópticas e sem fios: tendências, oportunidades, desafios e orientações de investigação», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2020, pp. 930–966.
281. Pan, C., Yi, J., Yin, C., Yu, J. e Li, X., «Colocação conjunta de UAVs em 3D e alocação de recursos em redes celulares definidas por software com backhaul sem fios», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 104279–104293.
282. Mozaffari, M., Kargari, A.T.Z., Saad, W., Bennis, M. e Debbah, M., «Beyond 5G with UAVs: Foundations of a 3D Wireless Cellular Network», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 357–372.
283. Huang, T., Yang, W., Wu, J., Ma, J., Zhang, X. e Zhang, D., «A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 175758–175768.
284. Tariq, F., Khandaker, M.R., Wong, K.K., Imran, M.A., Bennis, M. e Debbah, M., «Um estudo especulativo sobre o 6G», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 118–125.
285. Wang, H., Wang, W., Chen, X., e Zhang, Z., «Transferência sem fios de informação e energia em sistemas Massive MIMO sensíveis à interferência», na *Conferência Global de Comunicações do IEEE de 2014 (GLOBECOM)*, Austin, TX, EUA, 8–12 de dezembro de 2014, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2014, pp. 2556–2561.
286. Kobayashi, M., Caire, G., e Kramer, G., «Detecção de Estado Conjunta e Comunicação: Compromisso Ótimo para um Caso Sem Memória», no *Simpósio Internacional IEEE sobre Teoria da Informação (ISIT) de 2018*, Vail, CO, EUA, 17–22 de junho de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2018, pp. 111–115.
287. Shen, X., Gao, J., Wu, W., Lyu, K., Li, M., Zhuang, W., Li, X. e Rao, J., «Redes sem fios de próxima geração baseadas em segmentação de rede assistida por IA», *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 1, 2020, pp. 45–66.
288. Yi, C., Huang, S. e Cai, J., «Um mecanismo de incentivo que integra a gestão conjunta de potência, canal e ligação para partilha de conteúdos D2D

- com consciência social e armazenamento em cache proativo», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17, 2017, pp. 789–802.
289. Nasimi, M., Habibi, M.A., Han, B., e Schotten, H.D., «Mecanismo de controlo de congestionamento assistido por borda para redes 5G utilizando redes definidas por software», no *15.º Simpósio Internacional sobre Sistemas de Comunicação Sem Fios (ISWCS) de 2018*, Lisboa, Portugal, 28–31 de agosto de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2018, pp. 1–5.
290. Habibi, M.A., Han, B., Nasimi, M., Kuruvatti, N.P., Fellan, A., e Schotten, H.D., «Rumo a uma RAN totalmente virtualizada, na nuvem e com suporte a fatiamento para redes móveis 6G», em *Redes Móveis Sem Fios 6G*, Springer, Berlim/Heidelberg, Alemanha, 2021, pp. 327–358.
291. ETSI., *Requisitos de Inteligência em Rede Experiencial (ENI)*, Versão 2.1.1, ETSI, Sophia Antipolis, França, 2019.
292. Wang, C.X., Lv, Z., Gao, X., You, X., Hao, Y. e Haas, H., «Teoria de modelagem de canais sem fios generalizada e aplicações a GBSMs 6G para todas as bandas de frequência e todos os cenários», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2022, pp. 9159–9173.
293. Huang, J., Liu, Y., Wang, C.X., Sun, J. e Xiao, H., «Sondas de canal de ondas milimétricas 5G, medições e modelos: desenvolvimentos recentes e desafios futuros», *IEEE Communications Magazine*, 57, 2018, pp. 138–145.
294. Nielsen, J.O., Fan, W., Eggers, P.C., e Pedersen, G.F., «Um sondador de canal para canais Massive MIMO e de ondas milimétricas», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 67–73.
295. Roh, W., Seol, J.Y., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., Cho, J., Cheun, K., e Aryanfar, F., «Formação de feixes de ondas milimétricas como tecnologia facilitadora para comunicações celulares 5G: viabilidade teórica e resultados do protótipo», *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, pp. 106–113.
296. Raghavan, V., Partyka, A., Sampath, A., Subramanian, S., Koymen, O.H., Ravid, K., Cezanne, J., Mukkavilli, K., e Li, J., «Protótipo MIMO de ondas milimétricas: medições e resultados experimentais», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 202–209.
297. Anjos, E.V., SalarRahimi, M., Bressner, T.A., Takhighani, P., Lahuerta-Lavieja, A., Elsakka, A., Siebenga, J.S., Volski, V., Fager, C., Schreurs, D., et al., «FORMAT: Um sistema de matriz de antenas reconfigurável baseado em mosaicos para bancos de ensaio de ondas milimétricas 5G e 6G», *IEEE Systems Journal*, 16, 2022, pp. 4489–4500.
298. Chung, M., Liu, L., Johansson, A., Gunnarsson, S., Nilsson, M., Ying, Z., Zander, O., Samanta, K., Clifton, C., Koimori, T., et al., «LuMaMi28: Sistemas Massive MIMO de ondas milimétricas em tempo real com seleção de antenas», arXiv, 2021, arXiv:2109.03273.
299. Cai, Y., Zhu, M., Liang, S., Zhang, J., Lei, M., Hua, B., Wang, P., Tian, L., Zou, Y., Li, A., et al., «Demonstração de comunicação em ondas milimétricas assistida por fótonica em tempo real com base numa antena de matriz faseada de grande escala na banda Ka e na técnica de rastreamento

- automático de feixe», na *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*, San Diego, CA, EUA, 6–10 de março de 2022, Optica Publishing Group, Washington, DC, EUA, 2022, p. M3Z-12.
300. Sen, P., Pados, D.A., Batalama, S.N., Einarsson, E., Bird, J.P., e Jornet, J.M., «A Plataforma TeraNova: Um ambiente de testes integrado para comunicações sem fios de banda ultra larga em frequências terahertz reais», *Computer Networks*, 179, 2020, 107370.
301. Zhu, M., Zhang, J., Yu, J. e You, X., «Demonstração de uma transmissão com fios de terahertz de 352 Gbps, um recorde, através de fibra de núcleo oco a 325 GHz», *Science China Information Sciences*, 65, 2022, 127301.
302. Zhang, H., Zeng, S., Di, B., Tan, Y., Di Renzo, M., Debbah, M., Han, Z., Poor, H.V., e Song, L., «Superfícies omnidirecionais inteligentes para comunicações sem fios multidimensionais: princípios, tecnologia e implementação», *IEEE Communications Magazine*, 60, 2022, pp. 39–45.
303. Araghi, A., Khalily, M., Safaei, M., Bagheri, A., Singh, V., Wang, F., e Tafazolli, R., «Superfície Inteligente Reconfigurável (RIS) na Banda Sub-6 GHz: Conceção, Implementação e Demonstração no Mundo Real», *IEEE Access*, 10, 2022, pp. 2646–2655.
304. Amri, M.M., Tran, N.M., e Choi, K.W., «Comunicações sem fios assistidas por superfícies inteligentes reconfiguráveis: Formação de feixes adaptativa e validações experimentais», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 147442–147457.
305. Dai, L., Wang, B., Wang, M., Yang, X., Tan, J., Bi, S., Xu, S., Yang, F., Chen, Z., Di Renzo, M., et al., «Comunicações sem fios baseadas em superfícies inteligentes reconfiguráveis: projeto de antenas, prototipagem e resultados experimentais», *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 45913–45923.
306. Li, O., He, J., Zeng, K., Yu, Z., Du, X., Liang, Y., Wang, G., Chen, Y., Zhu, P., Tong, W., et al., «Detecção e comunicação integradas em 6G: um protótipo de detecção THz de alta resolução em dispositivo portátil», na *Conferência Europeia Conjunta sobre Redes e Comunicações e Cimeira 6G de 2021 (EuCNC/6G Summit)*, Porto, Portugal, 8–11 de junho de 2021, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2021, pp. 544–549.
307. Xu, T., Liu, F., Masouros, C. e Darwazeh, I., «An Experimental Proof of Concept for Integrated Sensing and Communications Waveform Design», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 2022, pp. 1643–1655.
308. Yuan, J., Liu, Y., Hu, Y., Xu, G. e Zhang, J.C., «FD-MIMO Distribuído (D-FD-MIMO): Do Conceito ao Teste de Campo», no *Simpósio de Rádio e Comunicações Sem Fio (RWS) da IEEE de 2022*, Las Vegas, NV, EUA, 16–19 de janeiro de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2022, pp. 86–89.
309. Callebaut, G., Van Mulders, J., Ottoy, G., Delabie, D., Cox, B., Stevens, N. e Van der Perre, L., «Techtile – Plataforma de Investigação e Desenvolvimento 6G Aberta para Comunicação, Posicionamento, Detecção, WPT e Aprendizagem Federada», na *Conferência Europeia Conjunta sobre*

- Redes e Comunicações e Cimeira 6G de 2022 (EuCNC/6G Summit)*, Grenoble, França, 7–10 de junho de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2022, pp. 417–422.
310. Wang, D., Zhang, C., Du, Y., Zhao, J., Jiang, M. e You, X., «Implementação de um sistema MIMO massivo distribuído sem células baseado na nuvem», *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 61–67.
311. Zhang, X., Cao, Z., Li, J., Ge, D., Chen, Z., Vellekoop, I.M., e Koonen, A., «Conectividade sem fios ótica de 40 Gbit/s sem linha de visão com orientação de feixe e ampla cobertura para a Indústria 4.0», *Journal of Lightwave Technology*, 38, 2020, pp. 6801–6806.
312. Haas, H., Yin, L., Chen, C., Videv, S., Parol, D., Poves, E., Alshaer, H., e Islim, M.S., «Introdução aos conceitos e desafios das redes interiores em LiFi», *Journal of Optical Communications and Networking*, 12, 2020, pp. A190–A203.
313. Matsuda, K., Binkai, M., Koshikawa, S., Yoshida, T., Sano, H., Konishi, Y., e Suzuki, N., «Demonstração em campo de transmissão FSO em tempo real a 14 Tb/s e 220 m com transmissor de 9 aberturas seguro para os olhos de Classe 1», na *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*, São Francisco, CA, EUA, 6–10 de junho de 2021, Optica Publishing Group, Washington, DC, EUA, 2021, p. F3C-2.
314. Dochhan, A., Poliak, J., Surof, J., Richerzhagen, M., Kelemu, H.F., e Calvo, R.M., «Transmissão Ótica em Espaço Livre a 13,16 Tbit/s ao longo de 10,45 km para Ligações de Alimentação de Satélites Geoestacionários», em *Photonic Networks, Atas do 20.º Simpósio ITG*, Leipzig, Alemanha, 8 de maio de 2019, VDE, Frankfurt, Alemanha, 2019, pp. 1–3.
315. Lain, J.K., Yang, Z.D., e Xu, T.W., «Sistemas experimentais de comunicação ótica por câmara DCO-OFDM com uma câmara de smartphone comercial», *IEEE Photonics Journal*, 11, 2019, pp. 1–13.
316. Han, C., e Akyildiz, I.F., «Modulação Multi-Portadora Sensível à Distância (DAMC) na Comunicação na Banda Terahertz», na *Conferência Internacional IEEE sobre Comunicações (ICC) de 2014*, Sydney, Austrália, 10–14 de junho de 2014, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2014, pp. 5461–5467.
317. Jornet, J.M., e Akyildiz, I.F., «A Internet das Nano-Coisas Multimédia na Banda Terahertz», em *European Wireless 2012, Atas da 18.ª Conferência Europeia sobre Comunicações Sem Fios 2012*, Poznań, Polónia, 18–20 de abril de 2012, VDE, Frankfurt, Alemanha, 2012, pp. 1–8.
318. Zhou, D., Sheng, M., Li, J., e Han, Z., «Inovação em Redes Integradas Aeroespaciais para Potenciar o 6G: Um Estudo e Desafios Futuros», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, pp. 975–1019.
319. Wu, Q., e Zhang, R., «Rede sem fios melhorada por superfícies refletoras inteligentes através da formação de feixes ativa e passiva conjunta», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2019, pp. 5394–5409.
320. Huang, C., Zappone, A., Alexandropoulos, G.C., Debbah, M., e Yuen, C., «Superfícies inteligentes reconfiguráveis para eficiência energética nas

- comunicações sem fios», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2019, pp. 4157–4170.
321. Huang, C., Hu, S., Alexandropoulos, G.C., Zappone, A., Yuen, C., Zhang, R., Di Renzo, M., e Debbah, M., «Superfícies MIMO holográficas para redes sem fios 6G: oportunidades, desafios e tendências», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 118–125.
322. Kato, N., Mao, B., Tang, F., Kawamoto, Y., e Liu, J., «Dez desafios no avanço das tecnologias de aprendizagem automática rumo ao 6G», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 96–103.
323. Katz, M., Pirinen, P. e Posti, H., «Rumo ao 6G: Preparando-se para a próxima década», no 16.º *Simpósio Internacional sobre Sistemas de Comunicação Sem Fios (ISWCS) de 2019*, Oulu, Finlândia, 27–30 de agosto de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2019, pp. 714–718.
324. Nayak, S., e Patgiri, R., «6G Communication: Envisioning the Key Issues and Challenges», arXiv, 2020, arXiv:2004.04024.
325. Yan, L., Han, C., e Yuan, J., «Pré-codificação híbrida para comunicações 6G em terahertz: avaliação de desempenho e problemas em aberto», na 2.ª *Cimeira Sem Fios 6G de 2020 (6G SUMMIT)*, Levi, Finlândia, 17–20 de março de 2020, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2020, pp. 1–5.
326. Mumtaz, S., Jornet, J.M., Aulin, J., Gerstacker, W.H., Dong, X. e Ai, B., «Terahertz Communication for Vehicular Networks», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66, 2017, pp. [intervalo de páginas não indicado].
327. ITU-R., *Sistemas de antenas passivas e ativas para estações base de sistemas IMT*, Relatório M.2083 (série IMT Vision), Genebra, Suíça, 2015.
328. Elmeadawy, S., e Shubair, R.M., «6G Wireless Communications: Future Technologies and Research Challenges», na *Conferência Internacional de 2019 sobre Tecnologias e Aplicações Elétricas e Informáticas (ICECTA)*, Ras Al Khaimah, Emirados Árabes Unidos, 19–21 de novembro de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EUA, 2019, pp. 1–5.
329. Yang, P., Xiao, Y., Xiao, M., e Li, S., «Comunicações sem fios 6G: Visão e Técnicas Potenciais», *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 70–75.
330. Yao, H., Wang, L., Wang, X., Lu, Z. e Liu, Y., «A Rede Integrada Espacial-Terrestre: Uma Visão Geral», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 178–185.
331. Chowdhury, M.Z., Shahjalal, M., Ahmed, S., e Jang, Y.M., «Sistemas de Comunicação Sem Fios 6G: Aplicações, Requisitos, Tecnologias, Desafios e Orientações de Investigação», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 957–975.
332. Dohler, M., Heath, R.W., Lozano, A., Papadias, C.B., e Valenzuela, R.A., «Is the PHY Layer Dead?», *IEEE Communications Magazine*, 49, 2011, pp. 159–165.
333. Raghavan, V., e Li, J., «Evolução da Investigação em Comunicações da Camada Física na Era Pós-5G», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 10392–10401.

334. Drake, F., «Mobile Phone Masts: Protesting the Scientific Evidence», *Public Understanding of Science*, 15, 2006, pp. 387–410.
335. Philbeck, I., «Ligar o que não está ligado: Trabalhar em conjunto para alcançar os objetivos da Agenda Connect 2020», na *Sessão Especial da Comissão de Banda Larga e do Fórum Económico Mundial na Reunião Anual de Davos*, Davos-Klosters, Suíça, 17–20 de janeiro de 2017.
336. Gandhi, O.P., e Riazi, A., «Absorção de Ondas Milimétricas pelos Seres Humanos e as suas Implicações Biológicas», *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 34, 1986, pp. 228–235.
337. Geesink, J.H., e Meijer, D.K.F., «Modelo Bio-Soliton que prevê bandas de frequência de radiação eletromagnética não térmica, que estabilizam ou desestabilizam as condições de vida», arXiv, 2016, arXiv:1610.04855.
338. Name, A., *Efeitos das Ondas Eletromagnéticas na Sinalização Neuronal*, Repositório de Ciência Aberta HAL, Bengaluru, Índia, 2020.
339. Talbi, O., Zadeh-Haghighi, H., e Simon, C., «O mecanismo do par radical não consegue explicar os efeitos das frequências de telecomunicações nas espécies reativas de oxigénio», arXiv, 2024, arXiv:2407.03358.
340. Name, A., «A radiação terahertz do 6G e os riscos para a saúde reprodutiva masculina», Publicação Internacional Xoffencer, Dabra, Índia, 2023.
341. ICNIRP, *Princípios para a Proteção contra Radiação Não Ionizante*, ICNIRP, Munique, Alemanha, 2020.
342. Wu, Y., «Sistemas autónomos eticamente responsáveis e fiáveis para o 6G», *IEEE Network*, 36, 2022, pp. 126–133.
343. Wang, S., Qureshi, M.A., Miralles-Pechuán, L., Huynh-The, T., Gadekallu, T.R., e Liyanage, M., «IA explicável para casos de utilização 6G: aspetos técnicos e desafios de investigação», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 2024, pp. 2490–2540.
344. Bahrami, M.K., e Nazari, S., «Concepção digital de um bloco de aprendizagem Spatial-Pow-STDP de alta precisão utilizando Pow CORDIC para SNN espaço-temporal de classificadores de imagens em grande escala», *Scientific Reports*, 14, 2024, 3388.
345. Amiri, M., e Nazari, S., «Projeto de hardware eficiente de neurónios de impulsos e módulo de aprendizagem não supervisionada em rede de classificação de padrões em grande escala», *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 137, 2024, 109255.
346. Meng, S., Wu, S., Zhang, J., Cheng, J., Zhou, H., e Zhang, Q., "Rede Integrada Espaço-Ar-Terra-Mar Potenciada por Semântica: Novo Paradigma, Estruturas e Desafios," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2024, pp.
347. Xiao, Y., Ye, Z., Wu, M., Li, H., Xiao, M., Alouini, M.S., Al-Hourani, A., e Cioni, S., «Redes sem fios integradas espaço-ar-terra para 6G: Noções básicas, tecnologias-chave e tendências futuras», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 42, 2024, pp. 3327–3354.

348. Kuru, K., «Planeamento do Futuro das Cidades Inteligentes com Enxames de Veículos Aéreos Não Tripulados Totalmente Autónomos Utilizando uma Estrutura Inovadora», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 6571–6595.

FOR AUTHOR USE ONLY

Biografia de Rexhep Mustafovski, MSc



Rexhep Mustafovski, Mestre em Ciências, é oficial do Ministério da Defesa da República da Macedónia do Norte e assistente de ensino e investigação na Academia Militar «General Mihailo Apostolski», em Skopje, onde exerce funções no Departamento de Cibersegurança e Perícia Digital. É especialista em sistemas de comunicação segura, cibersegurança e integração de tecnologias de defesa, com experiência académica e profissional que abrange

comunicações táticas seguras, segurança de redes e sistemas de informação emergentes.

Concluiu a sua formação de licenciatura na Academia Militar «General Mihailo Apostolski» em Skopje, onde se formou como Oficial de Transmissões. Durante os seus estudos, demonstrou um desempenho académico excepcional e disciplina profissional, alcançando o maior sucesso académico da sua geração. Em reconhecimento desta conquista, foi oficialmente distinguido como o melhor oficial da sua geração, uma honra conferida pelo Presidente do país. Esta distinção reflete tanto a sua excelência académica como o seu compromisso com o profissionalismo militar.

Após a sua nomeação, continuou o seu desenvolvimento académico prosseguindo estudos de pós-graduação na Faculdade de Engenharia Elétrica e Tecnologias da Informação da Universidade «Ss. Cyril e Methodius» em Skopje. Obteve o grau de Mestre em Ciências em Tecnologias de Comunicação e Informação, com especialização em sistemas de comunicação modernos, segurança da informação e conceitos avançados de redes. Os seus estudos de mestrado reforçaram ainda mais as suas capacidades analíticas e de investigação, particularmente nas áreas das comunicações seguras e dos sistemas de defesa orientados para a tecnologia.

A sua trajetória académica e profissional combina a formação militar formal com estudos avançados de engenharia, proporcionando uma base sólida para a investigação e o trabalho prático em comunicações militares seguras. Esta formação influencia a sua abordagem ao projeto de sistemas de comunicação, enfatizando a fiabilidade, a segurança, a interoperabilidade e a relevância operacional. O conhecimento e a experiência adquiridos tanto através da formação militar como da formação em engenharia sustentam as perspetivas apresentadas ao longo deste livro.

Biografia de Besnik Qehaja, PhD



Besnik Qehaja, PhD, é um distinto acadêmico e estratega de inovação digital sediado em Pristina, Kosovo. Atualmente, desempenha as funções de Reitor do Departamento de Ciência da Computação e Engenharia da UBT, onde desempenha um papel central na definição do desenvolvimento acadêmico, do avanço tecnológico e da integração da investigação dentro da instituição. O seu perfil profissional é definido por um forte compromisso

com a transformação digital, a inovação interdisciplinar e a aplicação prática de tecnologias avançadas na educação, nos cuidados de saúde e nos sistemas de infraestruturas inteligentes.

O Dr. Qehaja tem estado ativamente envolvido na liderança académica na UBT desde 2009, ocupando vários cargos de direção que contribuíram para a consolidação institucional e a modernização dos programas académicos. Sob a sua liderança, o Departamento de Ciência da Computação e Engenharia reforçou a estrutura do seu currículo, obteve creditações nacionais para vários programas de licenciatura e implementou sistemas avançados de gestão da aprendizagem concebidos para apoiar ambientes de educação digital. Os seus esforços têm-se centrado no alinhamento dos padrões académicos com as melhores práticas internacionais, promovendo um ecossistema que integra investigação, inovação e competência tecnológica aplicada.

Obeu o seu doutoramento na Universidade Corvinus de Budapeste, onde a sua investigação de doutoramento se concentrou em sistemas de monitorização de pacientes em tempo real e na integração dos cuidados de saúde digitais. A sua tese abordou os desafios técnicos, organizacionais e de gestão de dados associados aos sistemas inteligentes de informação médica. Esta investigação estabeleceu uma base sólida para as suas contribuições subsequentes para iniciativas de eSaúde e para o desenvolvimento de infraestruturas de saúde digitais.

O Dr. Qehaja desempenhou um papel de liderança no estudo de viabilidade nacional de eSaúde do Kosovo, realizado em colaboração com a M4Health da Alemanha e o Ministério da Saúde. Esta iniciativa teve como objetivo avaliar a preparação técnica, o quadro regulamentar e os requisitos de infraestrutura necessários para a implementação de sistemas nacionais de saúde digital. O seu envolvimento neste projeto reflete tanto a sua experiência técnica como a sua capacidade de fazer a ponte entre a inovação impulsionada pela investigação e os processos de implementação institucionais e governamentais.

Para além do seu trabalho na digitalização dos cuidados de saúde, o Dr. Qehaja tem estado ativamente envolvido em iniciativas de inovação tecnológica em vários domínios. É formador certificado em tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada e liderou projetos que envolvem aplicações de inteligência artificial, arquiteturas da Internet das Coisas e desenvolvimento de infraestruturas de cidades inteligentes. O seu trabalho integra tecnologias emergentes com estratégias de

implementação práticas, enfatizando soluções escaláveis e a colaboração interdisciplinar.

Em 2025, o Dr. Qehaja iniciou um compromisso acadêmico como Investigador Sênior na Universidade Técnica de Sófia, na Bulgária. O foco da sua investigação nesta função inclui redes de energia inteligentes, modelos de otimização impulsionados por IA e sistemas inteligentes de gestão de infraestruturas. Esta investigação em curso alarga ainda mais a sua especialização em informática energética e ecossistemas digitais sustentáveis, reforçando o seu perfil interdisciplinar.

A trajetória académica e profissional do Dr. Qehaja combina conhecimentos avançados em investigação com liderança institucional e inovação aplicada. A sua experiência em transformação digital, integração de sistemas de IA e implementação tecnológica em grande escala contribui significativamente para a perspetiva interdisciplinar apresentada neste livro. O rigor analítico e a mentalidade orientada para a inovação que ele traz para o campo da comunicação e da integração de sistemas inteligentes sustentam o quadro estratégico mais amplo explorado ao longo deste trabalho.

FOR AUTHOR USE ONLY

Biografia do Prof. Dr. Edmond Hajrizi



O Prof. Dr. Edmond Hajrizi é o fundador e reitor da UBT no Kosovo, onde desempenhou um papel transformador na formação de uma das instituições de ensino superior mais orientadas para a inovação na região. A sua liderança caracteriza-se por uma visão estratégica que integra excelência académica, avanço tecnológico e cooperação internacional. Através de um desenvolvimento institucional sustentado e de uma governação voltada para o futuro,

posicionou a UBT como um centro académico dinâmico focado na transformação digital, integração da investigação e formação profissional prática.

Como fundador da UBT, o Prof. Dr. Hajrizi criou a instituição com o objetivo de colmatar a lacuna entre a teoria académica e as competências orientadas para o mercado. Desde a sua criação, a UBT foi concebida como um ambiente educativo moderno, projetado para combinar investigação científica, tecnologia aplicada e colaboração com a indústria. A sua visão fundadora enfatizou a importância de alinhar os currículos do ensino superior com as tendências tecnológicas emergentes e as exigências do mercado de trabalho, garantindo que os licenciados possuam tanto profundidade teórica como capacidade prática.

No seu papel de Reitor, o Prof. Dr. Hajrizi supervisionou a expansão da UBT para uma instituição com vários campus e um vasto portfólio académico. Sob a sua liderança, a universidade desenvolveu um parque dedicado à ciência e à inovação, laboratórios de investigação avançados e parcerias estruturadas com universidades e instituições internacionais. Estas iniciativas reforçaram a posição da UBT nas redes académicas regionais e internacionais e aumentaram a sua capacidade de investigação interdisciplinar e inovação.

O Prof. Dr. Hajrizi é um participante ativo nas comunidades científicas e académicas internacionais. Integra vários comités científicos internacionais e representa frequentemente a UBT em conferências e fóruns académicos globais. O seu envolvimento em plataformas internacionais reflete o seu empenho em manter a visibilidade institucional, fomentar a colaboração transfronteiriça e promover uma educação orientada para a investigação, alinhada com os padrões globais.

Um elemento central da sua liderança tem sido a integração de tecnologias avançadas nos currículos académicos e na infraestrutura institucional. Através de investimento estratégico em plataformas digitais, laboratórios de inovação e centros de investigação aplicada, a UBT recebeu múltiplos reconhecimentos internacionais pela sua transformação digital e pela qualidade da educação. A sua defesa de ambientes de aprendizagem potenciados pela tecnologia contribuiu para o desenvolvimento de um ecossistema inteligente abrangente dentro da universidade, combinando instrução académica, atividades de investigação e percursos de formação profissional.

A visão institucional do Prof. Dr. Hajrizi enfatiza a sinergia entre a excelência na investigação e a aplicação prática. Ao fomentar parcerias com a indústria e outras partes interessadas, e ao incentivar iniciativas de investigação aplicada, tem promovido um modelo educativo que apoia o empreendedorismo, a inovação tecnológica e o desenvolvimento sustentável. A sua abordagem reflete um compromisso de longo prazo em preparar os estudantes não só como profissionais académicos, mas também como contribuintes para o avanço tecnológico e social.

Através de uma liderança académica sustentada, da expansão institucional e de uma governação orientada para a inovação, o Prof. Dr. Edmond Hajrizi influenciou significativamente o desenvolvimento do ensino superior na região. A sua orientação estratégica para a transformação digital, a internacionalização e a investigação aplicada contribui de forma significativa para a perspetiva interdisciplinar e voltada para o futuro apresentada neste livro.

FOR AUTHOR USE ONLY