

3º Workshop Brasil 

AVANÇOS DA PESQUISA RUMO AO 6G: CONNECTIVIDADE DO FUTURO EM CONSTRUÇÃO



Apoio:



Realização:



3º *Workshop Brasil* 

**Concepção da Rede de Acesso
para Rede 6G**

Apresentadores

Paulo Cardieri – UNICAMP

Daniely Gomes Silva – INATEL

Richard Demo Souza – UFSC

Francisco Raimundo Albuquerque Parente – CPQD



Instituições

CPQD

Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Universidade Federal do Ceará – UFC

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC





Prof. Dr. Paulo Cardieri
UNICAMP

3º *Workshop Brasil* 

Comunicação Semântica

Sistema de Comunicação com Abordagem Semântica

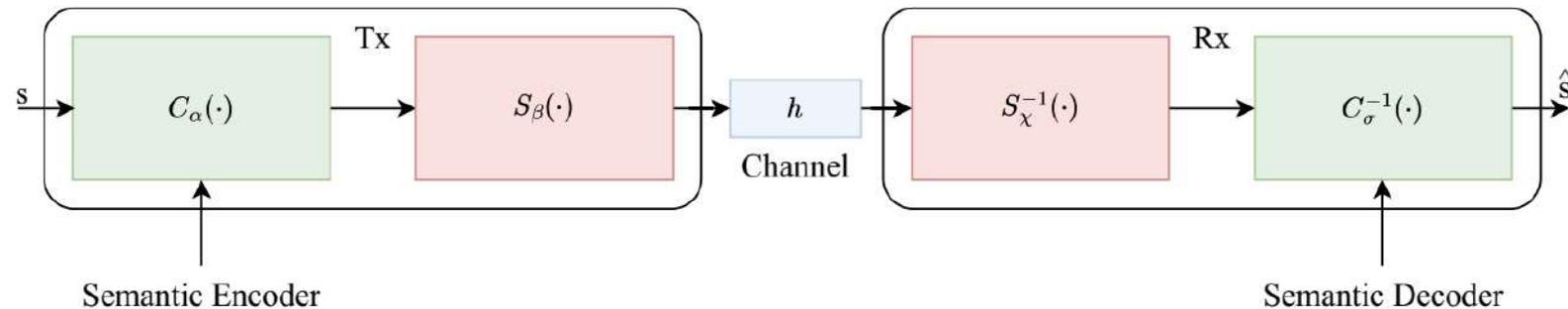
Luiz Fernando Gontijo – UNICAMP
Paulo Cardieri – UNICAMP



Comunicação Semântica

Transmitir o significado das mensagens, dentro do contexto, ao invés de transmitir altas taxas de bits.

Requer codificadores e decodificadores que aprendem o contexto.



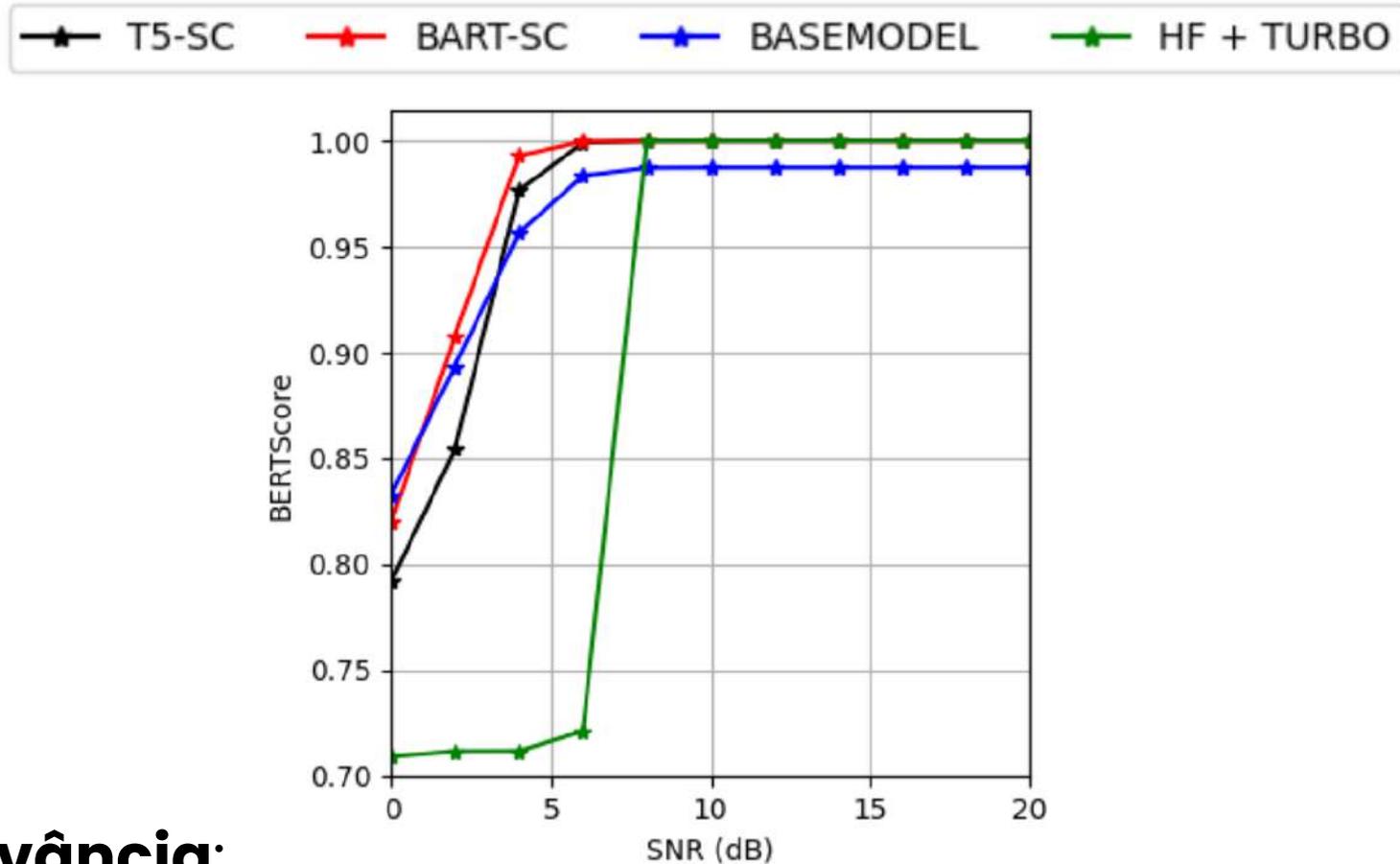
Motivação

Economia no uso dos recursos (potência e banda)

Objetivo

Desenvolver um sistema de comunicação semântico com uso de modelos de linguagem pré-treinados – maior robustez na codificação e decodificação

Resultados



Relevância:

Modelos pré-treinados são mais robustos e tomam menos tempo para serem treinados

Modelos de Fontes Semânticas para Relações Taxa–distorção Não–separáveis

Eduardo Nunes Velloso – UNICAMP

José Cândido S. Santos Filho – Unicamp



Motivação

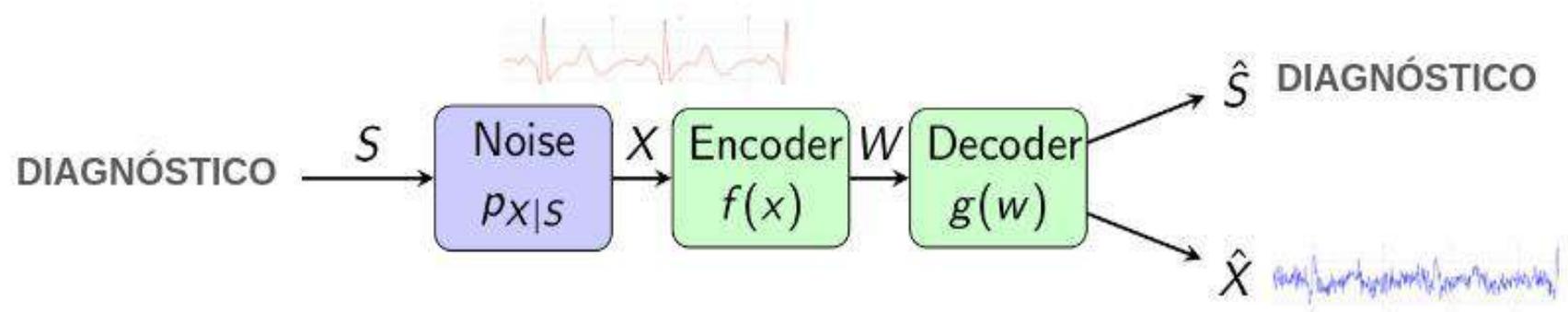
Avanços significativos em projetos de codificadores.

Limites fundamentais para codificação de fontes semânticas são ainda desconhecidos.

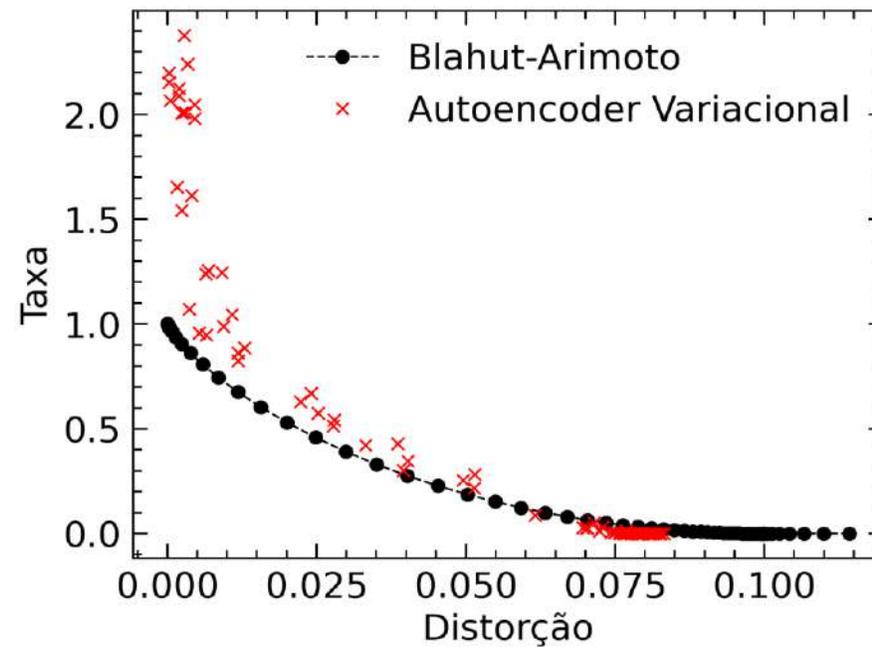
Objetivo

Caracterizar os limites fundamentais para codificação de fontes semânticas.

Métrica de distorção: semântica (S) e sintaxe (X).



Resultados preliminares



Impacto

A caracterização teórica das relações $R(D)$ para fontes semânticas inspirará novas estratégias de codificação capazes de atender os requisitos de aplicações previstas para redes 6G.

Comunicação Orientada a Tarefas

Plínio Santini Dester – UNICAMP/UNESP

Richard Demo Souza – UFSC

Isaac Balbuca Guachizaca – UNICAMP

Paulo Cardieri – UNICAMP





Comunicação orientada a tarefas

Transmitir somente as mensagens úteis para o cumprimento da tarefa associada

Motivação

Estratégias de comunicação orientada a tarefas podem levar a sistemas mais eficientes

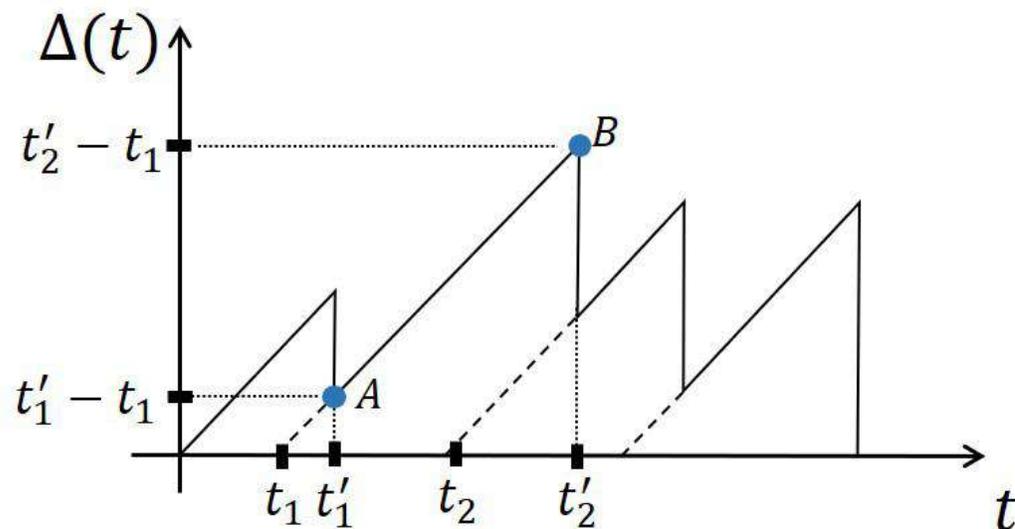
Métricas convencionais

Taxa de erro de bits

Eficiência espectral

Novas métricas são necessárias

Idade da informação (*Age of Information* – AoI)

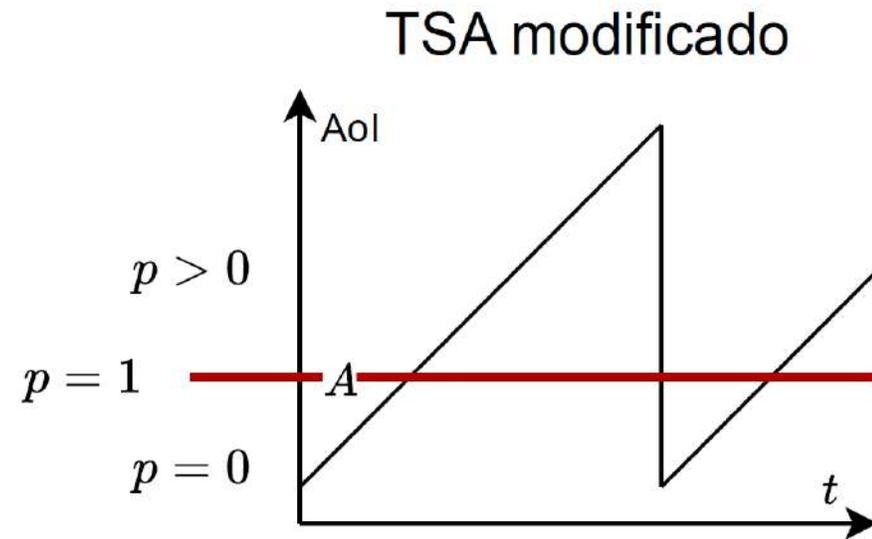


Objetivo:

Investigar protocolos ALOHA controlados pelo Aol

Estratégia:

Dar maior prioridade de acesso a terminais com alta Aol



(p é a probabilidade de acesso)

Resultado

Redução de 25% no Aoi médio, 21% no pico de Aoi e aumento de 27% na vazão.

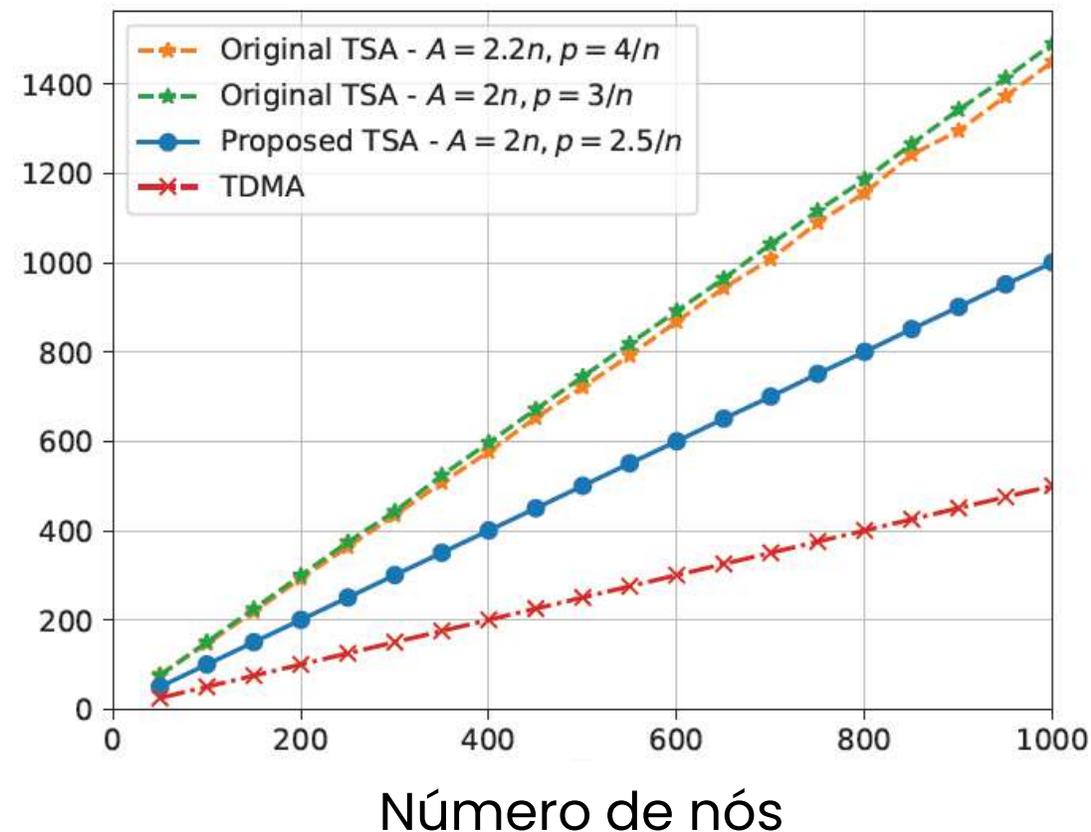
Protocolo se aproxima do protocolo TDMA.

Impacto

Conectividade IoT mais eficiente.

Maior número de terminais atendidos

Aoi médio (timeslots)



3º *Workshop Brasil*

MIMO em 6G

Escalabilidade e Alocação de Recursos em *Cell-free Massive MIMO* com múltiplas CPUs

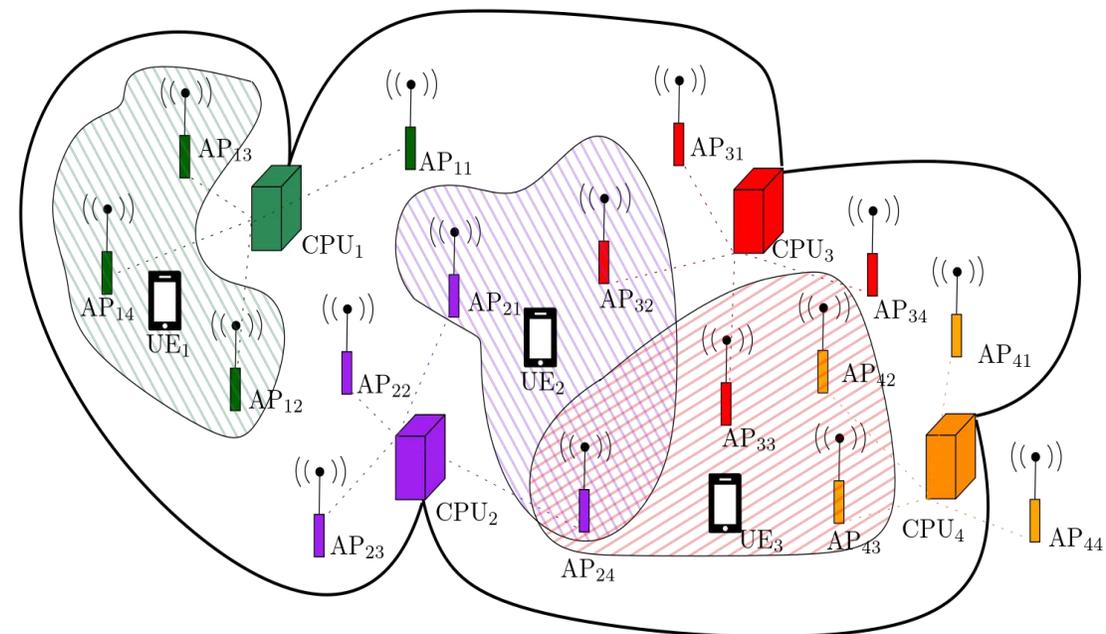
Jonathan N. Gois – UFRJ
José F. Rezende – UFRJ



Motivação

Cell-free massive MIMO é uma técnica promissora para 6G.

Qualidade na alocação: depende da cooperação entre as múltiplas CPUs.



Desafio

Melhorar a escalabilidade na coordenação de múltiplas CPUs na alocação de pilotos e potência.

Objetivo

Estudo de técnicas de operação e cooperação escaláveis através de aprendizado de máquinas.

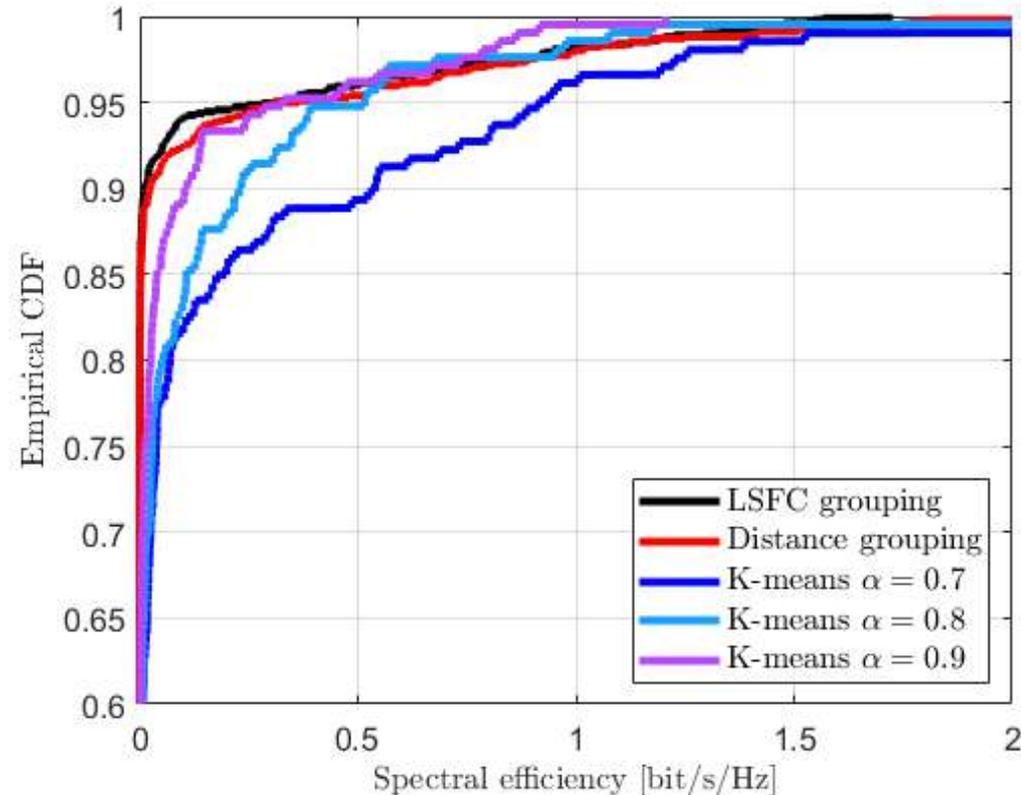
Resultados principais

Técnicas de agrupamento de usuários por CPU usando *Dynamic Cooperation Clustering* (DCC)

Nem todo AP tem contribuição significativa na qualidade do enlace

Relevância

Tornar a técnica CF-mMIMO escalável em ambientes multi-CPU



Algoritmos de IA/ML para seleção de feixe na transmissão em mmWave

Joanna Manjarres – UFRJ

José F. de Rezende – UFRJ



Motivação

Redes 6G empregarão ondas milimétricas

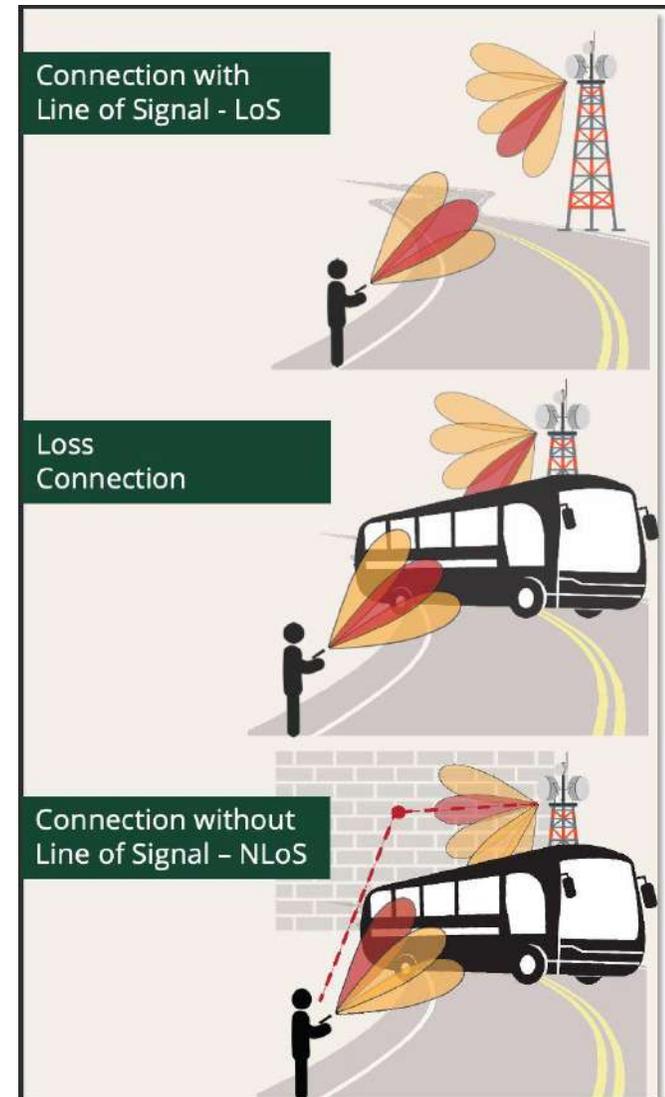
A seleção de feixes é um processo complexo.

Soluções leves e robustas são necessárias

Objetivo

Estudar técnicas de seleção de feixes baseadas em **Rede Neural Sem Peso**

Avaliar capacidade de generalização sob mudanças de cenário LoS/NLoS.



Resultados

Diversos modelos de ML foram investigados.

Técnica empregando RNSP apresentou maior robustez, mantendo a melhor acurácia entre os comparados:

- 71% de acurácia em LoS com dados de GPS

- Combinação multimodal proporcionou o melhor desempenho geral: 73% em LoS e 51% em NLoS.

Impacto

Resultados indicam estratégias para o desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina mais robustos e eficientes.





Profa. Dra. Daniely Gomes Silva
INATEL

Técnica de redução de PAPR para sistema de comunicações móveis com base em aprendizagem de padrões

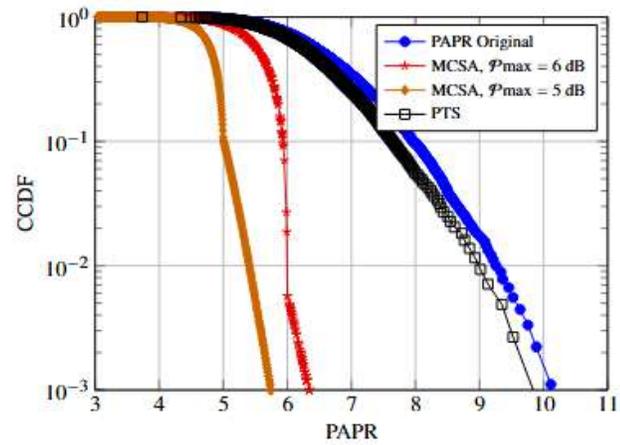
Bianca S. de C. da Silva, Mariana B. de Mello e Luciano L. Mendes - Inatel



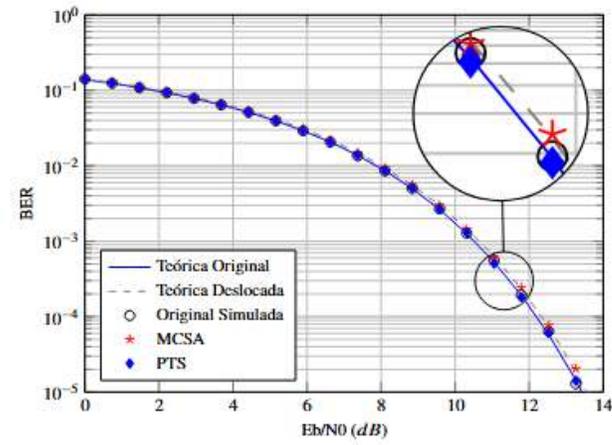
Motivação, objetivo e relevância

- Necessidade de superar os desafios impostos pela alta PAPR em sistemas OFDM.
- Melhoria da eficiência e a qualidade da transmissão de dados.
- Especialmente quando a potência de transmissão é uma restrição.
- Desenvolvimento de um algoritmo eficaz para a redução do PAPR em sinais OFDM.
- Mitigação do crescimento da OOB.
- Desafios críticos relacionados à eficiência espectral, energética e à integridade do sinal.
- Desempenho e sustentabilidade das futuras tecnologias de comunicação.

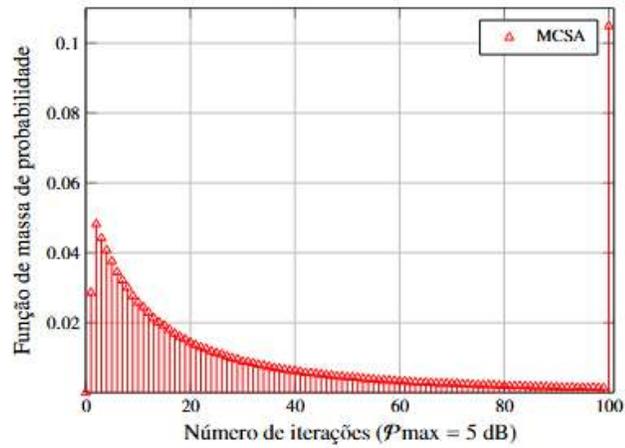
Resultados principais:



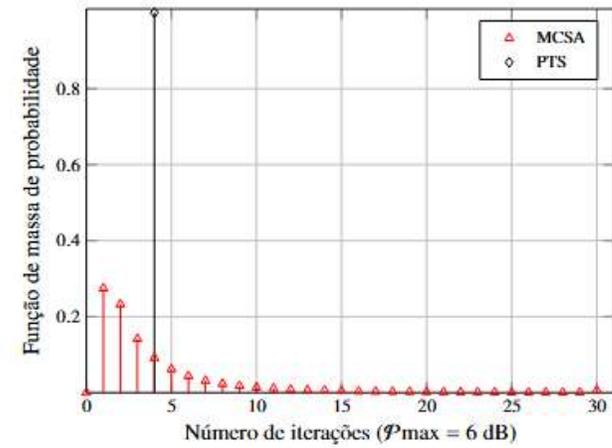
(a)



(b)



(c)



(d)

Impacto dos resultados

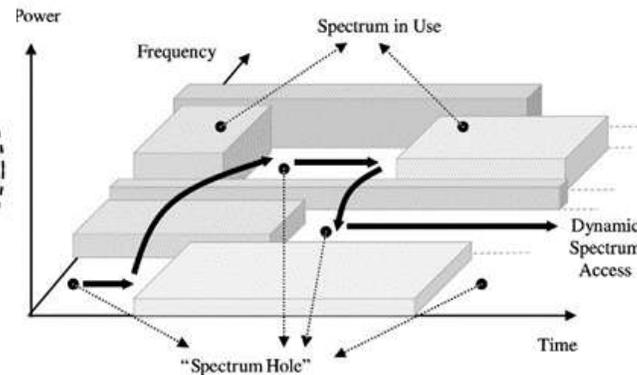
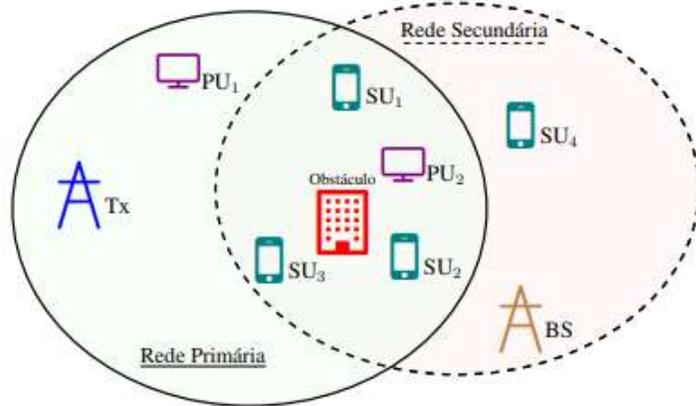
- O MCSA reduz significativamente a PAPR em sistemas OFDM.
- Complexidade controlável via parâmetros.
- Comunicações mais eficientes e robustas.

Sensoriamento Espectral para Redes 6G

Lucas dos Santos Costa - Inatel



O sensoriamento espectral (SE) favorece a convivência harmoniosa e a conexão massiva no 6G.



Análise do SE por detecção de energia sob adversidade práticas via diferentes modelamentos para a incerteza de ruído.

T → Estatística de teste, τ → Limiar de decisão

\mathcal{H}_0 → Hipótese de canal livre, \mathcal{H}_1 → Hipótese de canal ocupado

$$T \leq \tau : \mathcal{H}_0, T > \tau : \mathcal{H}_1$$

$$P_{fa} = \Pr(T > \tau | \mathcal{H}_0), P_d = \Pr(T > \tau | \mathcal{H}_1)$$

N → Número de amostras de sensoriamento

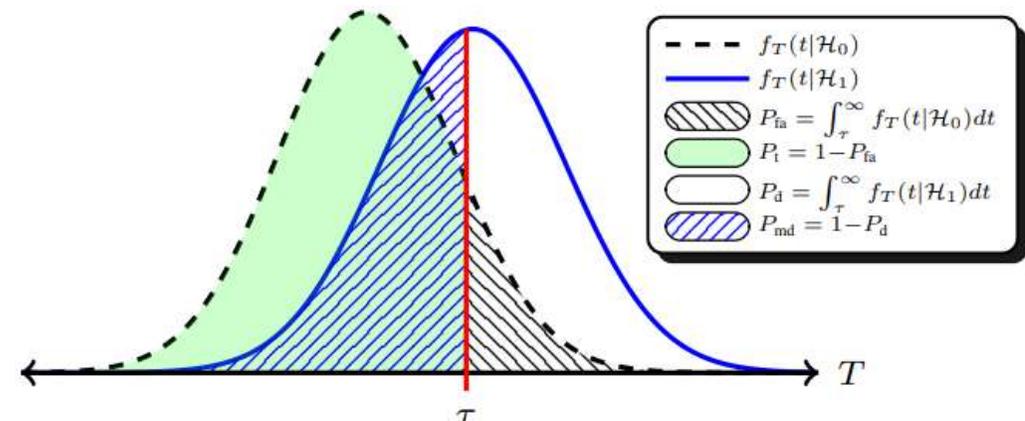
$\bar{\gamma}$ → Relação sinal-ruído (*signal-to-noise ratio*, SNR) média

$\tau = \lambda \sigma_v^2$ → Na detecção de energia (*energy detection*, ED)

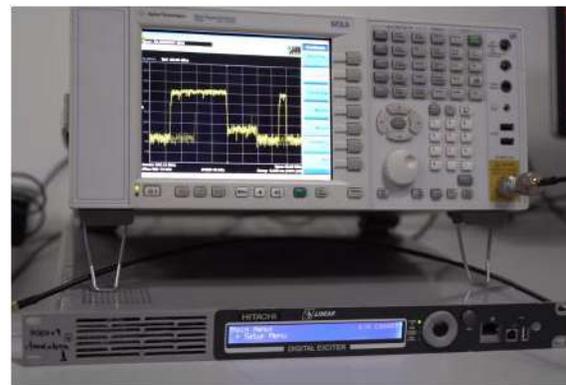
$\lambda > 0$ → Constante definida em função de P_{fa} e P_d

σ_v^2 → Valor exato da variância de ruído

$\hat{\sigma}_v^2$ → Valor estimado da variância de ruído

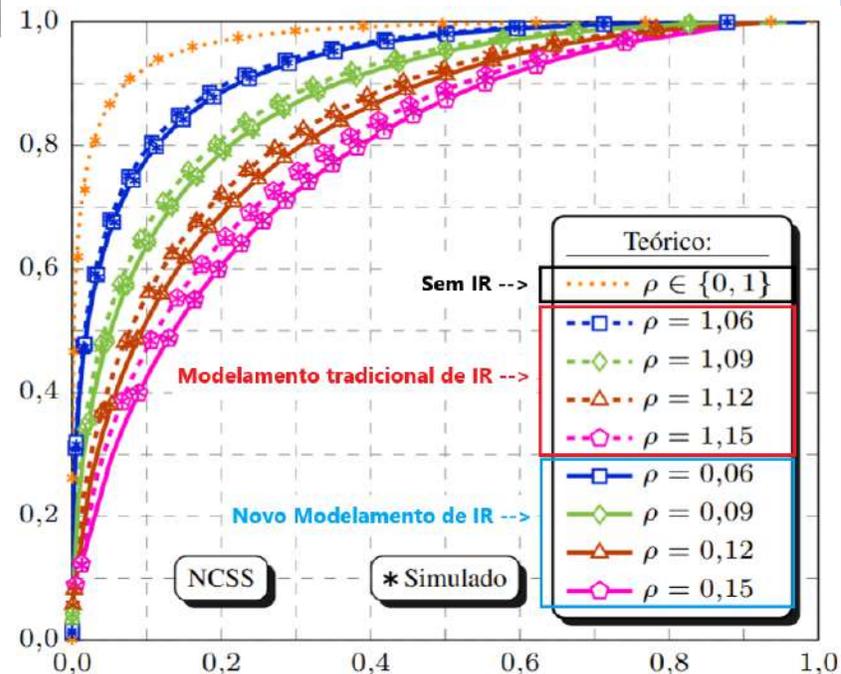
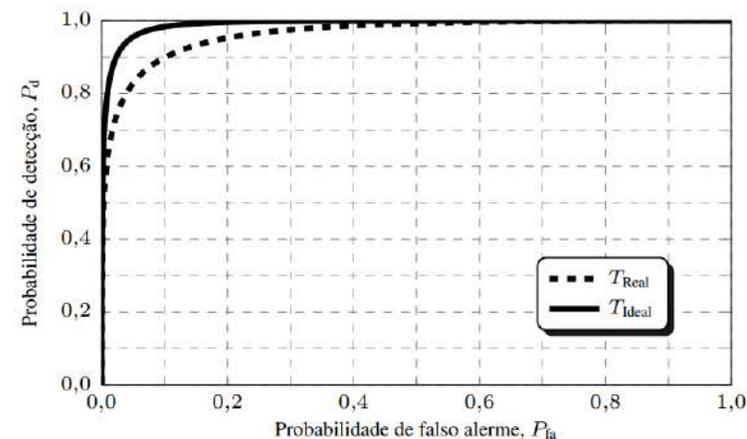


Estudo mais realista sobre SE que permite analisar e assim aprimorar a detecção para prover maior interoperabilidade entre os inúmeros dispositivos.



O modelamento mais realista da IR resulta em desempenhos de detecção também mais realistas e conservativos.

ρ → Parâmetro de IR: mede o grau de incerteza da estimativa em relação ao valor exato da variância de ruído.



O estudo do SE sob efeitos práticos impulsiona a criação de técnicas robustas para cenários reais, auxiliando a conectividade em escala almejada para o 6G.



6G: Mundo conectado e com conectividade para todos.

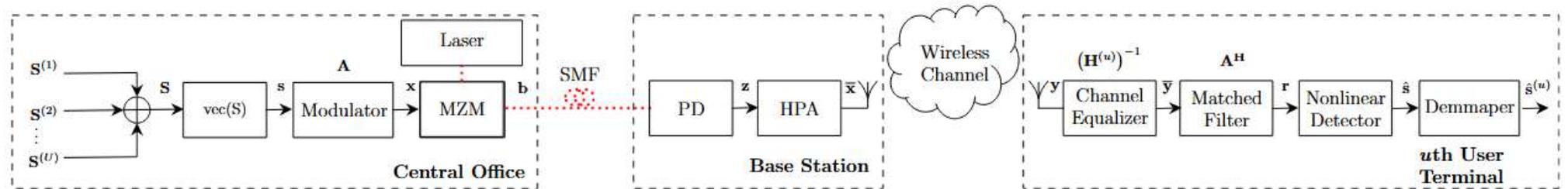
Integração do FTN-GFDMA com A-RoF: Desafios e Benefícios para Comunicações Móveis em Áreas Remotas

Mariana B. de Mello, Luiz A. M. Pereira, e Luciano L. Mendes - Inatel



Motivação e objetivo

- Viabilizar soluções econômicas e flexíveis para conectividade em áreas remotas e rurais.
- Integrar FTN-GFDMA + A-RoF para melhorar eficiência espectral e capacidade de transmissão.
- Superar limitações das abordagens convencionais (alto custo, cobertura limitada, escassez de espectro).
- Atender às exigências do 6G: conectividade global, alta eficiência espectral e baixo custo.



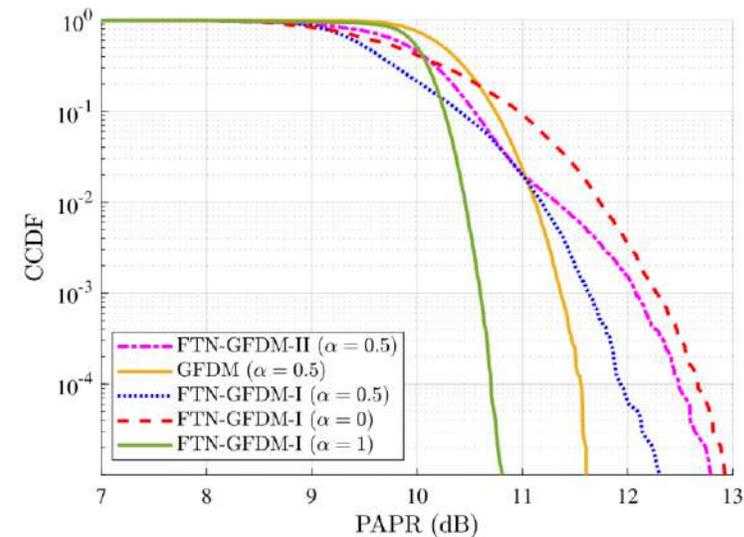
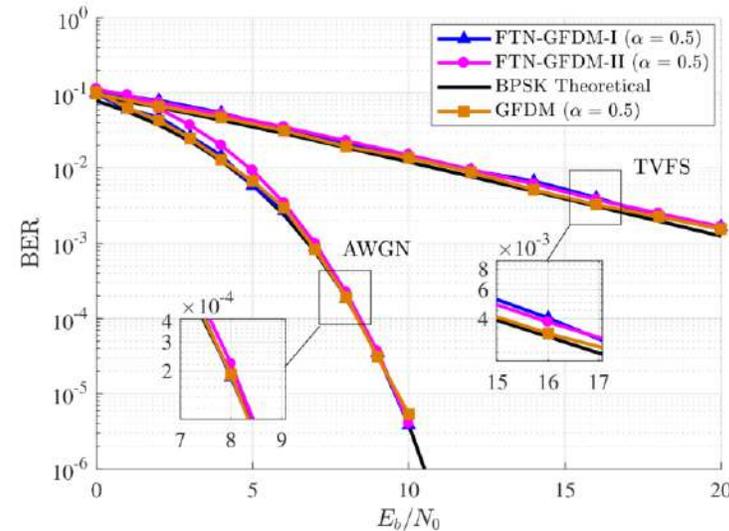
Resultados principais

Vantagens da integração FTN-GFDMA + A-RoF:

- Aumento da eficiência espectral (até 50% em relação ao GFDMA convencional).
- Maior capacidade de transmissão por usuário ou número de usuários.
- Redução das emissões fora da banda (OOBE), favorecendo coexistência em TVWS.
- Uso mais eficiente da infraestrutura óptica existente em áreas remotas.

Desafios identificados:

- PAPR elevado, ampliando distorções em MZM e HPA.
- Interferências (ISI/ICI) intensificadas em canais dispersivos.
- Não linearidades de dispositivos ópticos e amplificadores.
- Dispersão cromática em enlaces de fibra de longa distância.



Impacto dos resultados

- Viabilizar conectividade de alta qualidade em áreas remotas.
- Contribuir para a cobertura global do 6G.
- Oferecer maior eficiência espectral, capacidade e flexibilidade.
- Apoiar redes móveis mais sustentáveis e inclusivas.

NOMA Wireless Communications System Assisted by Beyond-diagonal RIS

*Diana Laura Fernández Duarte, Victoria
Dala Pegorara Souto – Inatel*

Richard Demo Souza – UFSC

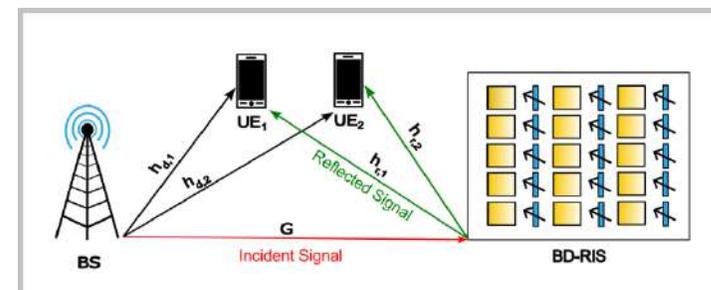


Motivação

As exigências das redes 6G pedem soluções além das arquiteturas tradicionais. As BD-RIS permitem manipulação de onda mais flexível que RIS clássicas, elevando ganho de sinal, cobertura e eficiência energética. Combinar BD-RIS com NOMA no domínio da potência promete maior eficiência espectral e suporte simultâneo a muitos usuários; este trabalho investiga e otimiza essa integração para redes 6G.

Objetivo

Este projeto considera um sistema de comunicação sem fio assistido por um BD-RIS auxiliado pela técnica NOMA. O principal objetivo é maximizar a taxa de soma otimizando conjuntamente o beamforming na BS, a matriz de espalhamento da BD-RIS e a alocação de potência entre os usuários.



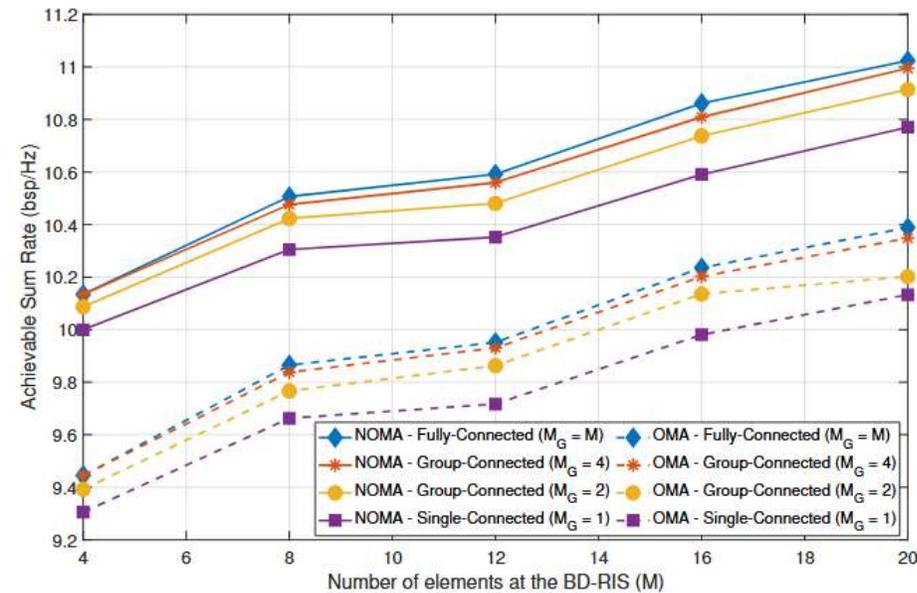
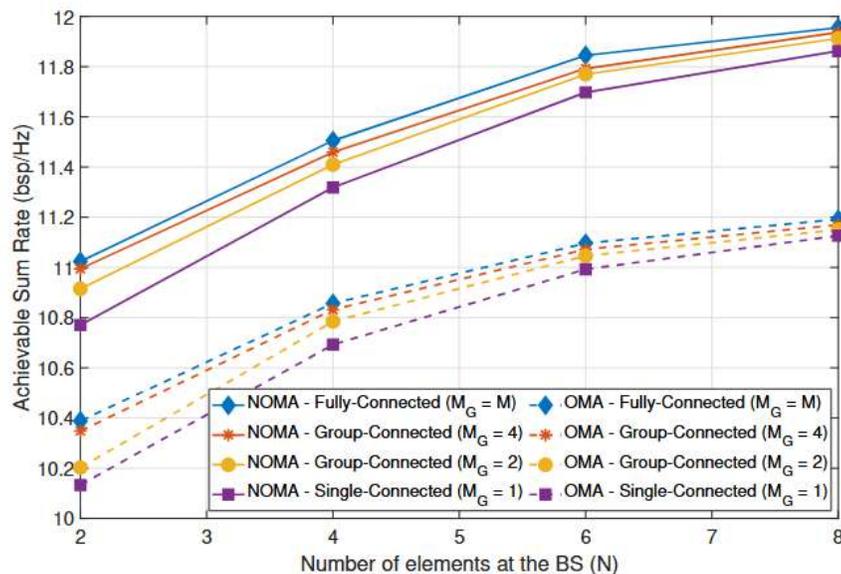
Relevância

Esta pesquisa mostra-se relevante para o desenvolvimento das redes 6G por integrar tecnologias emergentes — BD-RIS e NOMA — com vistas ao cumprimento das metas de eficiência energética, altas taxas de dados, latência ultrabaixa e conectividade massiva, além de explorar arquiteturas de RIS mais flexíveis, capazes de atender às crescentes exigências dessas redes.



Resultados principais

Os resultados evidenciam que o sistema NOMA supera, de forma consistente, o OMA em todas as arquiteturas BD-RIS avaliadas. Ademais, verificou-se que melhorias expressivas de desempenho podem ser obtidas mesmo com arquiteturas BD-RIS simples e econômicas, ressaltando sua viabilidade e potencial de aplicação em redes sem fio de próxima geração.



Os resultados indicam redes 6G mais eficientes e economicamente viáveis, pois a integração NOMA+BD-RIS eleva a taxa soma em cerca de 6% em relação ao OMA, enquanto arquiteturas BD-RIS do tipo *group-connected* com poucos grupos alcançam desempenho próximo ao *fully connected* com menor complexidade.

Tais ganhos permitem reduzir CAPEX e consumo energético – por exemplo, manter a mesma taxa com até 20% menos antenas na estação base – e viabilizam implementação prática por meio de estratégias de otimização de baixo custo que dispensam CSI explícito, acelerando a adoção em cenários reais.

Impacto dos resultados

Os resultados indicam redes 6G mais eficientes e economicamente viáveis, pois a integração NOMA+BD-RIS eleva a taxa soma em cerca de 6% em relação ao OMA, enquanto arquiteturas BD-RIS do tipo *group-connected* com poucos grupos alcançam desempenho próximo ao *fully connected* com menor complexidade.

Tais ganhos permitem reduzir CAPEX e consumo energético — por exemplo, manter a mesma taxa com até 20% menos antenas na estação base — e viabilizam implementação prática por meio de estratégias de otimização de baixo custo que dispensam CSI explícito, acelerando a adoção em cenários reais.



Prof. Dr. Richard Demo Souza
UFSC

Transmission Strategies for Direct-to-Satellite IoT Networks

*Felipe Augusto Tondo, Lucas Bez Rocha e
Richard Demo Souza - UFSC*



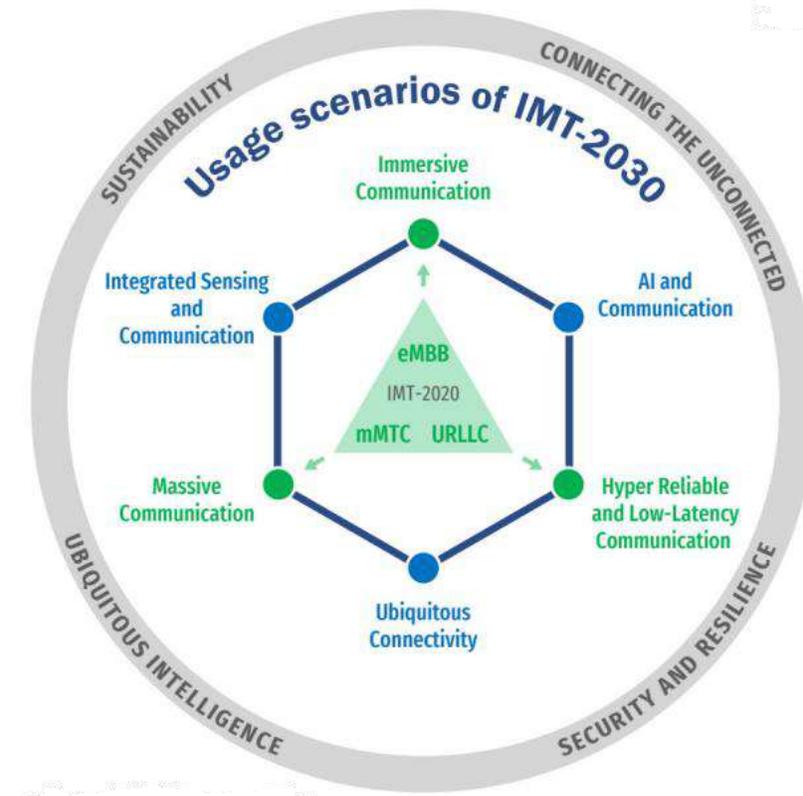
Motivação, relevância e objetivo para redes 6G:

O futuro 6G tem como um de seus objetivos garantir conectividade em regiões remotas, não servidas por sistemas 4G/5G

Para atingir esse objetivo, a integração com redes via satélite é fundamental

Nesta linha de pesquisa focamos em cenários de IoT direto ao satélite (DtS-IoT)

A meta é reduzir colisões e melhorar a confiabilidade de redes DtS-IoT



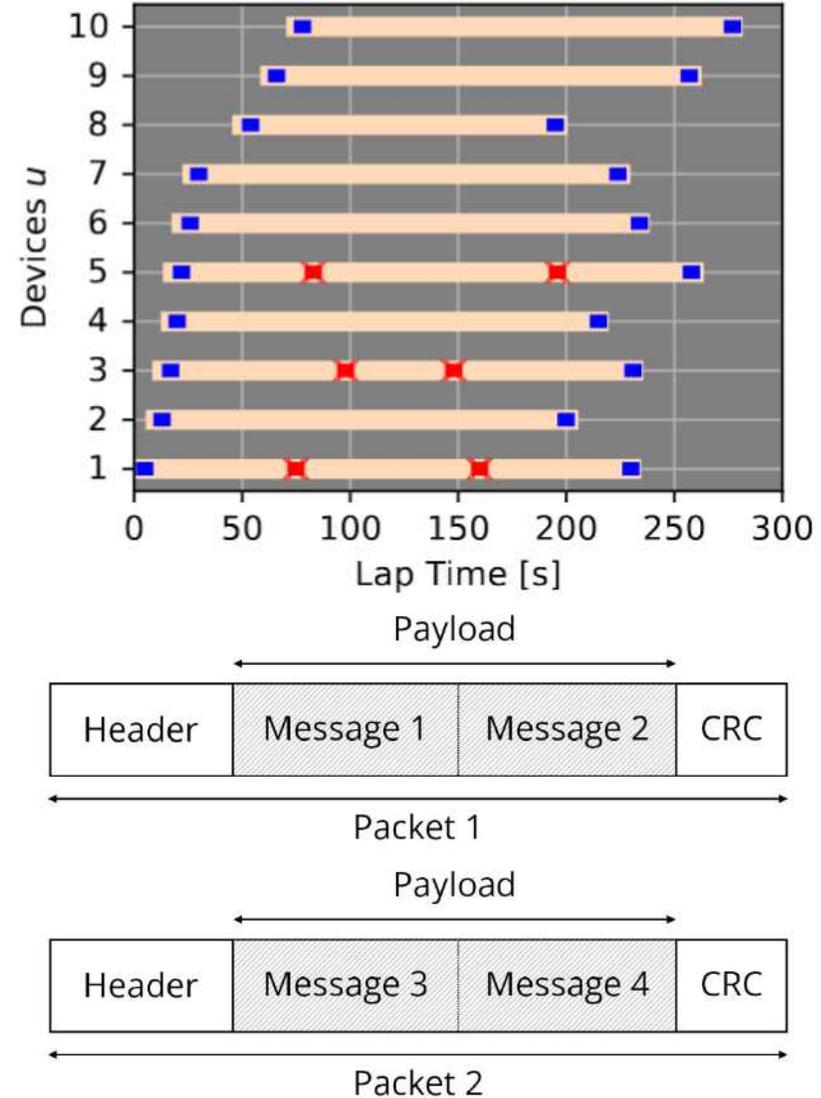
Resultados principais

Propomos duas técnicas de controle de potência e alocação distribuída para transmissões não ortogonais (NOMA)

Considerável diminuição das colisões e melhora na taxa de dados do sistema e na eficiência energética

Também investigamos técnicas de replicação, retransmissão embutida e concatenação de mensagens

A concatenação impõe maior atraso, mas melhora muito a confiabilidade e a eficiência energética em redes densas



Impacto dos resultados para futuras redes móveis:

As estratégias propostas reduzem colisões, aumentam a confiabilidade e a eficiência energética de redes DtS-IoT em regiões remotas

Maior eficiência energética garante maior tempo de vida dos dispositivos. **Sustentabilidade** também é um dos objetivos do 6G!

Avanços nesta linha permitem a visualização de novos casos de uso que não eram possíveis com 4G/5G

Exemplos são o monitoramento da vida selvagem, de recursos naturais e plantações, de oleodutos e gasodutos, além da prevenção de desastres

Colaborações e Publicações

O trabalho nesta linha de pesquisa contou com a colaboração de:

Jean Michel de Souza Sant'Ana, University of Oulu (Finlândia)

João Luiz Rebelatto , UTFPR (Brasil)

Muhammad Asad Ullah, VTT Technical Research Centre (Finlândia)

Onel Luís Alcaraz López, University of Oulu (Finlândia)

Samuel Montejo-Sánchez, UTEM (Chile)

Sandra Céspedes, Concordia University (Canadá)

Publicações:

F. A. Tondo et al, "Non-Orthogonal Multiple-Access Strategies for Direct-to-Satellite IoT Networks," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2025

L. B. Rocha et al, , "Towards Improving the Scalability of LR-FHSS: Transmission Policies and Performance Analysis," in IEEE Open Journal of the Communications Society, 2025.

Agrupamento de usuários em redes *cell-free* com TDD dinâmico

Samuel S. Silva, Yuri C. B. Silva, Igor M. Guerreiro, Victor F. Monteiro, Matheus D. Carneiro, Abraão de C. Albuquerque – UFC

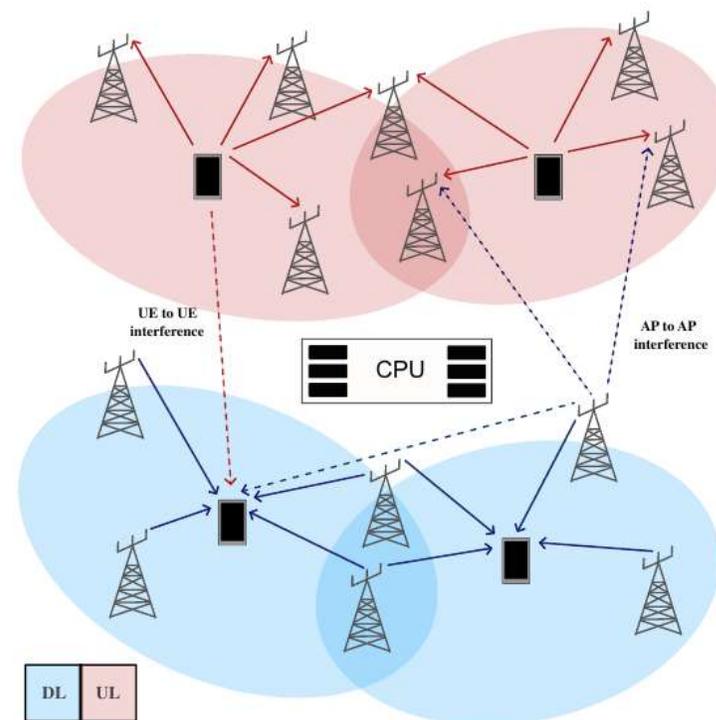


Motivação

O uso de TDD dinâmico (D-TDD) permite gerenciar as demandas de tráfego, mas introduz interferência cruzada entre enlaces. Em redes com arquitetura *cell-free* D-TDD, pontos de acesso (APs) devem ser agrupados a cada usuário (UE) e deve ser definida a direção de transmissão.

Objetivo

Análise de algoritmos de agrupamento que, após a geração de grupos mutuamente exclusivos, realizam uma etapa adicional de alocação de APs em um sistema *cell-free* com D-TDD, para melhorar a qualidade de serviço.



Relevância

As redes 6G buscam, além de velocidades de tráfego mais altas, o provimento de qualidade mais uniforme na área de coberta.

Resultados

O agrupamento de pontos de acesso sem a restrição de conjuntos mutualmente exclusivos permitiu uma melhor qualidade do sinal dos dispositivos. Porém, uma clusterização muito ampla aumenta demasiadamente a interferência, indicando um compromisso entre melhora na qualidade de sinal e tamanho dos grupos.

Impacto

Com o método proposto, as redes 6G usando D-TDD cell-free poderão otimizar o agrupamento de APs levando em consideração a interferência adicional devido ao D-TDD, limitando o tamanho dos grupos para evitar excesso de interferência cruzada.



Análise da Eficiência Energética na Alocação de Potência em Sistemas D-MIMO com TDD Dinâmico

*Matheus D. Carneiro, Igor M. Guerreiro,
Yuri C. B. Silva, Samuel S. Silva,
Victor F. Monteiro, Abraão de C.
Albuquerque - UFC*

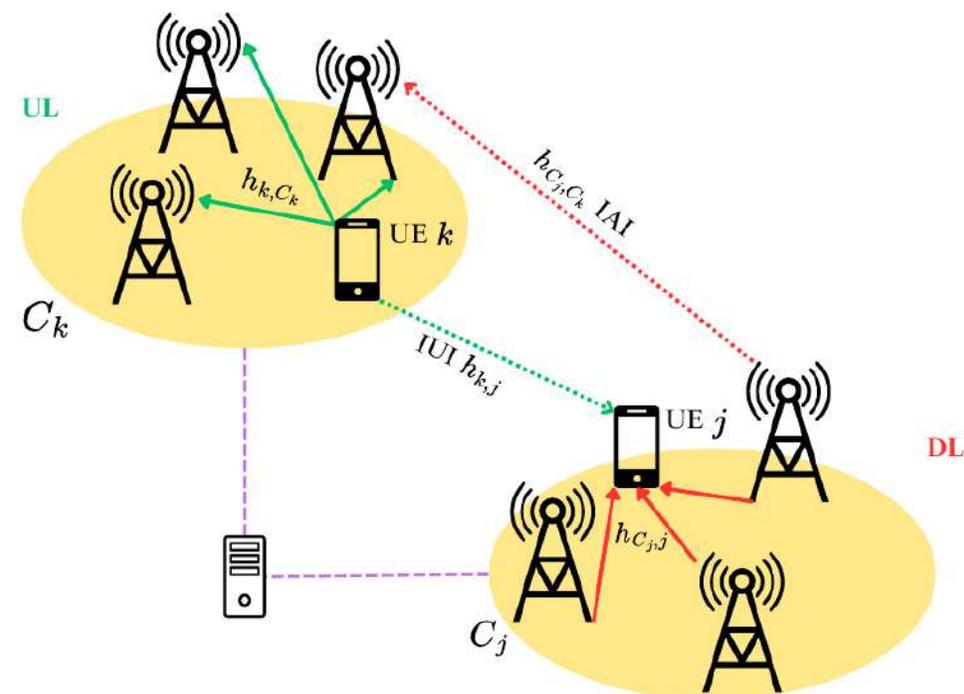


Motivação

A combinação de D-MIMO com TDD dinâmico (D-TDD) em redes 6G proporciona uma melhor cobertura e adaptabilidade ao tráfego. Alocação de potência é uma técnica essencial para lidar com a interferência cruzada e otimizar a eficiência energética.

Objetivo

Análise de algoritmo de alocação de potência fracionária em cenário D-MIMO com D-TDD, com o objetivo de avaliar seu impacto sobre a eficiência espectral e energética, considerando diferentes proporções de tráfego.



Relevância

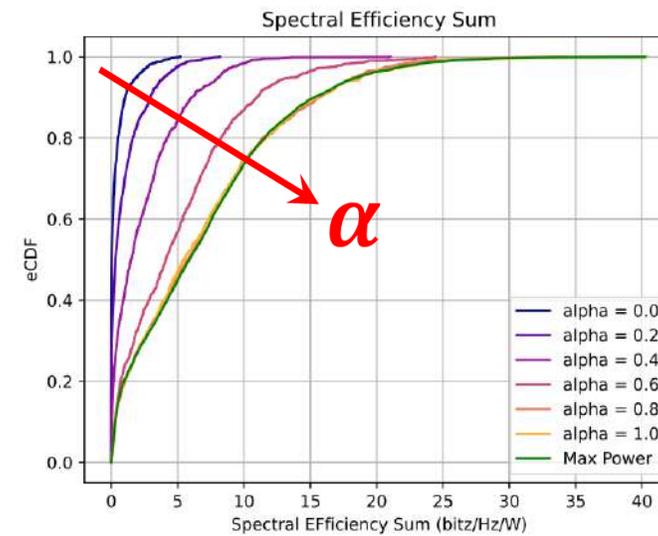
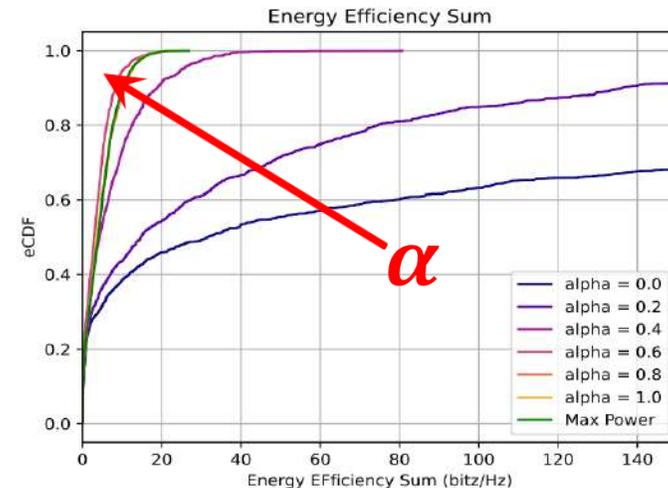
Cell-free e D-TDD são possíveis soluções para melhorar a cobertura de redes celulares e a adaptabilidade ao tráfego no 6G. Porém, trazem desafios, como a interferência cruzada. Alocação de potência é importante para viabilizar suas vantagens neste contexto.

Resultados principais

Há um trade-off entre eficiência espectral e energética. Ainda assim, é possível otimizar o consumo energético (e assim, a interferência cruzada) sem impactar demasiadamente a eficiência espectral.

Impacto

Técnicas de controle de potência em cell-free D-MIMO com D-TDD podem viabilizar a implantação de redes 6G mais sustentáveis e adaptáveis às demandas dos usuários.





***Dr. Francisco Raimundo
Albuquerque Parente***

CPQD

Caracterização do PD-NOMA *versus* MIMO em redes 6G OFDM

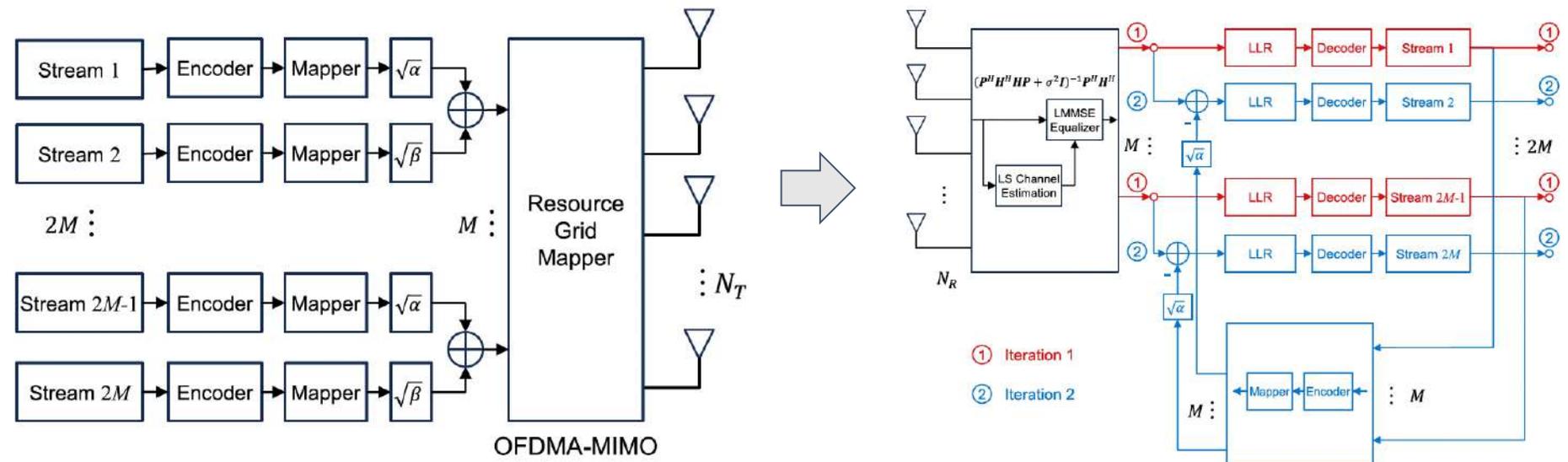
***Fabbryccio A. C. M. Cardoso,
Francisco R. A. Parente,
Maykon R. P. Silva,
Bruna N. Benevides***

CPQD



Principal motivação para a pesquisa que foi realizada

- Superar as limitações de escalabilidade de arquiteturas MIMO puramente ortogonais em redes 6G, que enfrentam complexidade crescente e ganhos decrescentes em cenários de alta densidade.
- Propor o PD-NOMA como uma solução viável para melhorar a eficiência espectral e energética, permitindo dobrar a capacidade espacial e a densidade de usuários por portadora.
- Avaliar e demonstrar que essa abordagem pode ser implementada com um custo baixo de SNR e sem exigir largura de banda adicional, tornando-a uma alternativa eficiente e econômica para futuros sistemas de comunicação.



Objetivo da pesquisa

- Analisar a viabilidade do PD-NOMA para complementar sistemas MIMO-OFDM em redes 6G, buscando uma maior capacidade e densidade de usuários.
- Demonstrar que o PD-NOMA pode dobrar o número de fluxos (usuários) com um custo baixo de SNR, comparando seu desempenho com o de sistemas MIMO tradicionais sob diferentes cenários de canal.
- Fornecer diretrizes práticas sobre como otimizar o sistema, como o impacto da alocação de potência e a influência das condições do canal na taxa de erro de bloco (BLER) para o design de rádios 6G.

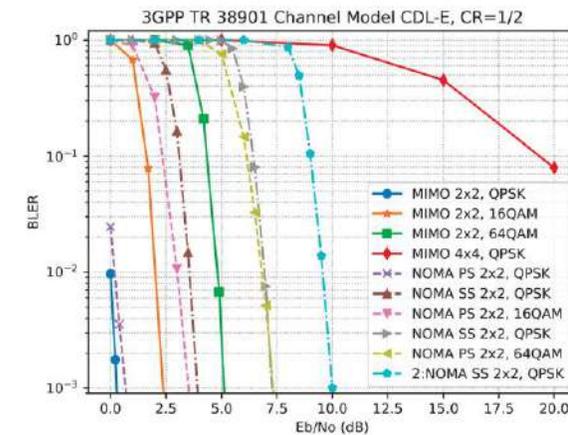
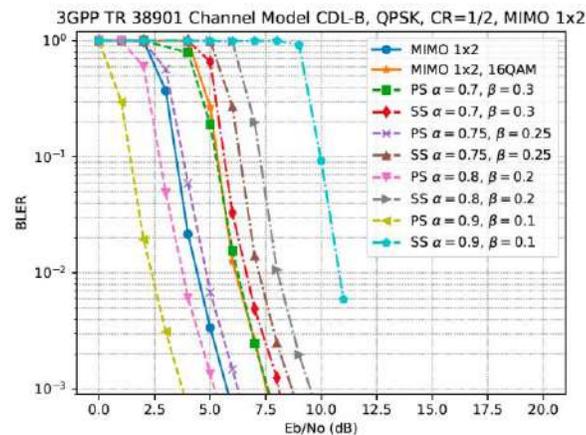
Relevância da pesquisa no contexto de redes 6G

- Ela aborda a necessidade de suportar uma densidade de dispositivos massiva e de aumentar a capacidade de dados sem expandir a largura de banda.
- Ela valida a integração do PD-NOMA com o MIMO, melhorando a eficiência espectral de forma flexível e econômica



Resultados principais que foram reportados

- O PD-NOMA conseguiu dobrar a capacidade de fluxos (ou usuários) em comparação com o MIMO, com uma sobrecarga de SNR de apenas 0,5 a 1 dB.
- Em ambientes sem linha de visada, a diversidade de recepção do sistema MIMO é eficaz em mitigar a interferência adicional do NOMA, enquanto em cenários com linha de visada os valores singulares do canal reduzem a propagação de erros.



Impacto esperado destes resultados nas futuras redes móveis

- O PD-NOMA pode se tornar uma tecnologia fundamental em futuras redes 6G, atuando como um complemento estratégico ao MIMO para aumentar a capacidade e a densidade de usuários.
- A pesquisa valida uma solução eficaz e de baixo custo para a expansão da capacidade de redes, que é crucial para atender ao tráfego crescente e à massiva conectividade de dispositivos IoT.



Obrigado!

3º Workshop Brasil 

AVANÇOS DA PESQUISA RUMO AO 6G: CONNECTIVIDADE DO FUTURO EM CONSTRUÇÃO



Apoio:



Realização:

