

# Otimização da Vazão de Sistema NOMA MIMO Massivo Mediante Controle Adaptativo de Potência e Seleção de Usuários

Marcos Nogueira Lobo de Carvalho, Álisson Assis Cardoso e Flávio Henrique Teles Vieira

**Resumo**—A junção de técnicas de Acesso Múltiplo Não-Ortogonal (NOMA - *Non-Orthogonal Multiple Access*) e de sistemas com Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas (MIMO - *Multiple Input and Multiple Output*) é considerada uma abordagem promissora para as redes de comunicação móveis 5G (do inglês, *Fifth Generation*). Entretanto, alguns resultados de simulações apontam que técnicas de otimização, no caso, seleção de usuários, poderiam ser aplicadas para melhorar alguns parâmetros de desempenho do sistema. Nesse contexto, propõe-se neste trabalho um algoritmo de alocação adaptativa de potência em conjunto com seleção de usuários para o enlace de descida de um sistema NOMA MIMO massivo com o objetivo de maximizar a vazão de dados para os usuários. Para avaliar o desempenho do algoritmo proposto, foram realizadas simulações considerando diferentes algoritmos de alocação de potência dos usuários.

**Palavras-Chave**—NOMA, MIMO, Redes 5G.

**Abstract**—The combination of Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) and Multiple Input and Multiple Output (MIMO) systems is considered a promising approach for 5G mobile communication networks. However, some simulation results indicate that optimization techniques, in this case, user selection, could be applied to improve some parameters of system performance. In this context, we propose an adaptive power allocation algorithm in conjunction with user selection for the downlink of a massive NOMA MIMO system in order to maximize the users' throughput. In order to evaluate the performance of the proposed algorithm, simulations were performed considering different power allocation algorithms of the users.

**Keywords**—NOMA, MIMO, 5G Networks.

## I. INTRODUÇÃO

Os desenvolvimentos de novas tecnologias de comunicação móvel foram motivados por requisitos cada vez maiores referentes à taxa de transmissão, confiabilidade e latência. Além da melhoria de outras características, o 5G (do inglês, *Fifth Generation*) também tem como desafio a otimização da vazão de dados dos usuários [1], i.e. a taxa efetiva de dados enviados no tempo.

Alguns pesquisadores acreditam que o esquema de modulação do 4G LTE, Modulação por Divisão de Frequência Ortogonal (OFDM - do inglês, *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), o qual utiliza o Acesso Múltiplo Ortogonal (OMA - do inglês, *Orthogonal Multiple Access*), talvez não

Os autores fazem parte do Grupo InComm (*Information and Communication Engineering Group*) da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da UFG, Goiânia-GO, Brasil, Marcos Nogueira Lobo de Carvalho, e-mail: marcosnlc4@gmail.com; Álisson Assis Cardoso, e-mail: als-nac@gmail.com; Flávio Henrique Teles Vieira, e-mail: flavio\_vieira@ufg.br.

seja o mais adequado para atender às necessidades do 5G devido à limitações, como confinamento espectral ruim devido à elevada emissão fora de banda, problemas com comunicações de alta mobilidade, dentre outras [1]. Ademais, o OFDM faz uso do prefixo cíclico para garantir a ortogonalidade entre as portadoras, o que dificulta a redução da latência [1]. Portanto, há a necessidade de se encontrar técnicas de modulação e multiplexação que sejam mais adequadas para a realidade do 5G.

Dentre os esquemas de modulação existentes, o Acesso Múltiplo Não Ortogonal (NOMA - do inglês, *Non-Orthogonal Multiple Access*) vem se destacando como um forte candidato para ser utilizado nas redes 5G devido às suas vantagens, como a compatibilidade com sistemas de Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas (MIMO - do inglês, *Multiple Input Multiple Output*), a qual possibilita que múltiplos usuários sejam servidos simultaneamente, melhorando o desempenho da rede. Ao contrário do OFDM, o NOMA não exige a ortogonalidade de subportadoras ou dos sinais para realizar a multiplexação dos sinais dos usuários. A ideia chave do NOMA é explorar o domínio da potência para realizar a multiplexação dos sinais, empregando a técnica de Cancelamento Sucessivo de Interferência (SIC - do inglês, *Successive Interference Cancellation*) nos receptores dos usuários [1] [2] [3] [4].

Nesse contexto, propõe-se neste artigo um esquema de alocação adaptativa de potência em conjunto com um algoritmo de seleção de melhores usuários para o enlace de descida de um sistema NOMA MIMO com o objetivo de maximizar a vazão dos usuários. Como aborda-se um sistema multiusuário, considera-se a utilização do método de Diagonalização de Blocos com *Zero-Forcing* descrito em [5] para o cancelamento de interferências entre usuários. O desempenho do algoritmo proposto de alocação adaptativa de potência para os usuários foi comparado com outros esquemas como: alocação fixa, aleatória, algoritmo de [6] e o algoritmo descrito em [7]. Para tanto, implementou-se um sistema NOMA MIMO em MATLAB<sup>®</sup> capaz de simular diferentes configurações do sistema com múltiplos usuários.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Recentemente, a aplicação de NOMA em sistemas MIMO multiusuário tem atraído uma atenção significativa dos pesquisadores. Em [8], compara-se o desempenho do NOMA com o do OMA em um cenário MIMO com dois usuários utilizando agrupamento e *beamforming* (formação de feixe) provando, até

mesmo analiticamente, que o MIMO-NOMA é mais eficiente em termos de taxa de transmissão agregada.

Em [9], analisa-se o desempenho de NOMA MIMO em uma transmissão de enlace de descida com alocação de potência fixa para os usuários com dois Equipamentos de Usuário (EU) de antena única e Estação Base (EB) com duas antenas de transmissão.

Outro importante estudo envolvendo alocação de potência em sistema NOMA MIMO é apresentado em [6], no qual realizou-se simulações considerando um sistema NOMA MIMO, onde o número de antenas de transmissão, antenas de recepção na célula e EUs foram 3, 9 e 9, respectivamente. Em [7], assim como no presente trabalho, os autores também propõem alocação dinâmica de potência com o objetivo de maximizar a vazão de dados dos usuários.

### III. CARACTERÍSTICAS DO NOMA

O NOMA introduz a multiplexação de usuário por divisão de potência, explorando a diferença de ganho de canal entre usuários. Dessa forma, vários usuários são emparelhados, compartilhando os mesmos recursos, seja em tempo, frequência ou em código.

Para possibilitar a multiplexação por potência, o NOMA faz uso da técnica SIC. Nessa técnica, todos os sinais são sobrepostos no transmissor e, ao chegarem no receptor, o algoritmo de SIC decodifica o sinal de maior potência, removendo-se o primeiro sinal decodificado do sinal recebido. Caso a decodificação seja perfeita, a forma de onda com os demais sinais são obtidos precisamente. Repete-se o processo até se encontrar o sinal desejado [10]. Uma ilustração do SIC é apresentada na Figura 1.

No enlace de descida (aplica-se uma ideia similar na abordagem para o enlace de subida), a EB seleciona diferentes usuários sob os mesmos recursos, mas seus respectivos sinais são transmitidos utilizando diferentes níveis de potência. Explorando essas diferenças de potência, cada EU pode aplicar SIC e, por sua vez, decodificar o sinal desejado, tratando os demais sinais como interferências [10] [2].

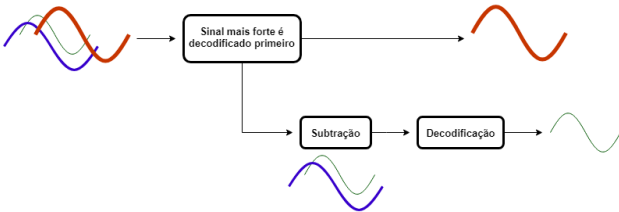


Fig. 1. Ilustração da Técnica SIC. Adaptado de [10].

O sinal sobreposto transmitido pela EB e o sinal recebido pelo  $k$ -ésimo EU são representados pelas Equações (1) e (2), respectivamente [10].

$$x(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} x_k(t) \quad (1)$$

$$y_k(t) = x(t)g_k + w_k(t) \quad (2)$$

em que  $x_k$  é o sinal destinado ao  $k$ -ésimo EU,  $y_k$  é o sinal recebido pelo  $k$ -ésimo EU,  $g_k$  é o fator de atenuação do canal entre o  $k$ -ésimo EU e a EB,  $w_k$  é o ruído gaussiano aditivo branco no  $k$ -ésimo EU com média zero e densidade espectral de potência  $N_0$  (W/Hz). A potência do sinal do  $k$ -ésimo EU é dada por  $P_k = \alpha_k P_T$ , em que  $\alpha_k$  é o coeficiente de alocação de potência do  $k$ -ésimo EU,  $P_T$  é a potência total do sinal transmitido [2] [1].

### IV. MODELO DE TRANSMISSÃO EM SISTEMAS MIMO MULTIUSUÁRIO

A principal dificuldade na transmissão em canais *broadcast* consiste no fato de a detecção coordenada dos sinais no receptor não ser direta, exigindo cancelamento de interferência na EB [5]. São descritos em [5] vários métodos de transmissão para sistemas MIMO multiusuário. Neste trabalho, abordamos somente a técnica de Diagonalização de Blocos com *Zero-Forcing* para o enlace de descida de um modelo NOMA MIMO multiusuário [5].

Consideremos  $K$  EUs independentes em um sistema MIMO. A EB e cada EU são equipadas com  $N_B$  e  $N_U$  antenas, respectivamente. Sejam  $N_{M,u}$  o número de antenas para o  $u$ -ésimo EU,  $u = 1, 2, \dots, K$ ,  $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{N_B \times 1}$  o sinal transmitido pela EB e  $\mathbf{y}_u \in \mathbb{C}^{N_U \times 1}$  o sinal recebido pelo  $u$ -ésimo EU,  $u = 1, 2, \dots, K$ . O sinal recebido pelo  $u$ -ésimo EU é dado por:  $\mathbf{y}_u = \mathbf{H}_u^{DL} \mathbf{x} + \mathbf{z}_u$ ,  $u = 1, 2, \dots, K$ , onde  $\mathbf{H}_u^{DL} \in \mathbb{C}^{N_{M,u} \times N_B}$  é a matriz do canal entre a EB e o  $u$ -ésimo EU e  $\mathbf{z}_u \in \mathbb{C}^{N_U \times 1}$  é o ruído aditivo modelado como um vetor aleatório gaussiano complexo simétrico circular de média zero em cada  $u$ -ésimo EU [5].

A Figura 2 esboça o modelo de canal de enlace de descida para um sistema MIMO multiusuário.

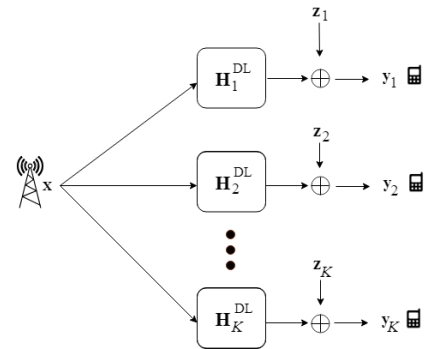


Fig. 2. Modelo de canal *downlink* para sistema MIMO multiusuário: Canal *Broadcast* (BC). Adaptado de [5].

A técnica de Diagonalização de Blocos é adequada em cenários onde os EUs possuem múltiplas antenas. Nessa técnica, todos os sinais não desejados são interpretados como interferência e são cancelados. A interferência causada pelos sinais de outros EUs e a interferência entre as antenas de um mesmo EU são canceladas por pré-codificação e técnicas de detecção de sinais, respectivamente [5].

Para o sinal do  $u$ -ésimo EU  $\tilde{\mathbf{x}}_u \in \mathbb{C}^{N_U \times 1}$ , o sinal recebido  $\mathbf{y}_u \in \mathbb{C}^{N_U \times 1}$  é dado pela Equação (3).

$$\mathbf{y}_u = \mathbf{H}_u^{DL} \mathbf{W}_u \tilde{\mathbf{x}}_u + \sum_{k=1, k \neq u}^K \mathbf{H}_u^{DL} \mathbf{W}_k \tilde{\mathbf{x}}_k + \mathbf{z}_u \quad (3)$$

em que  $\mathbf{W}_u \in \mathbb{C}^{N_B \times N_{M,u}}$  é a matriz de pré-codificação para o  $u$ -ésimo EU.

## V. ALOCAÇÃO DE POTÊNCIA EM SISTEMAS NOMA MIMO MULTIUSUÁRIO

Para o sistema NOMA MIMO abordado, são considerados dois métodos de alocação de potência: o primeiro método é fundamentado na proposta descrita em [6] e o segundo método é calcado no trabalho de [7]. São chamados neste artigo de Algoritmo **Adaptativo 1** e **Adaptativo 2**, respectivamente.

A descrição do problema de otimização do Algoritmo **Adaptativo 1** pode ser encontrada nos trabalhos [2] e [6], que assim como o Algoritmo **Adaptativo 2**, também se baseia em maximização da vazão. Neste artigo, é apresentado apenas o problema de otimização para o Algoritmo **Adaptativo 2**, pois suas equações serão utilizadas para realizar a alocação de potências para os usuários na proposta deste trabalho. Para o Algoritmo **Adaptativo 2**, o problema de otimização para maximizar a vazão do sistema NOMA MIMO é formulado como:

$$\begin{aligned} & \underset{p}{\text{maximizar}} \sum_{k=1}^K \log_2 \left( 1 + \frac{p_k |\hat{g}_k|^2}{|\hat{g}_k|^2 \sum_{j=1}^{k-1} p_j + p\sigma_\epsilon^2 + \sigma^2} \right) \\ & \text{sujeito a:} \\ & \text{C1: } \sum_{k=1}^K p_k \leq p \\ & \text{C2: } p_k \geq (\omega_j - 1) \left( \sum_{j=1}^{k-1} p_j + \frac{p\sigma_\epsilon^2 + \sigma^2}{|\hat{g}_k|^2} \right), \forall k = 1, 2, \dots, K. \end{aligned} \quad (4)$$

em que  $\omega_j = 2^{R_j^{min}}$ ,  $R_j^{min}$  é a taxa de dados mínima exigida para o  $j$ -ésimo usuário,  $\hat{g}_k$  é o ganho estimado do  $k$ -ésimo usuário,  $p$  é a potência total alocada para os usuários,  $\sigma_\epsilon^2$  é a variância da distribuição Gaussiana complexa do erro de estimação do canal e  $\sigma^2$  é a variância do ruído Gaussiano branco aditivo complexo.

De acordo com [7], as condições de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) são necessárias e suficientes para obter a solução ótima do problema de otimização em (4). Assim, as alocações de potência ótimas para o usuário com menor ganho ( $k = 1$ ) de canal e para os demais usuários do sistema NOMA MIMO ( $k = 2, 3, \dots, K$ ) são descritas pelas Equações (5) e (6), respectivamente:

$$p_1 = \frac{p}{\prod_{k=2}^K \omega_k} - \sum_{j=2}^K \frac{(\omega_j - 1)(\sigma_\epsilon^2 p + \sigma^2)}{\prod_{l=2}^j \omega_l |\hat{g}_k|^2} \quad (5)$$

$$p_k = \frac{(\omega_k - 1)p}{\prod_{j=k}^K \omega_j} + \frac{(\omega_k - 1)(\sigma_\epsilon^2 p + \sigma^2)}{\omega_k |\hat{g}_k|^2} - \sum_{j=k+1}^K \frac{(\omega_k - 1)(\omega_j - 1)(\sigma_\epsilon^2 p + \sigma^2)}{\prod_{l=k}^j \omega_l |\hat{g}_k|^2} \quad (6)$$

### A. Algoritmo de Alocação de Potência com Seleção de Usuários

Nesta seção, propomos um algoritmo de alocação adaptativa de potência que considera além das condições do canal, a seleção de usuários para prover aumento de taxa de transmissão total do sistema. Assim, de acordo com as condições do canal para o usuário, sua potência será dinamicamente ajustada. Segundo [5], a seguinte condição deve ser respeitada na Diagonalização de Blocos para que o sistema não sofra com interferências severas:

$$N_K \leq \frac{N_T}{N_R} \quad (7)$$

em que  $N_K$  é o total de usuários selecionados,  $N_T$  é o total de antenas de transmissão e  $N_R$  é o número de antenas de recepção em cada usuário.

Nesse sentido, propõe-se efetuar alocação dinâmica de potência obedecendo a condição apresentada na Equação (7), utilizando seleção de usuários. A seleção de usuários poderia ser feita por busca exaustiva. Entretanto, propõe-se neste artigo a utilização de um método iterativo, onde seleciona-se os usuários com maior projeção sobre o espaço ortogonal aos usuários previamente selecionados. Esse método iterativo se baseia no trabalho de projeções sucessivas de [11], mas onde não foi considerada a técnica NOMA. Inicialmente, considera-se todos os usuários como candidatos e, em seguida, seleciona-se o usuário com maior ganho e atualiza-se o conjunto de usuários selecionados. Na primeira iteração, calcula-se o espaço ortogonal aos usuários selecionados e realiza-se a projeção do vetor de ganho de cada candidato nesse espaço. Por fim, seleciona-se o candidato com maior projeção e atualiza-se o conjunto de usuários selecionados. O procedimento é repetido até que se tenha completado as seleções.

Essa sequência de passos pode ser matematicamente descrita pelas Equações (8) à (10):

$$\mathbf{H} = [\mathbf{h}_{\xi_1^T}, \dots, \mathbf{h}_{\xi_{|\xi|}^T}] \quad (8)$$

$$\mathbf{N} = \mathbf{I} - \mathbf{H} (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (9)$$

$$\zeta_i = \|\mathbf{N} \mathbf{h}_i^T\|^2, \forall i \in \Omega_\xi \quad (10)$$

em que  $\mathbf{H}$  é a matriz de ganhos dos usuários selecionados que, a cada iteração, aumenta sua dimensão em 1 até que  $|\xi| = N$ ,  $\mathbf{h}_{\xi_i} = [h_{1,\xi_i}, \dots, h_{N_T,\xi_i}]$ ,  $\mathbf{N}$  é o espaço ortogonal aos usuários selecionados, calculado por meio da subtração da matriz identidade pela matriz pseudo-inversa do canal aplicada à matriz do canal.  $\xi_i$  corresponde à métrica de seleção e é calculada pela norma da projeção do vetor do  $i$ -ésimo usuário

sobre o espaço  $N$ , onde  $\xi = \xi \cup \{k\}$ . A variável  $\Omega$  representa o conjunto de índices de usuários candidatos. Por fim,  $k$  é o índice do usuário selecionado na iteração, dado por  $k = i\zeta_i$ . Utiliza-se como critério de seleção os usuários com maiores valores de  $\xi$ .

O procedimento proposto realizado para a alocação adaptativa de potência seguiu os passos descritos no **Algoritmo 1**: Alocação de Potência e Seleção de Usuários. No **Algoritmo 1**, a cada iteração atualiza-se as potências dos usuários de acordo com as Equações (5) e (6). Caso a condição descrita pela Equação (7) não seja respeitada, seleciona-se os melhores usuários de acordo com as Equações (8) à (10).

---

**Algoritmo 1:** ALOCAÇÃO DE POTÊNCIA E SELEÇÃO DE USUÁRIOS.

---

**Entrada:**  $total\_pacotes, SNR, p, N_A, N_K, N_T, N_R$

```

1 para cada  $s \in SNR$  faça
2   para cada  $t \in total\_pacotes$  faça
3     Seja  $g_k(t)$  uma variável aleatória
       representando o ganho de canal;
4     se  $N_K \cdot N_R \leq N_T$  então
5       Dados  $SNR(s), g_k(t), N_R, N_T$ , calcule
        $p_{k=1}(t)$  com a Equação (5)
6       Dados  $SNR(s), g_k(t), N_R, N_T$ , calcule
        $p_{k>1}(t)$  com a Equação (6)
7     fim
8   senão
9     Dados  $N_K, N_A, g_k(t)$  selecione os
       usuários com maiores valores de  $\xi$ ,
       calculados com as Equações (8) à (10)
10    Dados  $SNR(s), g_k(t), N_R, N_T$ , calcule
        $p_{k=1}(t)$  com a Equação (5)
11    Dados  $SNR(s), g_k(t), N_R, N_T$ , calcule
        $p_{k>1}(t)$  com a Equação (6)
12    fim
13  fim
14 fim
```

---

No **Algoritmo 1** proposto,  $N_A$  é o número de usuários ativos,  $N_K$  é o número de usuários do sistema,  $N_R$  é o número de antenas de recepção para cada usuário,  $N_T$  é o número de antenas de transmissão na EB,  $p$  é a potência total alocada para o sistema,  $p_k$  é a potência alocada para o  $k$ -ésimo usuário,  $g_k$  é o ganho de canal do  $k$ -ésimo usuário,  $total\_pacotes$  é o total de pacotes a serem transmitidos no sistema e  $SNR$  é o valor da relação sinal-ruído considerada em cada iteração do algoritmo. Assim, o algoritmo selecionará todos os usuários quando  $N_K \times N_R \leq N_T$  e, caso contrário, selecionará os  $N_A$  melhores usuários de acordo com o algoritmo de Projeções Sucessivas.

## VI. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para avaliar o desempenho da proposta de alocação adaptativa de potência com seleção de usuários, desenvolveu-se um programa em MATLAB<sup>®</sup> capaz de simular quatro cenários para a alocação de potência dos usuários: fixa, aleatória e adaptativa 1 e adaptativa 2. Inicialmente, considerou-se um sistema consistindo de uma EB com 20 antenas transmissoras enviando dados em um enlace de descida para 10 EUs

com duas antenas receptoras cada. A Tabela I apresenta os parâmetros utilizados nas simulações.

Para a simulação com alocação aleatória de potência, gerou-se valores aleatórios de potência para cada usuário em cada iteração sobre o tempo total. Para a simulação com alocação fixa de potência, alocou-se valores fixos iguais a  $p/(N_K N_R)$  para todos os usuários do sistema. A execução do algoritmo foi feita levando-se em consideração diferentes cenários.

O gráfico da vazão total do sistema *versus* SNR é apresentado na Figura 3 (a). Nota-se que para baixos valores de SNR, o algoritmo proposto provê maiores valores de vazão total em comparação com os demais algoritmos. Esse comportamento é interessante, porque a maioria dos sistemas reais apresentam SNR geralmente nessa faixa de valores.

TABELA I  
PARÂMETROS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES.

Parâmetro	Valor
Modulação	QPSK
Número de <i>frames</i> ( $N_F$ )	10
Número de pacotes ( $N_{PK}$ )	200
Número de EU ( $N_K$ )	10
Número de antenas de recepção em cada EU ( $N_R$ )	2
Número de EB ( $N_{EB}$ )	1
Número de antenas de transmissão na EB ( $N_T$ )	20
Largura de banda de um bloco de recurso ( $B$ )	180 kHz
Potência Total do sistema ( $p$ )	5 dBm
SNR	0 até 40 dB

Com a intenção de analisar o comportamento dos algoritmos ao variar a quantidade de usuários, realizou-se simulações com os mesmos parâmetros da Tabela I, porém variando o número de EUs de 2 até 20. Os resultados de taxa agregada (*sum rate*) para essas simulações sem a seleção de usuários e utilizando o algoritmo proposto com a seleção dos 10 melhores usuários são apresentados na Figura 3 (b). A taxa agregada corresponde ao total de bits transmitidos pelos usuários no sistema.

Pela Figura 3 (b), é possível notar que na simulação considerando alocação de potência sem a seleção de usuários, a taxa agregada sofre reduções severas quando a condição (7) não é respeitada. Assim, a aplicação do algoritmo proposto de alocação adaptativa com seleção de usuários permite que mais usuários consigam fazer parte do sistema com valores de taxa agregada iguais ou maiores aos obtidos para os casos onde todos os usuários são considerados (sem seleção de usuários). Nota-se também que o algoritmo de alocação de potência **Adaptativo 2** foi o que obteve maiores valores de taxa agregada quando não se considera seleção de usuários, principalmente com o aumento da quantidade de usuários, justificando a sua escolha em nossa proposta.

Com o objetivo de avaliar o comportamento da taxa agregada com o aumento massivo do número de usuários e número de antenas, dado o crescente interesse em pesquisas por MIMO Massivo [12], realizou-se uma simulação com a variação dos usuários de 2 até 96. O resultado dessa simulação é apresentado na Figura 4. Como a proposta de utilização do algoritmo Adaptativo 2 com seleção de usuários obtém os maiores valores de taxa agregada (vide Figura 3 (b)) em comparação com os demais algoritmos, consequentemente

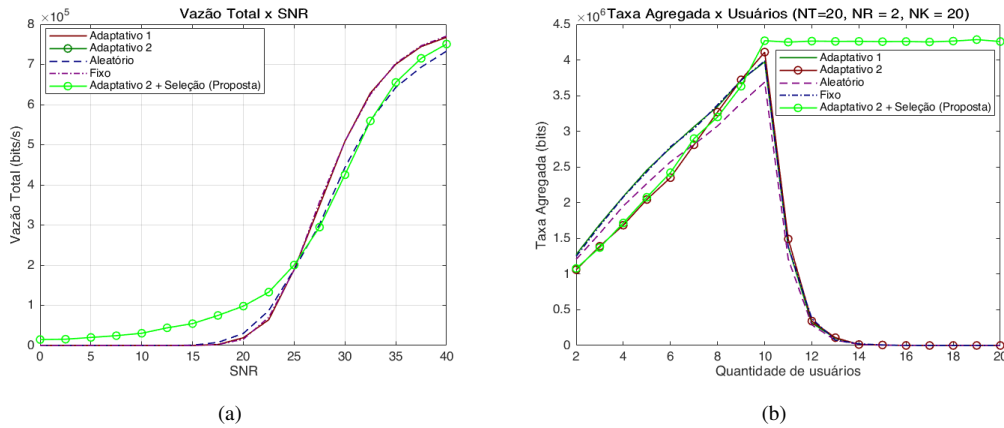


Fig. 3. Resultados da simulação para o cenário abordado na Tabela I: (a) Relação Vazão total versus SNR. (b) Relação Taxa agregada versus quantidade de usuários.

o algoritmo proposto obtém maiores valores de *sum rate*, conforme indicado pela Figura 4.

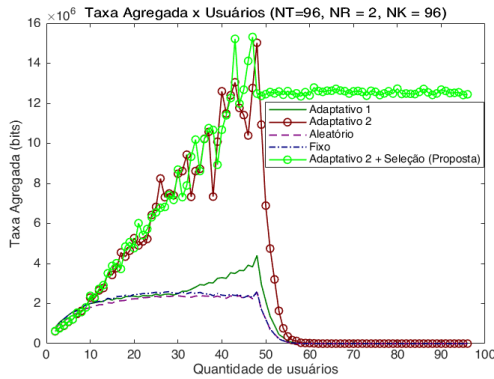


Fig. 4. Taxa agregada para o cenário com  $N_T = 96$ ,  $N_R = 48$ ,  $2 \leq N_K \leq 96$ , com seleção dos 48 melhores usuários no Algoritmo Proposto.

## VII. CONCLUSÃO

A combinação das técnicas NOMA com sistemas MIMO multiusuário em sistemas de comunicação móvel tem sido considerada uma abordagem promissora para as redes 5G em vários estudos realizados. A eficiência na seleção de usuários e na alocação de potências para os mesmos em uma célula são fatores fundamentais para a melhoria do desempenho de sistemas NOMA MIMO.

Neste trabalho, é proposto um algoritmo para seleção de usuários e alocação adaptativa de potência considerando o enlace de descida de um sistema NOMA MIMO. Para analisar o comportamento da variação do número de usuários no sistema, foram considerados nas simulações cenários com diferentes quantidades de usuários no sistema. A escolha dos usuários foi realizada de maneira a maximizar a capacidade do sistema de acordo com [11]. Os algoritmos propostos para a alocação adaptativa de potência também foram desenvolvidos com base em problemas de otimização, cujos objetivos são o de maximizar a vazão dos usuários [6] [7].

Para fins de comparação, implementou-se um simulador de sistema NOMA MIMO em MATLAB<sup>®</sup> capaz de simular

quatro métodos de alocação de potência: aleatória, fixa e adaptativa 1 e adaptativa 2. Os resultados das simulações realizadas indicaram que o método de alocação de potência adaptativa 2 foi o que obteve maiores valores de vazão, quando não se considera seleção de usuários. Quando comparado a outros algoritmos de alocação de potência, o algoritmo proposto (contemplando seleção de usuários) apresenta resultados superiores aos demais métodos de alocação de potência em termos de taxa agregada e vazão. Constatou-se também que o aumento de usuários sem respeitar os limites da Diagonalização de Blocos reduz drasticamente a vazão. O algoritmo de seleção de usuários via projeções sucessivas permite que vários usuários consigam transmitir dados obtendo valores de vazão maiores do que os outros algoritmos considerados.

## REFERÊNCIAS

- [1] F. L. Luo and C. Zhang, *Signal Processing For 5G: Algorithms and Implementations*, 1st ed. John Wiley & Sons, 2016.
- [2] S. Ali, H. Tabassum, and E. Hossain, *Dynamic User Clustering and Power Allocation for Uplink and Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Systems*, 2016.
- [3] Z. Ding, F. Adachi, and H. V. Poor, "The application of mimo to non-orthogonal multiple access," 2016.
- [4] S. M. R. Islam, M. Zeng, and O. A. Dobre, *NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency*, 2017, vol. 1, no. 2.
- [5] Y. S. Cho, J. Kim, W. Y. Yang, and C. G. Kang, *MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB*, 1st ed. John Wiley & Sons, 2010, vol. 1.
- [6] S. Ali, E. Hossain, and D. I. Kim, *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Downlink Multiuser MIMO Systems: User Clustering, Beamforming and Power Allocation*, 2016.
- [7] M. R. Zamani, M. Eslami, and M. Khorramizadeh, *Optimal Sum-Rate Maximization in a NOMA System with Channel Estimation Error*, 2018.
- [8] M. Zeng, A. Yadav, O. A. Dobre, G. I. Tsiropoulos, and H. V. Poor, *On the Sum Rate of MIMO-NOMA and MIMO-OMA Systems*, 2017, vol. 6, no. 4.
- [9] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access*, 2013.
- [10] R. C. Kizilirmak, *Towards 5G Wireless Networks - A Physical Layer Perspective.*, 2016, vol. 1, no. 1.
- [11] T. Yoo and A. Goldsmith, *On the Optimality of Multi-antenna Broadcast Scheduling Using Zero-Forcing Beamforming*, 2006.
- [12] J. Mundy, *What Is Massive MIMO Technology?*, 2019, acessado: 2019-05-05.