



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112015023223-0 B1**



**(22) Data do Depósito:** 12/03/2014

**(45) Data de Concessão:** 01/11/2022

**(54) Título:** SISTEMAS E MÉTODOS PARA CALIBRAÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIA EXPLORANDO A RECIPROCIDADE DE CANAL EM COMUNICAÇÕES SEM FIO DISTRIBUÍDAS DE ENTRADA E DISTRIBUÍDAS DE SAÍDA

**(51) Int.Cl.:** H04W 4/00.

**(30) Prioridade Unionista:** 15/03/2013 US 13/844.355.

**(73) Titular(es):** REARDEN, LLC.

**(72) Inventor(es):** ANTONIO FORENZA; FADI SAIBI; TIMOTHY A. PITMAN; STEPHEN G. PERLMAN.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2014025105 de 12/03/2014

**(87) Publicação PCT:** WO 2014/151150 de 25/09/2014

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 14/09/2015

**(57) Resumo:** SISTEMAS E MÉTODOS PARA CALIBRAÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIA EXPLORANDO A RECIPROCIDADE DE CANAL EM COMUNICAÇÕES SEM FIO DISTRIBUÍDAS DE ENTRADA E DISTRIBUÍDAS DE SAÍDA A presente invenção descreve sistemas e métodos para calibração de radiofrequência (RF) em um sistema de múltiplas antenas (MAS) com transmissões de múltiplos usuários (MU) ("MU-MAS") explorando a reciprocidade de canal de enlace ascendente/enlace descendente. A calibração de RF é usada para calcular o pré-codificador de circuito aberto de enlace descendente com base nas estimativas de canal de enlace ascendente, evitando, assim, sobrecarga de retroinformação de informações de estado de canal, como em esquemas de circuito fechado. Por exemplo, um MU-MAS de uma modalidade compreende uma rede celular sem fio com uma ou múltiplas estações de radiofarol, múltiplos dispositivos de cliente e múltiplas antenas distribuídas operando de forma cooperativa por meio de métodos de pré-codificação para eliminar a interferência entre clientes e aumentar a capacidade de rede.

**“SISTEMAS E MÉTODOS PARA CALIBRAÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIA  
EXPLORANDO A RECIPROCIDADE DE CANAL EM COMUNICAÇÕES SEM  
FIO DISTRIBUÍDAS DE ENTRADA E DISTRIBUÍDAS DE SAÍDA”**

Pedidos relacionados

[0001] Este pedido pode ser relacionado aos Pedidos de Patente US copendentes a seguir:

[0002] Pedido de patente US nº de série 13/797.984, intitulado “Systems and Methods for exploiting inter-cell multiplexing gain in wireless systems via distributed input distributed output technology”

[0003] Pedido de patente US nº de série 13/797.971, intitulado “Systems and Methods for exploiting inter-cell multiplexing gain in wireless systems via distributed input distributed output technology”

[0004] Pedido de patente US nº de série 13/797.950, intitulado “Systems and Methods for exploiting inter-cell multiplexing gain in wireless systems via distributed input distributed output technology”

[0005] Pedido de patente US nº de série 13/633.702, intitulado “Systems and Methods for wireless backhaul in distributed-input distributed-output wireless systems”

[0006] Pedido de patente US nº de série 13/475.598, intitulado “Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems”

[0007] Pedido US nº de série 13/233.006, intitulado “System and Methods for planned evolution and obsolescence of multiuser spectrum”

[0008] Pedido US nº de série 13/232.996, intitulado “Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems”

[0009] Pedido US nº de série 13/464.648, intitulado “System and Methods to Compensate for Doppler Effects in Distributed-Input Distributed Output Systems”

[00010] Pedido US nº de série 12/917.257, intitulado “Systems And Methods To Coordinate Transmissions In Distributed Wireless Systems Via User Clustering”

[00011]Pedido US n° de série 12/802.988, intitulado “Interference Management, Handoff, Power Control And Link Adaptation In Distributed-Input Distributed-Output (DIDO) Communication Systems”

[00012]Pedido US n° de série 12/802.974, intitulado “System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters”

[00013]Pedido de patente US n° de série 12/802.989, intitulado “System and Method For Managing Handoff Of A Client Between Different Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Networks Based On Detected Velocity Of The Client”

[00014]Pedido US n° de série 12/802.958, intitulado “System And Method For Power Control And Antenna Grouping In A Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Network”

[00015]Pedido US n° de série 12/802.975, intitulado “System And Method For Link adaptation In DIDO Multicarrier Systems”

[00016]Pedido US n° de série 12/802.938, intitulado “System And Method For DIDO Precoding Interpolation In Multicarrier Systems”

[00017]Pedido US n° de série 12/630.627, intitulado “System And Method For Distributed Antenna Wireless Communications”

[00018]Patente US n° 8.170.081, concedida em 1 de maio de 2012, intitulada “System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements”

[00019]Patente US n° 8.160.121, concedida em 17 de abril de 2012, intitulada, “System and Method For Distributed Input-Distributed Output Wireless Communications”;

[00020]Patente US n° 7.885.354, concedida em 8 de fevereiro de 2011, intitulada “System and Method For Enhancing Near Vertical Incidence Skywave (“NVIS”) Communication Using Space-Time Coding”

[00021] Patente US n° 7.711.030, concedida em 4 de maio de 2010, intitulada “System and Method For Spatial-Multiplexed Tropospheric Scatter Communications”;

[00022]Patente US n° 7.636.381, concedida em 22 de dezembro de 2009, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00023]Patente US n° 7.633.994, concedida em 15 de dezembro de 2009, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00024]Patente US n° 7.599.420, concedida em 6 de outubro de 2009, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00025]Patente US n° 7.418.053, concedida em 26 de agosto de 2008, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”.

#### Antecedentes

[00026] Nas últimas três décadas, o mercado de celular remoto experimentou número crescente de assinantes no mundo todo assim como demanda por melhores serviços variando de voz a navegação na web e streaming de vídeo HD em tempo real. A crescente demanda por serviços que necessitam de taxa de dados mais alta, latência mais baixa e confiabilidade aprimorada tem levado a uma evolução radical das tecnologias sem fio através de diferentes padrões. Começando a partir da primeira geração de AMPS e TACS analógicos (para serviço de voz) no início de 1980, para GSM digital de 2G e 2,5G, IS-95 e GPRS (para serviços de voz e dados) na década de 1990, a 3G com UMTS e CDMA2000 (para navegação na web) no início de 2000 e, finalmente, LTE (para conectividade de alta velocidade à Internet) atualmente em implantação em diferentes países do mundo.

[00027] A Evolução a longo prazo (LTE) é o padrão desenvolvido pelo projeto de parceria de terceira geração (3GPP) para sistemas de celulares sem fio de quarta geração (4G). A LTE pode atingir, teoricamente, uma melhoria de até 4x em eficiência espectral de enlace descendente sobre o 3G e os padrões HSPA + anteriores através da exploração dos componentes espaciais de canais sem fio por meio da tecnologia de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO). A LTE-Avançada é a evolução da LTE, atualmente sob padronização, que permitirá, teoricamente, aumento de até 8x na eficiência espectral em sistemas 3G padrão.

[00028] Apesar desta evolução tecnológica, é muito provável que nos próximos três anos as operadoras de telefonia móvel não sejam capazes de satisfazer a crescente demanda de taxa de dados devido a crescente penetração de smartphones e tablets no mercado, oferecendo aplicativos mais famintos de dados, como streaming de vídeo em tempo real HD, videoconferência e jogos. Estima-se que a capacidade de redes sem fio irá crescer 5x na Europa de 2011 a 2015 devido à melhora de tecnologias, como LTE, bem como mais espectro disponibilizado pelo governo [25]. Por exemplo, a FCC está planejando liberar 500 MHz de espectro até 2020 (dos quais 300 MHz estarão disponíveis em 2015) para promover a conectividade com a Internet sem fio em todo os EUA como parte do Plano Nacional de Banda Larga [24]. Infelizmente, a previsão para uso da capacidade até 2015 é 23x a mais em 2011 na Europa [25], e um déficit de espectro semelhante está previsto para acontecer nos EUA em 2014 [26-27]. Como resultado desta crise de dados, as receitas para operadoras de telefonia móvel podem cair abaixo do seu CAPEX e OPEX, com impacto potencialmente devastador sobre o mercado de telefonia móvel [28].

[00029] Como os ganhos de capacidade oferecidos pela implantação de LTE e aumento da disponibilidade de espectro são insuficientes, a única solução previsível para evitar esta próxima crise espectro é promover novas tecnologias sem fios [29]. LTE-Avançada (a evolução do padrão LTE) promete ganhos adicionais sobre LTE através de técnicas MIMO mais sofisticadas e pelo aumento da densidade de “pequenas células” [30]. No entanto, há limites para o número de células que podem se encaixar em uma determinada área sem incorrer em problemas de interferência ou aumentar a complexidade do backhaul para permitir a coordenação através das células.

[00030] Uma tecnologia promissora que irá fornecer ordens de aumento de magnitude na eficiência espectral através de links sem fios sem as limitações dos sistemas celulares convencionais é a tecnologia de entrada distribuída e

saída distribuída (DIDO) (ver Patentes e Pedidos Relacionados referidos em [0002-0020] acima. A presente invenção descreve a tecnologia DIDO empregada no contexto de sistemas celulares (como LTE ou LTE-Avançada), tanto dentro quanto fora das restrições de padrões celulares, para proporcionar benefícios de desempenho significativos sobre sistemas sem fio convencionais. Começamos com uma visão geral sobre MIMO e revisão de diferentes técnicas de processamento espaciais empregadas por LTE e LTE-Avançada. Então, vamos mostrar como a presente invenção fornece ganhos de capacidade significativos para os sistemas de comunicação sem fio da próxima geração, em comparação com abordagens da técnica anterior.

[00031] MIMO utiliza múltiplas antenas nos lados do transmissor e receptor da ligação sem fio e utiliza o processamento espacial para melhorar a confiabilidade da ligação por meio de técnicas de diversidade (isto é, *ganho de diversidade*) ou fornecer taxas de dados mais elevadas por meio de esquemas de multiplexação (ou seja, *ganho de multiplexação*) [1-2]. O ganho de diversidade é uma medida da robustez melhorada para o desvanecimento do sinal, resultando em maior razão de sinal-para-ruído (SNR) para a taxa de dados fixa. O ganho de multiplexação é obtido pela exploração de graus espaciais adicionais de liberdade do canal sem fio para aumentar a taxa de dados para a probabilidade de erro fixa. As compensações fundamentais entre diversidade e multiplexação em sistemas MIMO foram descritas em [3 a 4].

[00032] Em sistemas MIMO práticos, técnicas de adaptação de link podem ser usadas para alternar dinamicamente entre os esquemas de diversidade e de multiplexação com base em condições de propagação [20-23]. Por exemplo, os esquemas de adaptação de enlace descritos em [22 a 23] mostraram que a formação de feixe ou Códigos de Bloco de Tempo-Espaço Ortogonais (OSTBC) são os esquemas preferencias no regime de baixa SNR ou canais caracterizados pela baixa seletividade espacial. Em contrapartida, a multiplexação espacial pode fornecer ganho significativo na taxa de dados para canais com alta SNR e alta

seletividade espacial. Por exemplo, a **Figura 1** mostra que as células podem ser divididas em duas regiões: i) região de multiplexação 101, caracterizada pela elevada SNR (devido à proximidade com a torre de célula ou estação de base), onde os graus espaciais de liberdade do canal podem ser explorados através de multiplexação espacial para aumentar a taxa de dados; ii) região de diversidade 102 ou borda de célula, onde técnicas espaciais de multiplexação não são tão eficazes e métodos de diversidade podem ser usados para melhorar a SNR e a cobertura (gerando apenas aumento marginal na taxa de dados). Observa-se que o círculo da macrocélula 103 na **Figura 1** rotula o centro sombreado do círculo como a “região de multiplexação” e a região exterior não sombreada do círculo como a região de “diversidade”. Essa mesma região de designação é usada ao longo das **Figuras 1,3-5**, onde a região sombreada representa a “região de multiplexação” e a região não sombreada representa a “região de diversidade”, mesmo que elas não estejam rotuladas. Por exemplo, a mesma designação é usada para a célula pequena 104 na **Figura 1**.

[00033] Os padrões LTE (Versão 8) e LTE-Avançada (Versão 10) definem um conjunto de dez *modos de transmissão* (TM), incluindo tanto os esquemas de diversidade, quanto os de multiplexação [35,85-86]:

- Modo 1: Porta de antena única, porta 0
- Modo 2: Diversidade de transmissão
- Modo 3: Diversidade de atraso cíclico de grande atraso (CDD), extensão da multiplexação espacial de circuito aberto para MIMO de único usuário (SU-MIMO)
- Modo 4: Multiplexação espacial de circuito fechado para SU-MIMO
- Modo 5: MIMO de multiusuário (MU-MIMO)
- Modo 6: Multiplexação espacial de circuito fechado, usando uma única camada de transmissão
- Modo 7: Única porta de antena, RS de UE específico (porta 5)

- Modo 8: Transmissão de camada única ou dupla com RS de UE específico (portas 7 e/ou 8)
- Modo 9: SU-MIMO de circuito fechado de camada única ou até oito camadas (adicionado na Versão 10)
- Modo 10: SU-MIMO de circuito fechado de multicamada, até oito camadas (adicionado na Versão 10)

[00034] Doravante, descrevemos os esquemas de diversidade e de multiplexação normalmente usados em sistemas celulares, bem como os métodos específicos utilizados na LTE, conforme descrito acima, e compará-los com técnicas que são únicas para as comunicações DIDO. Identificou-se primeiro dois tipos de métodos de transmissão: i) métodos intracelulares (explorando a *microdiversidade* em sistemas celulares), usando várias antenas para melhorar a confiabilidade do enlace ou taxa de dados dentro de uma célula; ii) métodos intercelulares (explorando *macrodiversidade*), permitindo a cooperação entre as células para proporcionar diversidade adicional ou ganhos de multiplexação. Em seguida, é descrita a forma como a presente invenção fornece vantagens significativas (incluindo ganho de capacidade espectral) sobre a técnica anterior.

#### 1. Métodos de diversidade intracelular

[00035] Métodos de diversidade intra-célula operam dentro de uma célula e são projetados para aumentar a SNR em cenários com má qualidade de link (por exemplo, os usuários na borda da célula sujeitos a altas perdas de trajetória a partir da torre central ou estação base). Os esquemas de diversidade típicos utilizados em comunicações MIMO são formação de feixe [5 a 11] e códigos de bloco de espaço-tempo ortogonais (OSTBC) [12 a 15].

[00036] Técnicas de diversidade suportadas pelo padrão LTE são diversidade de transmissão, pré-codificação de classe 1 de circuito fechado e formação de feixe dedicada [31 a 35]. O esquema de diversidade de transmissão suporta duas ou quatro antenas de transmissão sobre o enlace descendente (DL) e apenas duas antenas para o enlace ascendente (UL). No canal DL, é



implementado através de códigos de bloco de espaço-frequência (SFBC) combinados com a diversidade de transmissão comutada por frequência (FSTD) para explorar o espaço, bem como a seletividade de frequência [31]. A pré-codificação nível 1 cria um feixe dedicado a um usuário baseado em pesos quantizados, selecionados a partir de um livro de códigos (pré-projetado usando técnicas limitadas de retroalimentação [36 a 42]) para reduzir a sobrecarga de retroalimentação do equipamento de usuário (UE) para a estação base do transceptor (BTS 105 na Figura 1, ou eNodeB usando terminologia LTE). Alternativamente, os pesos de formação de feixe dedicados podem ser calculados com base no sinal de referência específico de UE.

## 2. Métodos de multiplexação intracelular

[00037] Esquemas de multiplexação MIMO [1,19] fornecem ganho de taxa de dados em regime de alta SNR e em cenários com graus de liberdade espaciais suficientes no canal (por exemplo, ambientes de multitrajetória ricos com alta seletividade espacial [16 a 18]) para suportar vários fluxos de dados paralelos através de links sem fios.

[00038] O padrão LTE suporta diferentes técnicas de multiplexação para MIMO de único usuário (SU-MIMO) e MIMO de multi-usuário (MU-MIMO) [31]. Os esquemas SU-MIMO têm dois modos de operação: i) circuito fechado, explorando informações de retroalimentação a partir do UE para selecionar os pesos de pré-codificação de DL; ii) circuito aberto, usado quando a retroalimentação do UE não está disponível ou o UE está se movendo muito rápido para suportar esquemas de circuito fechado. Os esquemas de circuito fechado utilizam um conjunto de pesos pré-computados selecionados a partir de um livro de códigos. Estes pesos podem suportar duas ou quatro antenas de transmissão, bem como um a quatro fluxos de dados paralelos (identificados pelo número de camadas da matriz de pré-codificação), dependendo do pedido do UE e decisão do programador na BTS. A LTE-Avançada vai incluir novos modos de transmissão até MIMO 8x8 para fornecer até 8x de aumento da eficiência espectral através do

processamento espacial [62].

[00039] Esquemas MU-MIMO são definidos para ambos canais UL e DL. [31,50]. No UL, cada UE envia um sinal de referência para a BTS (consistindo na versão deslocada ciclicamente da sequência Zadoff-Chu [33]). Esses sinais de referência são ortogonais, de tal modo que a BTS pode estimar o canal a partir de todos os UEs e demodular fluxos de dados a partir de múltiplos UEs simultaneamente através de processamento espacial. No DL, os pesos de pré-codificação para diferentes UEs são selecionados dentre livros de código com base na retroalimentação dos UEs e do programador (semelhante aos esquemas SU-MIMO de circuito fechado), e apenas a pré-codificação da classe 1 é permitida para cada UE (por exemplo, cada UE recebe apenas um fluxo de dados).

[00040] Técnicas de multiplexação intra-célula empregando o processamento espacial fornecem um desempenho satisfatório apenas em cenários de propagação caracterizadas pela alta SNR (ou SINR) e alta seletividade espacial (ambientes ricos em multitrajetória). Para macrocélulas convencionais, essas condições podem ser mais difíceis de alcançar, já que as BTSs são tipicamente medidas a partir dos UEs e a distribuição da SINR é tipicamente centrada em valores baixos [43]. Nesses cenários, os esquemas MU-MIMO ou técnicas de diversidade podem ser melhores escolhas do que SU-MIMO com multiplexação espacial.

[00041] Outras técnicas e soluções de rede contempladas pela LTE-Avançada para atingir o ganho de multiplexação adicional (sem a necessidade de processamento espacial através de MIMO) são: agregação de portadora (CA) e pequenas células. A CA [30,44 a 47] combina porções diferentes do espectro de RF para aumentar a largura de banda do sinal até 100 MHz [85], obtendo-se, assim, taxas de dados mais elevadas. A CA intrabanda combina diferentes bandas na mesma porção do espectro. Desse modo, pode-se utilizar a mesma cadeia de RF para múltiplos canais, e os vários fluxos de dados são recombinaados no software. A CA interbanda requer diferentes cadeias de RF para

operar em diferentes partes do espectro, bem como o processamento de sinal para recombinar vários fluxos de dados a partir de diferentes bandas.

[00042] A ideia fundamental de pequenas células [30,47] é reduzir o tamanho das macro-células convencionais, permitindo assim uma maior densidade de células e maior rendimento por área de cobertura. As células pequenas são tipicamente implantadas através de pontos de acesso de baixo custo 106, com transmissão de baixa potência (conforme representado na **Figura 1**) ao invés de torres de celular altas e dispendiosas usadas para macrocélulas. Dois tipos de células pequenas são definidos na LTE-Avançada: i) metrocélulas, para instalação ao ar livre em áreas urbanas, suportando até 32 a 64 usuários simultâneos; e ii) femtocélulas, para uso interno, podem servir, no máximo, 4 usuários ativos. Uma vantagem das células pequenas é que a densidade de UEs perto da BTS é estatisticamente mais elevada, obtendo-se melhor SNR, que pode ser explorada por meio da multiplexação espacial para aumentar a taxa de dados. Há, porém, ainda muitas preocupações sobre a implantação prática de células pequenas, particularmente, relacionadas ao backhaul. Na verdade, pode ser difícil de alcançar a BTS de cada pequena célula por meio de conexões fixas de alta velocidade, especialmente considerando a elevada densidade de metrocélulas e femtocélulas em uma determinada área de cobertura. Embora a utilização do backhaul de Linha-de-Visão (LOS) para células pequenas muitas vezes possa ser implementada de forma pouco dispendiosa, em comparação com o backhaul de rede fixa, muitas vezes não há trajetórias de backhaul de LOS práticas disponíveis para colocações de BTS de pequenas células preferidas, e não existe uma solução geral para o backhaul sem fio de Não-Linha-de-Visão (NLOS) para BTSs de pequenas células. Além disso, células pequenas exigem coordenação complexa em tempo real através dos BTSs para evitar interferência como em redes auto-organizadas (SON) [30,51-52] e ferramentas sofisticadas de planejamento de célula (ainda mais complexas do que sistemas convencionais de celulares, devido à maior densidade de células pequenas) para planejar a sua

localização ótima [48,49]. Finalmente, a transferência é um fator limitante para a implantação de células pequenas, especialmente em cenários onde grupos de assinantes alternam as células ao mesmo tempo, causando grande quantidade de sobrecarga de transferência no backhaul, resultando em alta latência e inevitáveis chamadas interrompidas.

[00043] Pode ser trivialmente mostrado que não existe uma solução geral prática que permite que as células pequenas coexistam com macrocélulas e alcancem a taxa de transferência ideal, ou mesmo necessariamente melhorada. Entre a infinidade de tais situações insolúveis está aquela quando uma pequena célula é localizada de modo que seus UEs sobrepõem-se inevitavelmente com uma transmissão de macrocélula e a células pequena e a macrocélula usam as mesmas frequências para atingir seus respectivos UEs. É evidente que, nesta situação, a transmissão da macrocélula irá interferir com a transmissão de pequenas células. Embora possa haver alguma abordagem que atenuie tal interferência para circunstâncias específicas de uma macrocélula particular, uma pequena célula particular, da macrocélula particular e UEs de pequenas células envolvidos, dos requisitos velocidade desses UEs, e das circunstâncias ambientais, etc., tal abordagem permitiria ser altamente específica, não só para o plano estático da macrocélula e célula pequena, mas para as circunstâncias dinâmicas de um determinado intervalo de tempo. Tipicamente, a velocidade completa do canal para cada UE não pode ser alcançada.

### 3. Métodos de diversidade entre-célula

[00044] Em uma rede heterogênea (HetNet) [90] na qual macrocélulas coexistem com células pequenas (por exemplo, metrocélulas, picocélulas e femtocélulas), é necessário empregar diferentes técnicas para eliminar a interferência intercelular. Embora HetNets forneçam melhor cobertura através de células pequenas, os ganhos na taxa de dados são apenas marginais, já que exigem o compartilhamento do espectro através de diferentes formas de padrões de reuso de frequência ou uso de processamento espacial para remover

interferências em vez de atingir ganho de multiplexação. Os padrões de LTE empregam esquemas de coordenação de interferência intercelular (ICIC) para remover interferência, particularmente, na borda de célula. Existem dois tipos de métodos ICIC: célula autônoma e coordenada entre BTSs.

[00045] Os esquemas de ICIC de célula autônoma evitam a interferência intercelular por meio de diferentes padrões de reuso de frequência mostrados na **Figura 2**, na qual os hexágonos representam as células, e as cores referem-se às diferentes frequências de operadoras. Três tipos de esquemas são considerados em LTE: i) reuso de frequência completa (ou reuso 1), onde as células utilizam toda a largura de banda disponível, como na **Figura 2a**, assim, produzindo alta interferência na borda da célula; ii) reuso intenso de frequência (HFR), onde cada célula é atribuída a uma faixa de frequência diferente, como na **Figura 2b** (com fator de reuso típico de 3) para evitar interferência entre células adjacentes; iii) reuso de frequência fracionário (FFR), onde o centro da célula é atribuído à largura de banda disponível total, como no reuso de frequência 1, considerando que a borda da célula opera no modo HFR para atenuar a interferência intercelular, como na **Figura 2c**.

[00046] Métodos de ICIC coordenados permitem cooperação através de BTSs para melhorar o desempenho de redes sem fio. Essas técnicas são um caso especial de métodos ensinado nas Patentes e Pedidos relacionados [0002 a 0022] para permitir a cooperação entre transceptores sem fio no caso geral de redes de antenas distribuídas para vários UEs, todos usando a mesma frequência simultaneamente. A cooperação entre as BTSs para remover a interferência entre células para o caso particular de sistemas celulares para um único UE em um dado momento a uma dada frequência foi descrita em [53]. O sistema em [53] divide cada macrocélula em várias subcélulas e permite a transferência suave através das subcélulas empregando a formação de feixe dedicada a partir das BTSs coordenadas para melhorar a robustez do enlace em um único UE em uma única frequência, na medida em que se move ao longo dos limites da subcélula.

[00047] Mais recentemente, esta classe de redes celulares sem fio cooperativas foi definida na literatura MIMO como “rede MIMO” ou sistemas de “multi-ponto coordenados” (CoMP). A análise teórica e os resultados simulados sobre os benefícios obtidos na rede MIMO pela eliminação da interferência entre células são apresentados em [54 a 61]. A principal vantagem das redes MIMO e CoMP é remover a interferência intercelular nas regiões sobrepostas das células indicadas como “região de interferência” 301 na **Figura 3** para o caso de macrocélulas 302.

[00048] Redes CoMP estão se tornando ativamente parte do padrão de LTE Avançada como uma solução para mitigar a interferência entre células em redes celulares da próxima geração [62-64]. Três soluções CoMP foram propostas até agora no padrão para remover interferência intercelular: i) *agendamento/formação de feixes coordenados* (CS/CB), onde o UE recebe seu fluxo de dados de apenas uma BTS através de formação de feixe e a coordenação através de BTSs é habilitada para remover interferências através de formação de feixes ou técnicas de agendamento; ii) *seleção dinâmica de célula* (DCS), que escolhe dinamicamente a célula para cada UE em uma base por subquadro, transparentemente para o UE; iii) *transmissão conjunta* (JT), onde os dados para o UE são conjuntamente transmitidos a partir de BTSs múltiplas para melhorar a qualidade do sinal recebido e eliminar a interferência intercelular. O CoMP-JT gera ganhos maiores do que o CoMP-CS/CB ao custo de maior sobrecarga no backhaul para permitir a coordenação através de BTSs.

#### 4. Métodos de multiplexação intercelular

[00049] Sistemas sem fio de multi-usuário da técnica anterior adicionam complexidade e introduzem limitações para redes sem fio que resultam em uma situação em que uma dada experiência de um usuário (por exemplo, taxa de transferência disponível, latência, previsibilidade, confiabilidade) é impactada pela utilização do espectro por outros usuários na área. Dadas as crescentes

demandas por taxa de transferência agregada dentro do espectro sem fio compartilhado por vários usuários, e o aumento crescente de aplicações que podem contar com a confiabilidade da rede sem fio de multiusuário, previsibilidade e baixa latência para um determinado usuário, é evidente que a tecnologia sem fio de multiusuário da técnica anterior sofre de muitas limitações. Na verdade, com a disponibilidade limitada do espectro adequado para determinados tipos de comunicação sem fio (por exemplo, em comprimentos de onda que são eficientes em penetrar paredes de edifício), as técnicas sem fio da técnica anterior serão insuficientes para atender às demandas crescentes por largura de banda que é confiável, previsível e de baixa latência.

[00050] Métodos de diversidade intra-celular e multiplexação da técnica anterior só podem fornecer um aumento de até 4x teórico na taxa de transferência através de redes celulares atuais para LTE (através de MIMO 4x4) ou no máximo um 8x teórico para a LTE-Avançada (através de MIMO 8x8), apesar de ordens superiores de MIMO alcançarem melhorias de diminuição no aumento da taxa de transferência em um determinado ambiente de multi-trajetória, nomeadamente na medida que UEs (como smartphones) ficam menores e mais restritos em termos de colocação de antenas. Outros ganhos de rendimento marginais nos sistemas celulares da próxima geração podem ser obtidos a partir da alocação de espectro adicional (por exemplo, plano nacional de banda larga FCC), explorado através de técnicas de agregação de operadora, e distribuição mais densa de BTSs através de redes de pequenas células e SON [30,46]. Todas as técnicas acima, no entanto, ainda dependem fortemente de técnicas de espectro ou de compartilhamento de tempo para permitir transmissões multiusuário, uma vez que os ganhos de eficiência espectrais obtidos pelo processamento espacial são limitados.

[00051] Enquanto os métodos entre-celulares da técnica anterior, (por exemplo, rede MIMO e Sistemas CoMP [53-64]) podem melhorar a confiabilidade das redes celulares pela eliminação da interferência entre células, os seus ganhos

de capacidade são apenas marginais. Na verdade, esses sistemas limitam a potência transmitida de cada BTS para estar contida dentro dos limites da célula e só são eficazes para eliminar a interferência entre as células devido à dissipação de energia entre as células. A **Figura 3** mostra um exemplo de redes celulares com três BTSs, cada uma caracterizada pela sua própria área de cobertura ou célula. A potência transmitida de cada BTS é restrita para limitar a quantidade de interferência entre as células, representada na **Figura 3** pelas áreas onde as células se sobrepõem. À medida em que esses sistemas operam no regime de baixa SINR na região de interferência, os seus ganhos em eficiência espectral são apenas marginais, de modo semelhante aos sistemas intracelulares para SU-MIMO. Para obter ganhos de capacidade verdadeiramente significativos em redes de cooperação intercelulares, restrições de energia limitadas aos limites da célula devem estar relaxadas, e técnicas de multiplexação espaciais devem ser ativadas em todas as células onde a SINR é alta (e não apenas na borda da célula com mau desempenho de SINR, como nas abordagens da técnica anterior).

[00052] A **Figura 4** mostra o caso no qual a potência transmitida a partir de três BTSs 401, todas transmitindo simultaneamente na mesma frequência, é aumentada, permitindo, assim, um nível mais elevado de interferência em toda a célula 402. Em sistemas da técnica anterior, tal interferência resultaria em interferência incoerente (interrompendo a recepção do sinal do UE) em todas as áreas de interferência das BTSs, mas essa interferência, na verdade, é explorada na presente invenção através de novo métodos de multiplexação intercelular, usando processamento espacial para criar áreas de interferência coerente (melhorando a recepção do sinal do UE) ao redor de cada UE, desse modo, fornecendo fluxos de dados simultâneos sem interferência para cada UE e aumentando sua SINR em toda a célula.

[00053] O cenário mostrado na **Figura 4** é descrito em [89] para o caso específico dos sistemas celulares. O sistema em [89] consiste em várias BTSs identificando diferentes células que são agrupadas em conjuntos. A cooperação



é permitida apenas através de BTSs de células adjacentes dentro dos mesmos conjuntos. Nesse caso foi demonstrado que, à medida em que a potência transmitida das BTSs aumenta, há um limite para a capacidade (ou eficiência espectral) alcançável através de métodos de multiplexação intercelulares. Na verdade, conforme a potência de transmissão aumenta, a interferência fora-do-conjunto aumenta proporcionalmente, produzindo um regime de saturação para a SINR e, conseqüentemente, para a capacidade. Como consequência desse efeito, o sistema em [89] pode teoricamente atingir no máximo o ganho de 3x em capacidade (ou seja, no máximo três células dentro do conjunto), e qualquer célula adicional incluída no conjunto reduziria a capacidade devido à interferência aumentada de fora-do-conjunto (por exemplo, no caso de 21 células por conjunto, gera capacidade inferior ao caso de 3 células por conjunto). Foi observado que o limite de capacidade fundamental em [89] é mantido, pois as BTSs são restringidas a locais predefinidos, como em sistemas celulares, e o ganho de multiplexação é alcançado pelo aumento da potência de transmissão das BTSs. Para obter ganho de capacidade teoricamente ilimitado através de métodos de multiplexação intercelular, a restrição sobre a colocação de BTS deve ser removida, permitindo que as BTSs sejam colocadas em qualquer lugar que seja conveniente.

[00054] Seria, assim, desejável fornecer um sistema que alcance o aumento de ordens de magnitude na eficiência espectral explorando ganho de multiplexação intercelular por meio de processamento espacial, removendo qualquer restrição da potência transmitida das BTSs 501 distribuídas, bem como da sua colocação. A **Figura 5** mostra um exemplo onde muitos pontos adicionais de acesso 502 são adicionados para deliberadamente aumentar o nível de interferência incoerente em toda a célula 503, que é explorada, na presente invenção, para gerar áreas de interferência coerente em torno dos UEs, produzindo, assim, um ganho de multiplexação intercelular teoricamente ilimitado. Os pontos adicionais de acesso são colocados por acaso onde quer que seja

conveniente, e não estão restritos a qualquer planejamento específico de célula, como em sistemas celulares descritos na técnica anterior. Em uma modalidade exemplificativa da invenção, os pontos de acesso ao acaso são pontos de acesso de entrada distribuída e saída distribuída (DIDO), e o ganho de multiplexação intercelular é obtido através de métodos DIDO descritos em [0014 a 0020] e [77 a 78]. Em outra modalidade, os pontos de acesso ao acaso são transceptores de baixa potência, similares aos pontos de acesso Wi-Fi de baixo custo ou células pequenas [30,47], fornecendo portanto menores áreas de cobertura sobrepostas em toda a macrocélula conforme mostrado na **Figura 5**.

[00055] Observou-se que os métodos intercelulares da técnica anterior [53-64] evitam a interferência incoerente ao limitar intencionalmente a potência de transmissão de cada BTS, como na **Figura 3**, e eliminam a interferência residual intercelular (sobre as áreas de sobreposição entre as células) por meio de processamento espacial, fornecendo, assim, uma SINR melhorada e um ganho de diversidade intercelular. Observou-se ainda que [89] restringe a colocação de BTS para planejamento de célula enquanto aumenta a potência de transmissão, limitando, assim, a capacidade alcançável devido à interferência de fora-do-conjunto, e como tal, é ainda limitada pela interferência. Por outro lado, a presente invenção explora a interferência incoerente para criar interferência coerente em torno dos UEs, transmitindo-se potência mais elevada a partir de cada BTS colocada ao acaso, melhorando, assim, a qualidade do sinal no UE, que é a condição necessária para obter ganho de multiplexação intercelular em toda a célula através de processamento espacial. Dessa forma, os sistemas descritos na técnica anterior não podem ser usados para alcançar um ganho de multiplexação intercelular ilimitado através de processamento espacial, já que não há suficiente SINR em toda a célula (devido à potência de transmissão limitada das BTSs ou à interferência de fora-do-conjunto, quando a potência de transmissão é aumentada) para habilitar métodos de multiplexação intercelulares como na presente invenção. Além disso, os sistemas descritos na técnica anterior seriam

inoperáveis para obter o ganho de multiplexação obtido na presente invenção representado nas **Figuras 4 a 5**, dado que os sistemas da técnica anterior foram projetados para evitar interferência intercelular dentro das regiões de diversidade mostradas na área sombreada da **Figura 1** e das **Figuras 3 a 5**, ao invés de explorar a interferência intercelular nas regiões de multiplexação para obter multiplexação intercelular como obtido na presente invenção.

#### Breve descrição dos desenhos

[00056] Uma melhor compreensão da presente invenção será obtida a partir da descrição detalhada a seguir em conjunto com os desenhos, nos quais:

A **Figura 1** ilustra a multiplexação e regiões de diversidade para uma macrocélula e uma célula pequena.

A **Figura 2a** ilustra o padrão de reuso de frequência completo em sistemas celulares convencionais.

A **Figura 2b** ilustra o padrão de reuso de frequência intenso (HFR) em sistemas celulares convencionais.

A **Figura 2c** ilustra o padrão de reuso de frequência fraccionado (FFR) em sistemas celulares convencionais.

A **Figura 3** ilustra a região de interferência entre macrocélulas adjacentes.

A **Figura 4** ilustra múltiplas BTSs transmitindo com potência superior para aumentar o nível de interferência entre células.

A **Figura 5** ilustra um exemplo onde muitos pontos de acesso são adicionados deliberadamente para aumentar o nível de interferência incoerente em toda a célula.

A **Figura 6** ilustra os elementos de rede em redes LTE.

A **Figura 7a** ilustra a estrutura de quadro LTE para operação FDD.

A **Figura 7b** ilustra a estrutura de quadro LTE para operação TDD.

A **Figura 8a** ilustra os “elementos de recurso” de LTE e “blocos de recurso” no canal OFDM DL.

A **Figura 8b** ilustra os “elementos de recurso” de LTE e os “blocos de recurso” no canal SC-FDMA UL.

A **Figura 9** ilustra uma modalidade de um sistema de múltiplas antenas (MAS) para multiusuários (MU), ou MU-MAS, que consiste em conjuntos de antenas e conjuntos de usuários.

A **Figura 10** ilustra uma modalidade de um MU-MAS em que uma ID celular diferente está associada a cada subconjunto de antena.

A **Figura 11** ilustra uma modalidade de um MU-MAS em que o mesmo conjunto de IDs celulares é atribuído aos subconjuntos de antena com um dado padrão de recorrência.

A **Figura 12** ilustra a distribuição de SNR para implantação prática dos sistemas MU-MAS no centro de San Francisco, CA, com áreas esparsamente e densamente povoadas.

A **Figura 13** ilustra uma modalidade de um MU-MAS consistindo em CP, BTSs distribuídas e múltiplos UEs.

A **Figura 14** ilustra uma modalidade de um MU-MAS consistindo em CP, BTSs distribuídas, múltiplos dispositivos e um UE conectado aos dispositivos, bem como às BTSs através de interfaces de rede.

A **Figura 15** ilustra uma modalidade de um MU-MAS em que o UE está em um caso que se conecta fisicamente ao dispositivo de usuário.

A **Figura 16** ilustra uma modalidade de um MU-MAS em que as antenas distribuídas se comunicam com os UEs por meio dos canais de UL e de DL.

A **Figura 17** ilustra uma modalidade de um MU-MAS em que as antenas distribuídas se comunicam com o radiofarol por meio dos canais de UL e de DL.

A **Figura 18** ilustra o desempenho do símbolo de taxa de erro (SER) do MU-MAS com pré-codificação linear com/sem desalinhamento de RF e com/sem calibração de RF.

A **Figura 19** ilustra o desempenho do símbolo de taxa de erro (SER) do MU-MAS com pré-codificação linear e não linear com/sem desalinhamento de RF e com/sem calibração de RF.

A **Figura 20a, b** ilustra as constelações 4-QAM nos UEs (antes da operação do módulo) durante a aplicação da pré-codificação não linear THP.

#### Descrição detalhada

[00057] Uma solução para superar muitas limitações da técnica anterior é uma modalidade da tecnologia de Entrada Distribuída Saída Distribuída (DIDO). A tecnologia DIDO é descrita nas seguintes patentes e pedidos de patentes, todas as quais são atribuídas ao cessionário da presente patente e são incorporadas a título de referência. Estas patentes e pedidos são, às vezes, referidas coletivamente como as “Patentes e Pedidos Relacionados”.

[00058] Pedido de patente US n° de série 13/633.702, intitulado “Systems and Methods for wireless backhaul in distributed-input distributed-output wireless systems”

[00059] Pedido US n° de série 13/475.598, intitulado “Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems”

[00060] Pedido US n° do processo 13/233.006, intitulado “System and Methods for planned evolution and obsolescence of multiuser spectrum”

[00061] Pedido US n° do processo 13/232.996, intitulado “Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems”

[00062] Pedido US n° de série 13/464.648, intitulado “System and Methods to Compensate for Doppler Effects in Distributed-Input Distributed Output Systems”

[00063] Pedido de patente US n° de série 12/917.257, intitulado “Systems And Methods To Coordinate Transmissions In Distributed Wireless Systems Via User Clustering”

- [00064] Pedido US n° de série 12/802.988, intitulado “Interference Management, Handoff, Power Control And Link Adaptation In Distributed-Input Distributed-Output (DIDO) Communication Systems”
- [00065] Pedido US n° de série 12/802.974, intitulado “System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters”
- [00066] Pedido US n° de série 12/802.989, intitulado “System And Method For Managing Handoff Of A Client Between Different Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Networks Based On Detected Velocity Of The Client”
- [00067] Pedido US n° de série 12/802.958, intitulado “System And Method For Power Control And Antenna Grouping In A Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Network”
- [00068] Pedido US n° de série 12/802.975, intitulado “System And Method For Link adaptation In DIDO Multicarrier Systems”
- [00069] Pedido de patente US n° de série 12/802.938, intitulado “System and Method For DIDO Precoding Interpolation In Multicarrier Systems”
- [00070] Pedido US n° de série 12/630.627, intitulado “System And Method For Distributed Antenna Wireless Communications”
- [00071] Patente US n° 8.170.081, concedida em 1 de maio de 2012, intitulada “System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements”
- [00072] Patente US n° 8.160.121, concedida em 17 de abril de 2012, intitulada, “System and Method For Distributed Input-Distributed Output Wireless Communications”;
- [00073] Patente US n° 7.885.354, concedida em 8 de fevereiro de 2011, intitulada “System and Method For Enhancing Near Vertical Incidence Skywave (“NVIS”) Communication Using Space-Time Coding”

[00074] Patente US n° 7.711.030, concedida em 4 de maio de 2010, intitulada “System and Method For Spatial-Multiplexed Tropospheric Scatter Communications”;

[00075] Patente US n° 7.636.381, concedida em 22 de dezembro de 2009, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00076] Patente US n° 7.633.994, concedida em 15 de dezembro de 2009, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00077] Patente US n° 7.599.420, concedida em 6 de outubro de 2009, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00078] Patente US n° 7.418.053, concedida em 26 de agosto de 2008, intitulada “System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication”;

[00079] Para reduzir o tamanho e complexidade do presente pedido de patente, a revelação de algumas das Patentes e Pedidos Relacionados não é explicitamente apresentada abaixo. Favor consultar as Patentes e Pedidos Relacionados para uma descrição completa da revelação.

[00080] A presente invenção descreve um sistema e métodos para explorar o ganho de multiplexação intercelular em redes de comunicação sem fio por meio de processamento espacial, empregando um sistema de múltiplas antenas (MAS) com transmissões multiusuário (MU) (um sistema de múltiplas antenas multiusuário, ou “MU-MAS”), onde as múltiplas antenas são colocadas ao acaso. Em uma modalidade da invenção, a potência transmitida a partir das múltiplas antenas é limitada para minimizar a interferência nos limites das células (como em sistemas celulares convencionais) e os métodos de processamento espacial são utilizados apenas para eliminar a interferência entre as células. Em outra modalidade da invenção, a potência transmitida de múltiplas antenas não é

restrita a qualquer nível específico de potência (desde que seu nível de emissão de potência se enquadre nos limites de regulamentação, segurança ou práticos (por exemplo, potência disponível, especificações do transmissor e/ou antena), criando, assim, intencionalmente, níveis mais elevados de interferência intercelular em toda a célula que é explorada para atingir um ganho de multiplexação intercelular, e aumentam a capacidade da rede de comunicações sem fio.

[00081] Em uma modalidade, a rede de comunicações sem fio é uma rede celular, como nas **Figuras 1 e 3**, como uma rede celular baseada em padrões de LTE, e as múltiplas antenas implantadas ao acaso são transceptores para macrocélulas ou células pequenas. Em outra modalidade da invenção, a rede de comunicações sem fio não é limitada a qualquer disposição de célula particular, e os limites da célula podem se estender ao longo de áreas maiores, como nas **Figuras 4 a 5**. Por exemplo, a rede de comunicações sem fio poderia ser uma rede de área local sem fio (WLAN) com múltiplas antenas sendo pontos de acesso Wi-Fi, ou uma malha, propósito específico ou rede de sensor ou um sistema de antena distribuída, ou um sistema DIDO com pontos de acesso colocados ao acaso sem qualquer restrição da potência de transmissão. Porém, como exemplo, as estruturas de rede não devem ser consideradas como limitadoras da aplicabilidade geral da presente invenção às redes de comunicações sem fios. A presente invenção aplica-se a qualquer rede sem fios, onde o ganho de multiplexação é conseguido através de sinais de transmissão a partir de múltiplas antenas que interferem onde recebidas por vários UEs, de modo a criar fluxos de dados não interferentes simultaneamente para vários UEs.

[00082] O MU-MAS consiste em um processador centralizado, uma rede e estações de transceptor M (ou antenas distribuídas) comunicando-se sem fios com N dispositivos de cliente ou UEs. A unidade de processador centralizado recebe N fluxos de informação com diferentes conteúdos de rede (por exemplo, vídeos, páginas da web, videogames, texto, voz, etc., transmitidos de servidores



da web ou outras fontes de rede) destinados a diferentes dispositivos de cliente. A seguir, usou-se o termo “fluxo de informações” para se referir a qualquer fluxo de dados enviado pela rede contendo informações que possam ser demoduladas ou decodificadas como um fluxo autônomo, de acordo com certo esquema de modulação/codificação ou protocolo, para produzir todos os dados, incluindo, mas não se limitando a, áudio, web e conteúdo de vídeo. Em uma modalidade, o fluxo de informação é uma sequência de bits que transporta conteúdos de rede que podem ser demodulados ou decodificados como uma corrente independente.

[00083] O processador centralizado utiliza transformação de pré-codificação para combinar (de acordo com algoritmos, tais como os descritos nas patentes e pedidos de patentes relacionados) os N fluxos de informações de conteúdo da rede em M *fluxos de bits*. A título de exemplo, mas não como limitação, a transformação de pré-codificação pode ser de linear (por exemplo, força-zero, [65], diagonalização de bloco [66-67], inversão de matriz, etc.) ou não linear (por exemplo, codificação de papel sujo [68-70] ou pré-codificação de Tomlinson-Harashima [71-72], técnicas de treliça ou pré-codificação de treliça [73-74], técnicas de perturbação de vetor [75-76]). A partir de agora, é usado o termo “fluxo de bits” para se referir a qualquer sequência de bits que não necessariamente contém qualquer bit de informação útil e, como tal, não pode ser demodulada ou decodificada como um fluxo autônomo para recuperar o conteúdo da rede. Em uma modalidade da invenção, a corrente de bits é o sinal de banda base complexo produzido pelo processador centralizado e quantificado sobre determinado número de bits a ser enviado para uma das M estações transceptoras.

[00084] A pré-codificação é calculada no processador centralizado ao empregar as Informações de Estado do Canal (CSI), e aplicada sobre os canais de DL ou UL para multiplexar fluxos de dados para ou de múltiplos usuários. Em uma modalidade da invenção, o processador centralizado está ciente das CSI entre as antenas distribuídas e os dispositivos de cliente, e utiliza as CSI para pré-

codificar dados enviados através dos canais de DL ou UL. Na mesma modalidade, as CSI são estimadas nos dispositivos de cliente e enviadas para as antenas distribuídas. Em outra modalidade, as DL-CSI são derivadas nas antenas distribuídas a partir das UL-CSI usando calibração por rádio frequência (RF) e explorando a reciprocidade de canal de UL/DL.

[00085] Em uma modalidade, o MU-MAS é um sistema de entrada distribuída e saída distribuída (DIDO), como descrito nas Patentes e Pedidos Relacionados. Em outra modalidade, o MU-MAS representado na **Figura 13** consiste em:

[00086]                   •       **Equipamento de usuário (UE) 1301:** Um transceptor de RF para clientes fixos e/ou móveis que recebe fluxos de dados através do canal de enlace descendente (DL) a partir do retorno e que transmite dados para o backhaul através do canal de enlace ascendente (UL)

[00087]                   •       **Estação-base do transceptor (BTS) 1302:** As BTSs fazem a interface do backhaul com o canal sem fio. As BTSs de uma modalidade são pontos de acesso que consistem em uma cadeia de Conversor Digital-para-Analógico (DAC) / Analógico-para-Digital (ADC) e rádio frequência (RF) para converter o sinal da banda de base para RF. Em alguns casos, a BTS é um transceptor de RF simples equipado com amplificador de potência/antena, e o sinal de RF é transportado para a BTS através da tecnologia RF-sobre-fibra, conforme descrito nas Patentes e Pedidos Relacionados.

[00088]                   •       **Controlador (CTR) 1303:** Um CTR é um tipo específico de BTS projetado para certas características especializadas, tais como a transmissão de sinais de treinamento para sincronização de tempo/frequência das BTSs e/ou dos UEs, recebimento/transmissão de informações de controle de/para os UEs, recebimento das informações de estado de canal (CSI) ou informações de qualidade de canal dos UEs. Uma ou múltiplas estações de CTR podem ser incluídas em qualquer sistema MU-MAS. Quando vários CTRs estão disponíveis, as informações para ou a partir dessas estações podem ser

combinadas para aumentar a diversidade e melhorar a qualidade do enlace. Em uma modalidade, as CSI são recebidas a partir de vários CTR através de técnicas de combinação da razão máxima (MRC) para melhorar a demodulação das CSI. Em outra modalidade, as informações de controle são enviadas a partir de múltiplos CTRs através de transmissão de razão máxima (MRT) para melhorar a SNR no lado do receptor. O escopo da invenção não se limita a MRC ou MRT, e qualquer outra técnica de diversidade (tal como a seleção de antena, etc.) pode ser empregada para melhorar os enlaces remotos entre CTRs e UEs.

[00089]                   •       **Processador centralizado (CP)** 1304: O CP é um servidor que realiza a interface da Internet ou outros tipos de redes externas 1306 com o backhaul. Em uma modalidade, o CP calcula o processamento de base da banda de MU-MAS e envia as formas de onda para as BTSs distribuídas para transmissão por DL

[00090]                   •       **Rede de estação-base (BSN)** 1305: A BSN é a rede que liga o CP às BTSs distribuídas transportando informações tanto para o canal de DL quanto de UL. A BSN é uma rede fixa ou uma rede sem fios ou uma combinação das duas. Por exemplo, a BSN é um DSL, cabo, rede de fibra ótica, ou enlace remoto de Linha-de-Vista (LOS) ou Não-Linha-de-Vista (NLOS). Além disso, a BSN é uma rede comum, ou uma rede de área local, ou a Internet.

[00091]       Daqui em diante é descrito como a estrutura de MU-MAS acima é incorporada no padrão de LTE para sistemas celulares (e também sistemas não celulares utilizando protocolos de LTE) para obter ganhos adicionais na eficiência espectral. Começa-se com uma visão geral da estrutura de LTE e técnicas de modulação empregadas nos canais de DL e UL. Em seguida, é fornecida uma breve descrição da estrutura de quadro da camada física e alocação de recursos no padrão de LTE. Finalmente, são definidos métodos de pré-codificação de MU-MAS para canais de enlace descendente (DL) e ascendente (UL) em cenários multiusuários usando a estrutura de LTE. Para os esquemas de DL, são

propostas duas soluções: esquemas de DIDO de circuito aberto e circuito fechado.

[00092] LTE é projetado com uma arquitetura de rede plana (ao contrário de uma arquitetura hierárquica a partir de padrões celulares anteriores) para fornecer: latência reduzida, redução das perdas de pacotes via ARQ, tempo de configuração de chamada reduzido, melhor cobertura e taxa de transferência via macro-diversidade. Os elementos de rede em redes de LTE representados na **Figura 6** são por [79]:

[00093] • **GW** (gateway): é o roteador que conecta a rede de LTE a redes externas (ou seja, a Internet). O GW é dividido em gateway de serviço (**S-GW**) 601, que finaliza a interface E-UTRAN 608, e gateway PDN (**P-GW**) 602, que é a interface dotada de redes externas. Os S-GW e P-GW são parte do chamado núcleo de pacote evoluído (EPC) 609;

[00094] • **MME** (entidade de gerenciamento de mobilidade) 603: gerencia parâmetros de mobilidade e segurança e a identidade do UE. A MME é também parte da LTE EPC;

[00095] • **eNodeB** (Nó-B melhorado) 604: é a estação-base que trata do gerenciamento de recursos de rádio, mobilidade de usuário e agendamento;

[00096] • **UE** (equipamento de usuário) 605: é a estação móvel.

[00097] • **Interfaces S1 e X2** (606 e 607): são os backhalls de rede fixa ou sem fio entre a MME e eNodeBs (S1-MME), o S-GW e eNodeBs (S1-U) e entre vários eNodeBs (X2).

[00098] Em uma modalidade da invenção, a rede MU-MAS é uma rede LTE em que o UE é o UE de LTE, a BTS é o eNodeB de LTE, o CTR é o eNodeB ou a MME de LTE, o CP é o LTE GW, o BSN é a interface S1 ou X1. Daqui por diante são usados os termos antenas distribuídas, BTS e eNodeB indistintamente para se referir a qualquer estação base em sistemas MU-MAS, DIDO ou LTE.

[00099] O quadro de LTE tem duração de 10 mseg e consiste em dez subquadros, conforme representado na **Figura 7** [33,80]. Cada subquadro é dividido em duas partições de 0,5 mseg de duração cada. Os padrões de LTE definem dois tipos de quadros: i) tipo 1 para operação FDD, como na **Figura 7a**), onde todos os subquadros são atribuídos aos canais de DL ou UL; ii) tipo 2 para operação TDD, como na **Figura 7b**), onde, parte dos subquadros são atribuídos ao DL e parte ao UL (dependendo da configuração selecionada), enquanto que alguns subquadros são reservados para “uso especial”. Existe pelo menos um subquadro especial por quadro, e o mesmo consiste em três campos: i) espaço de tempo piloto de enlace descendente (DwPTS), reservado para transmissão de DL; ii) período de guarda (GP); iii) espaço de tempo piloto de enlace ascendente (UpPTS), para a transmissão de UL.

[000100] A LTE emprega multiplexação de divisão de frequência ortogonal (OFDM) e modulação de acesso múltiplo de divisão de frequência ortogonal (OFDMA) para o DL, além de acesso múltiplo de divisão de frequência de portadora única (SC-FDMA) para o UL. O “elemento de recurso” (RE) é a menor estrutura de modulação em LTE e consiste em uma subportadora de OFDM em frequência e uma duração de símbolo de OFDM no tempo, como mostrado na **Figura 8a** para o canal de DL e na **Figura 8b** para o canal de UL. O “bloco de recursos” (RB) é composto por 12 subportadoras na frequência e um intervalo de 0,5 mseg no tempo (que consiste em 3 a 7 períodos de símbolo de OFDM, dependendo do canal de DL contra UL e tipo de prefixo cíclico). Os blocos de recursos para cada UE são atribuídos em uma base de subquadro. Já que o MUMAS, na presente invenção, usa processamento espacial para enviar múltiplos fluxos de dados para diferentes UEs, em cada subquadro, todos os blocos de recursos podem ser alocados para o mesmo UE. Em uma aplicação, todos ou um subconjunto de blocos de recursos é alocado para cada UE, e transmissões de dados sem interferência simultânea são enviadas para os UEs através de pré-codificação.

[000101] Para configurar a ligação entre a BTS e os UEs, o padrão de LTE define o procedimento de sincronização. A BTS envia dois sinais consecutivos para o UE: o sinal primário de sincronização (P-SS), enviado pelo canal primário de sincronização (PSSCH), e o sinal secundário de sincronização (S-SS), enviado pelo canal secundário de sincronização (SSCH). Ambos os sinais são usados pelo UE para sincronização de tempo/frequência, bem como para recuperar o ID da célula. O P-SS consiste em sequência Zadoff-Chu de comprimento-63 da qual o UE deriva o *ID da camada física* (0 a 2). O S-SS é uma concatenação intercalada de duas sequências binárias de comprimento-31, e é usado para derivar o *número de grupo de IDs celulares* (0 a 167). Dos dois números de identidade acima, o UE deriva o *ID celular físico* (PCI, definido a partir de 0 até 503).

[000102] No sistema MU-MAS descrito na presente invenção, não existem limites de células conforme a potência transmitida a partir das BTSs é aumentada intencionalmente para produzir interferência, a qual é explorada para criar áreas de coerência em torno dos UEs. Na presente invenção, diferentes BTSs são agrupadas em “conjuntos de antenas” ou “conjuntos DIDO”, conforme definido na Patente no US 8.170.081, concedida em 1 de maio de 2012, intitulada “System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements”. Por exemplo, a **Figura 9** mostra o principal conjunto de antena 901 e um conjunto de antena adjacente 902. Cada conjunto de antena consiste em várias BTSs 903.

[000103] O ID da célula pode ser usado em sistemas MU-MAS e DIDO para diferenciar os conjuntos de antena. Em uma modalidade da invenção, o mesmo ID celular é transmitido a partir de todas BTSs do mesmo conjunto de antena por meio de P-SS e S-SS. Na mesma modalidade, diferentes conjuntos de antena empregam diferentes IDs celulares. Em outra modalidade da invenção, todas as BTSs dentro do mesmo conjunto de antena 1001 são agrupadas em “subconjuntos de antena” 1003, representados na **Figura 10** com cores

sombreadas diferentes, e um ID celular diferente 1004 é associado a cada subconjunto de antena. Em uma modalidade, os subconjuntos de antena são definidos estaticamente de acordo com o planejamento predefinido de conjunto ou com base em informações de posicionamento por GPS. Em outra modalidade, os subconjuntos de antena são definidos dinamicamente com base em medições de intensidade relativa de sinal entre BTSs ou informações de posicionamento por GPS. Em uma modalidade diferente da invenção, um ID celular diferente é atribuído a cada área de coerência (descrito no Pedido de Patente dos EUA copendente n° 13/232.996, intitulado “Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems”) associado aos UEs.

[000104] Quando todas as BTSs no mesmo conjunto ou subconjunto de antenas transmitem os canais de transmissão de LTE (por exemplo, P-SS e S-SS) para os UEs, a interferência destrutiva pode degradar o desempenho de sincronização de tempo ou frequência habilitado pelo canal de transmissão. A interferência destrutiva pode ser causada por multicaminhos gerados a partir de BTSs espacialmente distribuídas que recombina-se incoerentemente em alguns locais do UE. Para evitar ou atenuar este efeito, em uma modalidade da invenção, apenas uma BTS dentre todas as BTSs dentro do mesmo conjunto de antena ou subconjunto de antena transmite os canais de transmissão de LTE (por exemplo, P-SS e SS-S) para todos os UEs. Na mesma modalidade, a BTS que transmite os canais de transmissão de LTE é selecionada para maximizar a potência recebida nos UEs pelos canais de transmissão. Em outra modalidade, apenas um conjunto limitado de BTSs é selecionado para transmitir simultaneamente os canais de transmissão de LTE para todos os UEs, de modo que a interferência destrutiva seja evitada no UE. Em uma modalidade diferente da invenção, os canais de transmissão de LTE são enviados com potência superior à carga para alcançar todos os UEs dentro do mesmo conjunto de antena ou subconjunto de antena.

[000105] Conforme descrito acima, a LTE-Avançada suporta esquemas de agregação de operadora (CA) para aumentar a taxa de dados pelo canal de DL.

Em MU-MASs, a CA pode ser usada em combinação com pré-codificação para aumentar a taxa de dados por usuário. Em uma modalidade da presente invenção, a pré-codificação de transmissão é aplicada a diferentes porções do espectro de RF (CA interbanda) ou diferentes bandas dentro da mesma porção de espectro (CA de intrabanda) para aumentar a taxa de dados por usuário. Quando empregar CA interbanda, a perda de caminho em diferentes bandas pode alterar-se significativamente conforme essas bandas são centradas em diferentes frequências portadoras. Em sistemas celulares convencionais de LTE, as bandas de frequência em frequências portadoras mais baixas podem experimentar menor perda de caminho do que frequências portadoras mais elevadas. Portanto, aplicar a CA de interbanda em sistemas celulares pode causar interferência intercelular indesejada em frequências portadoras mais baixas. Em contrapartida, o MU-MAS na presente invenção não é limitado pela interferência no limite da célula conforme as BTSs são distribuídas, e não existe qualquer conceito de célula. Essa disposição mais flexível de sistema permite diferentes métodos para CA de interbanda em MU-MAS. Em uma aplicação da presente invenção, o MU-MAS permite CA de interbanda ao empregar um conjunto de BTSs para operar em frequências portadoras mais baixas e um outro conjunto de BTSs para operar em frequências portadoras mais altas, de modo que os dois conjuntos se cruzem ou um conjunto seja o subconjunto do outro. Em outra modalidade, o MU-MAS com pré-codificação emprega métodos de CA em conjunto com padrões de salto de frequência para melhorar a robustez contra atenuação seletiva de frequência ou interferência.

1. Métodos de pré-codificação de MU-MAS de circuito fechado de enlace descendente em LTE

[000106] Esquemas de circuito fechado MU-MAS podem ser usados em sistemas de duplexação por divisão de tempo (TDD) ou em sistemas de duplexação por divisão de frequência (FDD). Nos sistemas FDD, os canais de DL e UL funcionam em diferentes frequências e, portanto, as informações do estado



do canal de DL (CSI) deve ser estimada no lado do UE e relatada de volta para o CP através das BTSs ou CRTs através do canal de UL. Em sistemas TDD, os canais de DL e UL são definidos na mesma frequência, e o sistema pode empregar tanto técnicas de circuito fechado ou esquemas de circuito aberto que exploram a reciprocidade do canal (conforme descrito na seção a seguir). A principal desvantagem dos esquemas de ciclo fechado é que requerem retroalimentação, resultando em maior sobrecarga para informações de controle através do UL.

[000107] O mecanismo geral para esquemas de circuito fechado em MUMASs é descrito da seguinte forma: i) as BTSs enviam informações de sinalização para os UEs pelo DL; ii) os UEs exploram essas informações de sinalização para estimar o DL CSI de todas as “BTSs ativas”; iii) os UEs quantizam o DL CSI ou usam livros de códigos para selecionar os pesos de pré-codificação a serem usados para a próxima transmissão; iv) os UEs enviam o CSI quantizado ou o índice do livro de códigos para as BTSs ou CTRs por meio do canal de UL; v) as BTSs ou CTRs reportam as informações de CSI ou o índice do livro de códigos ao CP, que calcula os pesos de pré-codificação para transmissão de dados pelo DL. As “BTSs ativas” são definidas como o conjunto de BTSs que é atingido por dado UE. Por exemplo, no Pedido de Patente dos EUA co-pendente Nr. 12/802.974, intitulado “System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters” e no Pedido de Patente dos EUA co-pendente Nr. 12/917.257, intitulado “Systems And Methods To Coordinate Transmissions In Distributed Wireless Systems Via User Clustering” definimos o “conjunto de usuários” 905 como o conjunto de BTSs que são alcançadas por um dado UE, como descrito na **Figura 9**. O número de BTSs ativas é limitado a um conjunto de usuários de modo a reduzir a quantidade de CSI a ser estimada a partir de BTSs para dado UE, reduzindo, assim, a sobrecarga de retroalimentação pelo UL e a complexidade do cálculo de pré-codificação de MUMAS no CP.

[000108] Conforme descrito no parágrafo, a pré-codificação de MU-MAS emprega métodos lineares ou não lineares. No caso de métodos não lineares (por exemplo, codificação bruta [68 a 70] ou pré-codificação de Tomlinson-Harashima [71 e 72], técnicas de estrutura ou pré-codificação de treliça [73 e 74], técnicas de perturbação de vetor [75 e 76]), cancelamento de interferência sucessiva são aplicadas no transmissor para evitar a interferência entre usuários. Nesse caso a matriz de pré-codificação é computada considerando as CSI para todos os UEs dentro do conjunto de antena. Alternativamente, os métodos lineares de pré-codificação (por exemplo, forçando a zero [65], diagonalização em bloco [66 a 67], inversão de matriz, etc.) podem ser usados em uma base de conjunto de usuários, já que os pesos de pré-codificação para cada UE são computados independentemente para os outros UEs. Dependendo do número de UEs e eNodeBs dentro do conjunto de antena dos conjuntos de usuários, métodos lineares contra não lineares de pré-codificação oferecem diferentes desempenhos computacionais. Por exemplo, se o MU-MAS consiste em K UEs por conjunto de antena, M eNodeBs por conjunto de antena e C eNodeBs por conjunto de usuário, a complexidade de pré-codificação linear é  $O(K \cdot C^3)$  considerando que para a pré-codificação não linear é  $O(M \cdot K^2)$ . É, portanto, desejável desenvolver um método que alterna-se dinamicamente entre os dois tipos de técnicas de pré-codificação baseados no número de UEs e eNodeBs em MU-MASs para reduzir a complexidade computacional no CP. Em uma modalidade da invenção, o MU-MAS emprega métodos lineares de pré-codificação. Em outra modalidade, o MU-MAS emprega métodos não lineares de pré-codificação. Na mesma modalidade da invenção, o MU-MAS alterna-se dinamicamente entre métodos lineares e não lineares de pré-codificação com base no número de UEs e eNodeBs no conjunto de antenas e conjuntos de usuários para reduzir a complexidade computacional no CP. Em uma modalidade diferente, o MU-MAS alterna-se entre métodos de pré-codificação de multiplexação para UEs que experimentam boa qualidade de canal (por exemplo, na proximidade de eNodeBs) e formação de feixes ou

métodos de diversidade para UEs com baixa qualidade de ligação (por exemplo, distante de eNodeBs).

## 2. Métodos de sinalização MU-MAS de enlace descendente dentro do padrão de LTE

[000109] O padrão de LTE define dois tipos de sinais de referência (RS) que podem ser usados para sinalização de DL em esquemas de circuito fechado [33,50,82-83]: i) sinal de referência de célula específica (CRS); ii) RS de UE específico, como informações de estado do canal (CSI), sinal de referência (CSI-RS) e RS de demodulação (DM-RS). O RS específico de célula não é precodificado, enquanto que o RS específico de UE é precodificado [50]. O CRS é usado na LTE Versão 8, que emprega técnicas a base de livro de código SU/MU-MIMO com até quatro antenas em cada célula. A LTE Avançada Versão 10 suporta esquemas SU/MI-MIMO não baseados em livro de código com até oito antenas de transmissão, assim, como esquemas CoMP com antenas distribuídas sobre diferentes células. Como tal, a Versão 10 possibilita esquemas de sinalização mais flexíveis através de CSI-RS. Na presente invenção, é descrito como ambos os tipos de esquemas de sinalização podem ser usados em sistemas MU-MAS para permitir a pré-codificação.

### i. Sinalização MU-MAS usando CRS

[000110] O CRS é empregado nos sistemas LTE (Versão 8) para estimar o CSI de todas as antenas de transmissão na BTS para o UE [80,84]. O CRS é obtido como o produto de uma sequência ortogonal bidimensional e uma sequência numérica bidimensional pseudo-aleatória (PRN). Existem 3 sequências ortogonais (ou seja, colocadas em conjuntos ortogonais de subportadoras de OFDM) e 168 possíveis sequências de PRN, para um total de 504 diferentes sequências de CRS. Cada sequência identifica exclusivamente uma célula. Cada um dos três CRSs ortogonais é associado a um dos três IDs de camada física (0 a 2) que geram um ID celular diferente, conforme explicado na subseção anterior. O CRS é transmitido dentro do primeiro e terceiro último símbolos de OFDM de

cada espaço e a cada sexta subportadora. Os padrões ortogonais em tempo e frequência são projetados para cada antena de transmissão da BTS, para o UE estimar de modo único as CSI de cada uma das antenas de transmissão. A versão 8 define até quatro padrões ortogonais por CRS, um para cada uma das quatro antenas de transmissão empregadas em MIMO 4x4. Esta alta densidade de CRS em tempo e frequência (ou seja, enviados a cada intervalo de 0,5 mseg, e em toda sexta subportadora), produzindo 5% de sobrecarga, foi projetada intencionalmente para suportar cenários com variações rápidas de canal ao longo do tempo e frequência [83].

[000111] Na Versão 8, já que existem até 3 CRSs ortogonais com 4 padrões ortogonais, cada um para modos multiantena (ou 6 CRSs ortogonais para modo de antena única), é possível discriminar até 12 antenas de transmissão dentro da mesma área de cobertura, sem causar interferência ao CRS. Em uma modalidade da invenção, o conjunto de antena 1001 é dividido em três subconjuntos de antena 1005, como na **Figura 10**. Os IDs de camada física diferentes (ou IDs de célula) são associados a cada um dos sub-conjuntos de antena, de modo que cada sub-conjunto de antena é atribuído a um dos três CRSs ortogonais com quatro padrões ortogonais (ou seja, cada sub-conjunto de antena pode suportar até quatro BTS sem causar interferência para o CRS a partir de outras BTSs). Na presente modalidade, cada conjunto pode suportar até 12 BTSs sem causar interferência ao CRS.

[000112] Em situações onde mais de doze BTSs são colocadas dentro do mesmo conjunto, é desejável aumentar o número de CRSs ortogonais disponíveis para suportar um número maior de BTSs ativas (ou seja, BTSs que transmitam simultaneamente sinais pré-codificados para os UEs). Um modo de obter isso é definir mais do que três subconjuntos de antena 1003 por conjunto de antena 1101 e atribuir os três mesmos IDs de camada física (ou ID celular 1104 de 0 a 2) aos subconjuntos de antena 1103 com um padrão de repetição, como mostrado na **Figura 11**. Observou-se que os subconjuntos de antena podem vir em

diferentes formatos e ser definidos de modo que cada conjunto de usuários 1102 não possa alcançar dois subconjuntos de antena com o mesmo ID de camada física, evitando, assim, interferência ao CRS. Por exemplo, uma forma de obter isso é definir a área do subconjunto de antena maior do que o conjunto de usuários 1102 1103 e evitar que o subconjunto de antena adjacente use o mesmo ID de camada física. Em uma modalidade da invenção, os múltiplos subconjuntos de antena são colocados dentro do mesmo conjunto de antena com padrões de repetição, de modo que seus respectivos CRSs não interfiram, possibilitando, assim, transmissões simultâneas sem interferência de mais de doze BTSs.

[000113] Em sistemas MU-MAS práticos, pode ser o caso de que cada UE veja mais do que apenas quatro BTSs dentro de seu grupo de usuário. Por exemplo, a **Figura 12** mostra a distribuição de SNR para implantação prática dos sistemas DIDO ou MU-MAS no centro de San Francisco, CA. O modelo de propagação é baseado no modelo de perda de trajetória/sombreamento 3GPP [81] e assume uma frequência de portadora de 900 MHz. Os pontos no mapa indicam a localização das DIDO-BTS, enquanto que o círculo escuro representa o grupo de usuário (com o UE sendo localizado no centro do círculo). Nas áreas esparsamente povoadas 1201, o UE vê apenas algumas BTSs dentro de seu conjunto de usuários (por exemplo, até mesmo apenas três BTSs para o exemplo da **Figura 12**), enquanto que, em áreas densamente povoadas 1202, cada conjunto de usuários pode incluir até 26 BTSs, como na **Figura 12**.

[000114] A alta redundância do CRS por ser explorada em MU-MASs para possibilitar a estimação de CSI a partir de qualquer número de antenas de transmissão maior que quatro. Por exemplo, se o canal for fixo sem fios ou caracterizado por baixos efeitos de Doppler, não há necessidade de calcular as CSI a partir de todas as quatro antenas de transmissão a cada 0,5 mseg (duração do intervalo). Da mesma forma, se o canal for de frequência plana, a estimativa das CSI a cada sexta subportadora é redundante. Nesse caso, os elementos de recurso (RE) ocupados pelo CRS redundante podem ser realocados para outras

antenas de transmissão ou BTSs no MU-MAS. Em uma modalidade da invenção, o sistema aloca elementos de recurso de CRS redundante para antenas extras ou BTSs no sistema MU-MAS. Em outra modalidade, o sistema calcula o tempo e a seletividade de frequência do canal e atribui dinamicamente o CRS para diferentes BTSs ou apenas BTSs dentro do grupo de usuário para diferentes elementos de recursos.

[000115] O número de BTSs incluídas em cada conjunto de usuários depende do nível de potência de sinal medido no UE de todas as BTSs no conjunto de usuários em relação ao nível de potência de ruído, ou da razão sinal/ruído (SNR). Em uma modalidade, o UE estima o SNR de todas BTSs na sua vizinhança e seleciona as BTSs que pertencem ao seu conjunto de usuários baseado nas informações do SNR. Em outra modalidade, o CP está ciente de SNR a partir das BTSs para cada UE (com base nas informações de retroalimentação dos UEs ou informações obtidas a partir de canal de UL, considerando a reciprocidade de canal de UL/DL) e seleciona o conjunto de BTSs a ser incluído em cada conjunto de usuário.

[000116] O número de BTSs incluídas em cada conjunto de usuários determina o desempenho dos métodos MU-MAS descritos na presente invenção. Por exemplo, se o número de BTSs por conjunto de usuários é baixo, o UE experimenta um maior nível de interferência de fora do conjunto, resultando em alta razão sinal-interferência-mais-ruído (SINR) e baixa taxa de dados. De modo similar, se um grande número de BTSs é selecionado para cada conjunto de usuário, a SNR medida no UE a partir das BTSs na borda do conjunto de usuários é baixa e pode ser dominada pela interferência de fora do conjunto das BTSs adjacentes fora do conjunto de usuários. Existe um número ideal de BTSs por conjunto de usuários que produz as mais altas SINR e taxa de dados. Em uma modalidade da invenção, o CP seleciona o número ideal de BTSs por conjunto de usuários para maximizar o SINR e a taxa de dados para o UE. Em outra modalidade da invenção, as BTSs por conjunto de usuários são selecionadas

dinamicamente para se adaptarem às condições variáveis do ambiente de propagação ou mobilidade do UE.

[000117] Outra desvantagem do uso de um grande número de BTSs por conjunto de usuários é a alta carga computacional. Na verdade, quanto mais BTSs no conjunto de usuários maior a complexidade de computação do pré-codificador MU-MAS. Em uma modalidade das invenções, as BTSs por conjunto de usuários são selecionadas para alcançar a troca ideal entre SINR ou desempenho de taxa de dados e complexidade computacional do pré-decodificador MU-MAS. Em outra modalidade, as BTSs por conjunto de usuários são selecionadas dinamicamente com base em trocas entre as condições de propagação e recursos computacionais disponíveis no MU-MAS.

ii. Sinalização MU-MAS usando CSI-RS e DM-RS

[000118] No padrão LTE-Avançado (Versão 10) a CSI-RS é utilizada por cada UE para estimar a CSI a partir das BTSs [33,83]. O padrão define CSI-RS ortogonal para diferentes transmissores na BTS, de modo que o UE possa diferenciar as CSI a partir de diferentes BTSs. Até oito antenas de transmissão na BTS são suportadas pelo CSI-RS, tal como nas Tabelas 6.10.5.2-1,2 em [33]. A CSI-RS é enviada com uma periodicidade que varia entre 5 e 80 subquadros (isto é, CSI-RS enviar a cada 5 a 80 mseg) como nas Tabelas 6.10.5.3-1 em [33]. A periodicidade do CSI-RS em LTE-Avançada foi projetada intencionalmente maior do que o CRS em LTE para evitar a sobrecarga excessiva das informações de controle, especialmente para os terminais de LTE de legado, incapazes de fazer uso desses recursos extras. Outro sinal de referência utilizado para a estimativa de CSI é o RS de demodulação (DM-RS). O DM-RS é um sinal de referência de demodulação destinado a um UE específico e transmitido apenas no bloco recurso atribuído para transmissão para esse UE.

[000119] Quando mais do que oito antenas (número máximo de transmissores suportados pelo padrão LTE Avançada) estão dentro do conjunto do usuário, técnicas alternativas devem ser utilizadas para permitir a pré-

codificação do DIDO enquanto mantém ao mesmo tempo a compatibilidade do sistema com o padrão LTE avançada. Em uma modalidade da invenção, cada UE utiliza o CSI-RS ou o DM-RS ou uma combinação de ambos para estimar as CSI a partir de todas as BTSs ativas no seu próprio conjunto de usuários. Na mesma modalidade, o sistema DIDO detecta o número de BTSs dentro do grupo de usuários e se ou não o grupo de usuário está em conformidade com a norma de LTE Avançada (suportando no máximo oito antenas). Se o mesmo não for compatível, o sistema DIDO emprega técnicas alternativas para permitir sinalização de DL das BTSs para o atual UE. Em uma modalidade, a potência de transmissão a partir das BTSs é reduzida até no máximo oito BTSs serem acessíveis pelo UE dentro de seu grupo de usuário. Essa solução, no entanto, pode resultar na redução da taxa de dados, já que a cobertura seria reduzida.

[000120] Outra solução é dividir as BTSs no grupo de usuário em subconjuntos e enviar um conjunto de CSI-RS para cada subconjunto de cada vez. Por exemplo, se a periodicidade de CSI-RS for 5 subquadros (isto é, 5 msec), como na Tabela 6.10.5.3-1 em [33], a cada 5 msec a CSI-RS é enviada a partir de um novo subconjunto das BTSs. Observe que essa solução funciona contanto que a periodicidade de CSI-RS seja curta o suficiente para cobrir todos os subconjuntos de BTS dentro do tempo de coerência do canal do UE (que é uma função da velocidade de Doppler do UE). Por exemplo, se a periodicidade de CSI-RS selecionada é 5 msec e o tempo de coerência do canal é 100 msec, é possível definir até 20 subconjuntos de BTS de 8 BTS cada, perfazendo um total de 160 BTSs dentro do grupo de usuários. Em outra modalidade da invenção, o sistema DIDO estima o tempo de coerência do canal do UE e decide quantas BTSs podem ser suportadas dentro do conjunto de usuários para a dada periodicidade de CSI-RS, para evitar a degradação devido às variações de canal e efeito Doppler.

[000121] As soluções para CSI-RS propostas até agora são todas compatíveis com a norma LTE e pode ser implementado dentro da estrutura de



sistemas LTE convencionais. Por exemplo, o método proposto permite que mais de oito antenas por grupo de usuário não necessite de modificações da implementação de hardware e software de LTE do UE, e apenas uma ligeira modificação dos protocolos utilizados nas BTSs e CP para permitir a seleção de subconjunto de BTSs a qualquer determinado momento. Essas modificações podem ser facilmente implementadas em uma plataforma de rádio definida por software (SDR) baseada em nuvem, que é um paradigma de implantação promissor para sistemas DIDO e MU-MAS. Alternativamente, se é possível relaxar as restrições do padrão de LTE e desenvolver hardware e software ligeiramente modificados para LTE UEs para suportar modos de operação DIDO ou MU-MAS similares, mas não em conformidade com LTE, de modo a permitir aos UEs serem capazes de operar em modo de conformidade total com LTE, ou em um modo modificado que suporta operação DIDO ou MU-MAS não em conformidade com LTE. Por exemplo, isso possibilitaria que outra solução, que é aumentar a quantidade de CSI-RS, para permita um número maior de BTSs no sistema. Em outra modalidade da invenção, diferentes padrões de CSI-RS e periodicidades são permitidos como um meio para aumentar o número de BTSs suportadas por grupo de usuário. Tais modificações leves ao padrão de LTE podem ser pequenas o suficiente para que os chipsets de UE de LTE existentes possam ser usados simplesmente com a modificação do software. Ou, se a modificação do hardware fosse necessária para os chipsets, as mudanças seriam pequenas.

### 3. Métodos de retroalimentação de MU-MAS CSI de enlace ascendente dentro do padrão de LTE

[000122] Nos padrões de LTE e LTE-Avançada, o UE envia retroinformação para a BTS para comunicar suas condições de canal atuais, bem como os pesos de pré-codificação para transmissão de circuito fechado pelo canal de DL. Três indicadores de canal diferentes estão incluídos nesses padrões [35]:

- Indicador de classificação (**RI**): indica quantos fluxos espaciais são transmitidos para o dado UE. Esse número é sempre igual ou menor que o número de antenas de transmissão.
- Indicador da matriz de pré-codificação (**PMI**): é o índice do livro de códigos utilizado para a pré-codificação através do canal DL.
- Indicador da qualidade do canal (**CQI**): define a modulação e o esquema de codificação de correção antecipada de erros (FEC) para ser usado através do DL para manter o desempenho da taxa de erro predefinida para determinadas condições de canal.

[000123] Apenas um RI é relatado para toda a largura de banda, enquanto que a comunicação de PMI e de CQI pode ser por banda larga ou por sub-banda, dependendo da frequência-seletividade do canal. Esses indicadores são transmitidos no UL sobre mais de dois tipos diferentes de canais físicos: i) o canal de controle de enlace ascendente físico (**PUCCH**), usado apenas para informações de controle; ii) o canal de enlace descendente físico compartilhado (**PUSCH**), utilizado tanto para os dados quanto informações de controle, alocado sobre um bloco de recursos (RB) e em uma base de subquadro. No PUCCH, o procedimento para comunicar o RI, PMI e CQI é *periódico* e os indicadores podem ser tanto de banda larga (para canais de frequência-plana) ou selecionados por UE em uma base de sub-banda (para canais de frequência-seletiva). No PUSCH, o procedimento de retroalimentação é *aperiódico* e pode ser selecionado por UE em uma base de sub-banda (para canais de frequência seletiva) ou sub-banda configurada para camada superior (por exemplo, para o modo de transmissão 9 em LTE-Avançada com oito transmissores).

[000124] Em uma modalidade da invenção, o sistema DIDO ou MU-MAS emprega RI, PMI e CQI para relatar para as BTSs e o CP suas atuais condições de canal, bem como as informações de pré-codificação. Em uma modalidade, o UE utiliza o canal de PUCCH para comunicar esses indicadores ao CP. Em outra modalidade, no caso de um maior número de indicadores ser necessário para

pré-codificação DIDO, o UE emprega PUSCH para relatar indicadores adicionais ao CP. No caso de o canal ser de frequência plana, o UE pode explorar os recursos extras de UL para relatar a PMI a um número maior de antenas nos sistemas DIDO. Em uma modalidade da invenção, o UE ou as BTSs ou o CP estimam a seletividade de frequência do canal e, no caso de o canal ser de frequência plana, o UE explora os recursos de UL adicionais para relatar o PMI para maior número de BTSs.

#### Métodos de pré-codificação MU-MAS de circuito aberto de enlace descendente no LTE

[000125] Esquemas de pré-codificação MU-MAS de circuito aberto podem ser usados apenas em sistemas de duplexação por divisão de tempo (TDD) que empregam calibração de RF e que exploram a reciprocidade de canal. O mecanismo geral de esquemas de circuito aberto no MU-MASs consiste em: i) os UEs enviarem informações de sinalização para as BTSs ou CTRs pelo UL; ii) as BTSs ou CTRs explorarem essas informações de sinalização para estimar a UL CSI de todos os UEs; iii) as BTSs ou CTRs empregarem calibração de RF para converter as UL CSI em CSI DL; iv) as BTSs ou CTRs enviarem as DL CSI ou o índice do livro de códigos para o CP através do BSN; v) com base em DL CSI, o CP calcula os pesos de pré-codificação para a transmissão de dados pelo DL. De modo similar aos esquemas de pré-codificação MU-MAS de circuito fechado, os conjuntos de usuário podem ser empregados para reduzir a quantidade de CSI a serem estimadas nas BTSs dos UEs, reduzindo, assim, a carga computacional nas BTSs, bem como a quantidade de sinalização exigida pelo UL. Em uma modalidade da invenção, as técnicas de pré-codificação de circuito aberto são empregadas para enviar fluxos de dados não interferentes simultâneos a partir das BTSs para os UEs através do canal de DL.

[000126] Em LTE, existem dois tipos de sinal de referência para o canal uplink [31,33,87]: i) sinal de referência de som (SRS), utilizado para programação e adaptação de link; ii) demodulação do sinal de referência (DMRS), utilizado para

a recepção de dados. Em uma modalidade da invenção, o DMRS é empregado em sistemas de pré-codificação de circuito aberto para estimar os canais de UL de todos os UEs para todas as BTSs. No domínio de tempo, o DMRS é enviado no quarto símbolo de OFDM (quando um prefixo cíclico normal é usado) de cada intervalo de LTE (de duração de 0,5 msec). No domínio de frequência, o DMRS enviado sobre o PUSCH é mapeado para cada UE ao mesmo bloco de recursos (RB) usado por aquele UE para transmissão de dados de UL.

[000127] O comprimento de DMRS é  $M^{RS} = mN^{RB}$ , onde  $m$  é o número de RBs e  $N^{RB} = 12$  é o número de subportadoras por RB. Para suportar múltiplos UEs, até doze DMRSs são gerados a partir de uma base Zadoff-Chu [88] ou sequência de autocorrelação de zero amplitude constante gerada por computador (CG-CAZAC), através de doze possíveis mudanças cíclicas da sequência de base. As sequências base são divididas em 30 grupos e as células de LTE vizinhas selecionam DMRS a partir de diferentes grupos para reduzir a interferência entre célula. Por exemplo, se o número máximo de blocos de recurso dentro de um símbolo de OFDM é 110 (isto é, presumindo-se que a largura de banda do sinal total seja 20 MHz), é possível gerar até  $110 \times 30 = 3.300$  sequências diferentes. Observou-se que não é garantido que as 30 sequências de base sejam ortogonais e sejam projetadas para reduzir a interferência entre as células, sem eliminar as mesmas completamente. Por outro lado, as 12 mudanças cíclicas da mesma sequência de base são ortogonais, permitindo, assim, que até 12 UEs transmitam em UL pelo mesmo RB sem interferência. O valor da mudança cíclica a ser usado por cada UE é fornecido pela BTS através da mensagem de informações de controle de enlace descendente (DCI) enviada através de PDCCH. O DCI na versão 8 consiste em 3 bits, o que permite que o UE use somente até 8 valores de mudança cíclica no grupo de doze opções possíveis.

[000128] As mudanças cíclicas da sequência DMRS de base são exploradas na presente invenção para permitir esquemas MU-MIMO pelo canal de UL, bem como para estimar a CSI de múltiplos UEs para pré-codificação de DL quando a

reciprocidade de canal é explorada no modo TDD. Em uma modalidade da invenção, os métodos de pré-codificação de circuito aberto são empregados para enviar fluxos de dados simultâneos sem interferência das BTSs distribuídas para os UEs pelo canal de DL. Em uma modalidade diferente da invenção, os métodos MU-MIMO de circuito aberto são empregados para receber fluxos de dados simultâneos sem interferência dos UEs para as BTSs pelo canal de UL. As mesmas CSI estimadas pelo UL de todos os UEs ativos podem ser usadas para computar o filtro espacial receptor para operação MU-MIMO no UL, bem como os pesos para pré-codificação de DL. Visto que a versão 8 define apenas até 8 DMRSs ortogonais (devido aos limitados bits de DCI, conforme explicado acima), os esquemas MU-MIMO para o canal de UL e os esquemas de pré-codificação MU-MAS para o canal de DL podem suportar no máximo oito UEs, considerando que todos os UEs utilizam a largura de banda total de UL.

[000129] Um modo de aumentar o número de UEs simultâneos sendo fornecidos através de MU-MIMO no UL ou pré-codificação MU-MAS no DL é multiplexar o DMRS dos UEs no domínio da frequência. Por exemplo, se a largura de banda de 10 MHz é usada em modo TDD, existem 50 RBs que podem ser alocados para os UEs. Nesse caso, 25 RBs intercalados podem ser atribuídos a um conjunto de oito UEs e os restantes 25 RBs intercalados para outro conjunto de UEs, totalizando 16 UEs que podem ser servidos simultaneamente. Em seguida, as CSI são computadas ao interpolar as estimativas de DMRS enviadas pelos RBs intercalados. Um número maior de UEs simultâneos pode ser suportado pelo aumento do número de padrões intercalados de UL RBs. Esses padrões podem ser atribuídos aos diferentes UEs estaticamente ou dinamicamente, de acordo com certa sequência de salto de frequência. Em uma modalidade da invenção, DMRSs são atribuídos aos UEs por RBs intercalados ortogonais para aumentar o número de UEs a serem suportados através de pré-codificação MU-MIMO ou MU-MAS. Na mesma modalidade, os RBs intercalados

são atribuídos estaticamente. Em outra modalidade, os RBs intercalados são atribuídos dinamicamente de acordo com certo padrão de salto de frequência.

[000130] Uma solução alternativa é multiplexar o DMRS de diferentes UEs no domínio de tempo. Por exemplo, os UEs são divididos em diferentes grupos, e os DMRSs para esses grupos são enviados por espaços de tempo consecutivos (de duração 0,5 msec cada). Neste caso, entretanto, é necessário garantir que a periodicidade da atribuição de DMRS para diferentes grupos seja menor do que o tempo de coerência de canal do UE que se move em maior velocidade. Na verdade, essa é a condição necessária para garantir que o canal não varie para todos UEs a partir do momento em que as CSI sejam estimadas através de DMRS até o momento em que o sistema transmite fluxos de dados de DL para os UEs através de pré-codificação DDO. Em uma modalidade da invenção, o sistema divide os UEs ativos em grupos e atribui o mesmo conjunto de DMRS para cada grupo ao longo de espaços de tempo consecutivos. Na mesma modalidade, o sistema estima o menor tempo de coerência de canal para todos UEs ativos e calcula o número máximo de grupos de UE, bem como a periodicidade de multiplexação de tempo de DMRS baseada nessas informações.

[000131] Outra solução é separar espacialmente diferentes grupos de UEs que empregam os mesmos conjuntos de DMRSs. Por exemplo, o mesmo conjunto de DMRSs ortogonais pode ser usado para todos os UEs de diferentes subconjuntos de antena na **Figura 11**, identificados pelo mesmo ID celular. Em uma modalidade da invenção, os grupos de UEs que empregam o mesmo conjunto de DMRSs ortogonais são espacialmente separados para evitar interferências entre os grupos. Na mesma modalidade, o mesmo conjunto de DMRSs ortogonais é empregado por diferentes subconjuntos de antena identificados pelo mesmo ID celular. O MU-MAS pode atribuir os UEs a “células virtuais” para maximizar o número de DMRS que pode ser usado em UL. Em uma modalidade exemplificativa, a célula virtual é a área de coerência (descrita em relação ao Pedido copendente n° de série US 13/232.996, intitulado “Systems and

Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems”) ao redor do UE e o sistema DIDO gera até 3.300 áreas de coerência para diferentes UEs. Em outra modalidade da invenção, cada uma das 30 sequências de base é atribuída a um diferente conjunto de antena (os conjuntos são definidos na Patente n° US 8.170.081, concedida em 1 de maio de 2012, intitulada “System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements”) para reduzir a interferência entre conjuntos em todos os conjuntos de antenas adjacentes.

[000132] Métodos MU-MAS de enlace ascendente em LTE

[000133] A presente invenção emprega esquemas MU-MIMO de circuito aberto pelo canal de UL para receber fluxos de dados de UL simultâneos de todos os UEs para as BTSs. O esquema de MU-MIMO de circuito aberto de UL consiste nas seguintes etapas: i) UEs enviam informação de sinalização e carga de dados para todas as BTSs; ii) as BTSs calculam as estimativas de canal de todos os UEs usando as informações de sinalização; iii) as BTSs enviam estimativas de canal e cargas de dados para o CP; iv) o CP usa as estimativas de canal para remover interferência entre canal de todas as cargas de dados dos UEs através de filtragem espacial e demodula os fluxos de dados de todos os UEs. Em uma modalidade, o sistema de MU-MIMO de circuito aberto emprega acesso múltiplo por divisão de frequência de portadora única (SC-FDMA) para aumentar o número de canais UL a partir dos UEs para as BTSs e multiplexa-os no domínio da frequência.

[000134] Em uma modalidade, a sincronização entre os UEs é conseguida por meio de sinalização a partir de DL e todas as BTSs são consideradas bloqueadas para o mesmo relógio de referência de tempo/frequência, quer através de cabeamento direto com o mesmo relógio ou compartilhando uma referência de tempo/frequência comum, em uma modalidade através de GPSDO. As variações no atraso do canal espalhadas em diferentes UEs podem gerar instabilidade entre as referências de tempo de diferentes UEs que podem afetar o

desempenho de métodos MU-MIMO sobre o UL. Em uma modalidade, apenas os UEs dentro do mesmo conjunto de antena (por exemplo, UEs em estreita proximidade entre si) são processados com métodos MU-MIMO para reduzir o atraso de propagação relativa espalhado por diferentes UEs. Em outra modalidade, os atrasos de propagação relativa entre UEs são compensados nos UEs ou nas BTSs para garantir recepção simultânea de cargas de dados de diferentes UEs nas BTSs.

[000135] Os métodos para habilitar informações de sinalização para demodulação de dados pelo UL são os mesmos métodos usados para sinalização no esquema DDO de circuito aberto de ligação descendente descrito na seção anterior. O CP emprega diferentes técnicas de processamento espacial para remover interferência intercanais da carga de dados dos UEs. Em uma modalidade da invenção, o CP emprega métodos não lineares de processamento espacial, tais como semelhança máxima (ML), equalização de retroalimentação de decisão (DFE) ou receptores de cancelamento de interferência sucessiva (SIC). Em outra modalidade, o CP emprega filtros lineares, tais como receptores forçando a zero (ZF) ou de erro quadrático médio mínimo (MMSE), para cancelar a interferência de co canal e demodular os fluxos de dados de enlace ascendente individualmente.

[000136] Integração com redes de LTE existentes

[000137] Nos Estados Unidos e em outras regiões do mundo, as redes LTE já estão em operação ou estão em vias de serem implantadas e/ou comprometidas a serem implantadas. Seria um benefício significativo para os operadores de LTE se eles pudessem gradualmente implantar a capacidade de DDO ou MU-MAS em suas implantações existentes ou já prometidas. Desse modo, os mesmos poderiam implantar DDO ou MU-MAS em áreas onde se forneceria o benefício mais imediato, e gradualmente expandiriam a capacidade de DDO ou MU-MAS para cobrir mais de sua rede. Em tempo, uma vez que os mesmos tenham cobertura suficiente DDO ou MU-MAS em uma área, podem optar por parar de



utilizar células inteiramente e, em vez disso, mudar inteiramente para DIDO ou MU-MAS e alcançar uma densidade espectral mais elevada a um custo muito menor. Durante essa transição completa de celular para DIDO ou MU-MAS, os clientes sem fio do operador de LTE nunca terão uma perda do serviço. Em vez disso, os mesmos simplesmente verão sua velocidade de dados e confiabilidade melhorarem, enquanto o operador verá seus custos declinarem.

[000138] Existem várias modalidades que permitem uma integração gradual de DIDO ou MU-MAS nas redes de LTE já existentes. Em todos os casos, as BTSs para DIDO ou MU-MAS serão referidas como DIDO-LTE BTSs, e utilizarão uma das aplicações de DIDO ou MU-MAS compatíveis com LTE descritas acima, ou outras modalidades compatíveis com LTE conforme as mesmas possam ser desenvolvidas no futuro. Ou, as DIDO-LTE BTSs utilizarão uma ligeira variante do padrão de LTE, tais como os descritos acima e os UEs serão também atualizados (por exemplo, se uma atualização de software é suficiente para modificar o UE para ser compatível com DIDO ou MU-MAS), ou uma nova geração de UEs que são compatíveis com DIDO ou MU-MAS será implantada. Em ambos os casos, as novas BTSs que suportam DIDO ou MU-MAS também dentro das limitações do padrão de LTE, ou como uma variante do padrão de LTE, serão referidas abaixo como DIDO-LTE BTSs.

[000139] O padrão LTE suporta várias larguras de banda de canal (por exemplo, 1,4, 3, 5, 10, 15 e 20 MHz). Em uma modalidade, um operador com uma rede de LTE existente poderia alocar uma nova largura de banda para as LTE-DIDO BTSs, ou poderia subdividir o espectro de LTE existente (por exemplo, 20 MHz podem ser subdivididos em dois blocos de 10 MHz) para suportar as BTSs de LTE convencionais em uma configuração celular em um bloco do espectro e DIDO LTE BTSs em outro bloco de espectro. Com efeito, isso estabeleceria duas redes de LTE separadas, e os dispositivos UE seriam configurados para usar uma ou outra rede, ou selecionar entre as duas. No caso de espectro subdividido, o espectro pode ser dividido uniformemente entre a rede de LTE convencional e a

rede de DIDO-LTE BTS, ou desigualmente, alocado mais espectro para qualquer rede que poderia melhor utilizá-lo, dado o nível de implantação celular de LTE BTS e DIDO-LTE BTS e/ou padrões de uso do UE. Essa subdivisão poderia mudar conforme necessário ao longo do tempo e, em algum momento, quando há BTSs DIDO-LTE suficientes implantadas para fornecer a mesma ou melhor cobertura que as BTSs celulares, todo o espectro pode ser alocado para BTSs DIDO-LTE, e as BTSs celulares podem ser descomissionadas.

[000140] Em outra modalidade, as BTSs LTE celulares convencionais podem ser configuradas para ser coordenadas com as BTSs de DIDO-LTE tal que elas compartilham o mesmo espectro, mas fazem voltas utilizando o espectro. Por exemplo, se elas estavam compartilhando a utilização do espectro de forma igual, então cada rede BTS iria utilizar um tempo de quadro de 10 ms em alternância, por exemplo, um quadro de 10 ms para a BTS de LTE celular, seguido por um quadro de 10 ms para a BTS DIDO-LTE. Os tempos do quadro poderiam ser subdivididos em intervalos desiguais também. Essa divisão de intervalo poderia mudar conforme necessário ao longo do tempo e, em algum momento, quando há BTSs DIDO-LTE suficientes implantadas para fornecer a mesma ou melhor cobertura que as BTSs celulares, todo o tempo pode ser alocado para BTSs DIDO-LTE, e as BTSs celulares podem ser descomissionadas.

[000141] Em uma outra modalidade da invenção, DIDO ou MU-MAS são empregados como backhaul sem fio LOS ou NLOS para células pequenas em redes LTE e LTE-Avançada. À medida em que células pequenas são implantadas em redes de LTE, DIDO ou MU-MAS fornecem backhaul sem fio de alta velocidade para aquelas células pequenas. Na medida em que a procura por maiores taxas de dados aumenta, mais células pequenas são adicionadas à rede até a rede sem fios atingir um limite em que nenhuma célula pequena possa ser adicionada em uma determinada área sem causar interferência entre células. Na mesma modalidade da invenção, DIDO-LTE BTSs são usadas para substituir

gradualmente as células pequenas, explorando, assim, a interferência intercelular para fornecer uma capacidade de rede melhorada.

#### Agendador de MU-MAS LTE

[000142] Em MU-MAS, BTSs ou antenas distribuídas transmitem fluxos de dados simultâneos pré-codificados para múltiplos UEs. Conforme descrito nas Patentes e Pedidos de Patentes relacionados, o número de BTSs deve ser igual ou maior que o número de UEs para permitir transmissões simultâneas de dados. Em implantações práticas, o número de UEs pode exceder o número de BTSs. Neste caso, os UEs extras podem ser selecionados para transmissão em diferentes intervalos de tempo ou bandas de frequência, de acordo com certas políticas de agendamento. O agendador explora as informações de qualidade de canal dos UEs para decidir o melhor conjunto de UEs a ser atendido em um dado tempo e frequência. Diferentes métodos de agendamento são usados na presente invenção, incluindo agendador justo proporcional, rodízio ou algoritmos ávidos.

[000143] Conforme descrito nas seções anteriores, o padrão de LTE define dois parâmetros para informar ao agendador sobre a qualidade da ligação de cada UE: CQI e SRS. As CQI medem a qualidade do canal de DL e são retroalimentadas de volta do UE para a BTS. O SRS são as informações de sinalização enviadas do UE para a BTS para medir a qualidade de canal de UL. Ambos os indicadores fornecem informações sobre a qualidade do canal de UL/DL nos domínios de tempo e frequência. Em sistemas FDD, o agendador de DL deve usar CQI como medida de desempenho, já que a qualidade de canal de DL e UL pode variar devido às diferentes frequências portadoras. No modo TDD, a programação de DL emprega CSI ou SRS ou uma combinação de ambos para executar sua decisão de agendamento. As mesmas medições de desempenho podem ser usadas para agendamento de UL. Em uma modalidade da invenção, o agendador de MU-MAS emprega as CQI e SRS como medições de desempenho utilizadas pelo algoritmo de programação.

[000144] O MU-MAS descrito na presente invenção permite um indicador de qualidade de canal adicional não divulgado na técnica anterior: o indicador de seletividade espacial (SSI), descrito no relacionado Pedido de patente US n° de série 13/475.598, intitulado “Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems”. O SSI pode ser calculado com base nas CSI obtidas de todos os UEs através de mecanismos de retroalimentação ou do canal de UL (aplicando reciprocidade de canal de UL/DL). Em uma modalidade da invenção, o agendador emprega o SSI como medida de desempenho. O SSI é uma medida da diversidade espacial disponível na ligação sem fio. O SSI depende das características espaciais das BTSs, bem como dos UEs. Em uma modalidade exemplificativa da invenção, o agendador obtém o SSI de todos os UEs e agenda os UEs com o SSI “ideal” de acordo com certo critério de agendamento. Se mais BTSs estão disponíveis do que as BTSs ativas, o critério de seleção de usuários acima descrito é combinado com o método de seleção de antena descrito no Pedido de Patente n° US 13/475.598 relacionado, intitulado “Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems”. Em uma modalidade da invenção, o agendador seleciona o subconjunto ideal de BTSs e UEs com base em certos critérios de agendamento.

[000145] Com respeito às **Figuras 9, 10 e 11**, em certas situações, pode não haver sequências de sinalização ortogonais suficientes para permitir um grande número de BTSs dentro do mesmo conjunto de antenas ou subconjunto de antenas. Nesse caso, algum nível de interferência pode ocorrer se BTSs adicionais forem ativadas para cobrir as regiões com maior número de UEs ativos. Em uma modalidade da invenção, o agendador mede o nível de interferência entre conjuntos de antena ou subconjuntos de antena e agenda os UEs para minimizar o efeito de interferência pela ligação sem fio.

[000146] O algoritmo de seleção de antena descrito no relacionado Pedido de patente US n° de série 13/475.598, intitulado “Systems and Methods to enhance

spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems” é empregado na presente invenção para selecionar o conjunto ideal de BTSs ativas com base no SSI. Esse algoritmo de seleção de antena, entretanto, pode exigir alta complexidade computacional, à medida em que o processamento de pré-codificação MU-MAS precisa ser aplicado em todas as permutações possíveis de subconjuntos de antena antes de tomar uma decisão sobre o melhor subconjunto com base na medida de desempenho de SSI. Em MU-MAS com grande número de BTSs cooperativas, essa carga computacional pode tornar-se dispendiosa ou insustentável de alcançar em implantações práticas. É, portanto, desejável desenvolver técnicas alternativas para reduzir o número de subconjuntos de antena mantendo ainda um bom desempenho do método de seleção de antena. Em uma modalidade da invenção, o MU-MAS emprega métodos baseados em enfileiramento dos números ID de subconjunto de antena, a partir de agora referidos como “método de embaralhamento de antena”. Em uma modalidade da invenção, o método de embaralhamento de antena subdivide a fila que contém todos os possíveis IDs de subconjunto de antena (ou seja, todas as possíveis permutações de BTSs ativas para dado conjunto de BTSs disponíveis) em diferentes grupos, e atribui diferentes prioridades a esses grupos. Esses grupos são definidos para atribuir chances justas para todos IDs de subconjunto serem selecionados, mas a medida de SSI é computada apenas para um número limitado de subconjuntos (por exemplo, aqueles com prioridade mais elevada) reduzindo, assim, a complexidade computacional. Em uma modalidade exemplificativa, a fila de ID de subconjunto é dividida em três grupos, onde cada grupo é atribuído a uma regra diferente: i) grupo #1 contém os IDs com prioridade mais alta, que são retirados do grupo apenas no caso de um novo subconjunto com prioridade mais alta ser identificado; ii) grupo #2, onde novos subconjuntos de antena (selecionados do grupo #3) são incluídos em cada iteração do método; iii) grupo #3, onde os IDs de subconjunto de antena são embaralhados de acordo com a política de rodízio. Todos os IDs de subconjunto dentro dos grupos #1 e #2

são classificados em cada iteração do método com base na sua prioridade para dar oportunidade aos IDs de subconjuntos do grupo #2 de serem atualizados para o grupo #1. O SSI é computado apenas para os subconjuntos dentro dos grupos #1 e #2, e o algoritmo de seleção de antena é aplicado somente para esses subconjuntos.

#### Equipamento de usuário de MU-MAS LTE

[000147] A presente invenção compreende projetos diferentes do UE de LTE. Em uma modalidade, o UE é um UE de LTE que é compatível com o MU-MAS que emprega pré-codificação, conforme descrito acima e descrito na **Figura 13**.

[000148] Em uma modalidade diferente, o UE 1401 conecta-se a diferentes dispositivos 1402 e 1403 por meio de uma primeira interface de rede 1404 (por exemplo, Wi-Fi, USB, Ethernet, Bluetooth, fibra ótica, etc.) e ao MU-MAS por meio de uma segunda interface de rede 1405, como mostrado na **Figura 14**. O UE na Figura 14 é equipado com duas interfaces de rede diferentes em que cada interface de rede compreende uma ou múltiplas antenas (embora em modalidades alternativas, a primeira interface de rede 1404 possa ser uma interface com fio sem antenas). As antenas da primeira interface de rede são assinaladas com círculos, enquanto que as antenas da segunda interface de rede são denotadas com triângulos. Na mesma modalidade, a segunda interface de rede suporta pré-codificação de MU-MAS, MU-MAS implementado com protocolos compatíveis com LTE, ou MU-MAS (implementado com ou sem protocolos compatíveis com LTE) e uma rede alternativa. Na mesma modalidade, a rede alternativa é uma rede celular, uma rede de LTE ou uma rede Wi-Fi. Na mesma modalidade, o UE opera com um ou outro e/ou tanto MU-MAS e/ou a rede alternativa, e o UE seleciona ou MU-MAS ou a rede alternativa com base em algum critério. Na mesma modalidade, os critérios são: i) se apenas uma rede está disponível e é escolhida; ii) se uma rede possui melhor desempenho; iii) se uma rede é mais econômica; iv) se uma rede está menos congestionada; v) se uma rede usa menos recursos do UE.

[000149] Em uma modalidade da invenção, o UE 1501 está em uma caixa que se fixa fisicamente ao dispositivo de usuário 1502, conforme mostrado na **Figura 15**. Na mesma modalidade, a caixa serve como uma adição decorativa para o dispositivo de usuário. Em outra modalidade, a caixa serve para proteger o dispositivo de usuário contra danos físicos. O UE compreende a bateria 1503 e uma ou múltiplas interfaces de rede 1504.

[000150] Em uma modalidade, os elementos eletrônicos do UE são incorporados dentro de uma caixa. Na mesma modalidade, os elementos eletrônicos do UE incluem uma bateria 1503. A bateria inclui um carregador de potência conectado através de um contato elétrico físico ou um contato sem fio. As conexões de potência exemplificativas são conexões condutoras, indutivas, por RF, luz, ou térmicas, mas as conexões de potência não são limitadas a essas abordagens. Na mesma modalidade, os elementos eletrônicos do UE são acoplados para receber potência do dispositivo de usuário. Essa conexão de potência ocorre através de um contato físico ou através de um contato indutivo ou sem fio. Na mesma modalidade, o dispositivo de usuário é conectado para receber potência do MU-MAS UE. Essa conexão ocorre através de um contato físico ou através de um contato indutivo ou sem fio. Em uma modalidade diferente, o mesmo carregador de potência alimenta tanto o dispositivo de usuário quanto o MU\_MAS UE.

[000151] Em uma modalidade da invenção, o UE é configurado para se comunicar com o dispositivo de usuário. Na mesma modalidade, o UE pode ser reiniciado (por exemplo, através de interruptor ou ao remover a potência) de modo que o dispositivo de usuário possa inicialmente se conectar ao mesmo, e, uma vez que a conexão seja estabelecida, o UE pode ser configurado pelo dispositivo de usuário. Essa configuração inclui configurar uma senha pessoal e/ou outros protocolos de segurança. Em uma modalidade diferente, o UE inclui um meio para ser configurado para comunicar-se com o dispositivo de usuário. Essa configuração é feita através de uma porta de comunicação para outro dispositivo,

em que a porta de comunicações é USB, ou através de controles e/ou botões no UE ou através de um mostrador, em que botões ou entrada por toque são usados.

[000152] Em uma outra modalidade, a mesma cadeia de RF é usada para comunicações de MU-MAS, bem como para a rede alternativa. Em outra modalidade, uma corrente de RF diferente é usada para comunicações de MU-MAS e para a rede alternativa.

#### Calibração de radiofrequência (RF) explorando a reciprocidade de canal

[000153] Métodos convencionais de MU-MAS de circuito fechado empregam um canal de UL para fornecer retroinformação de índices do livro de códigos e CSI quantizada (como em esquemas de retroinformação limitados baseados em livro de códigos) dos UEs para as BTSs ou para o CP. Esse esquema, no entanto, resulta em grande sobrecarga de retroinformações e alta complexidade de protocolo para habilitar o canal de retroinformação de CSI. Em sistemas TDD, nos quais UL e DL são configurados para a mesma frequência, é, portanto, desejável evitar a retroinformação de CSI explorando a reciprocidade de canal de UL/DL. Em sistemas práticos, a transmissão e a recepção de cadeias de RF na BTS ou no UE tipicamente têm características diferentes devido a diferentes componentes de RF e layouts de circuito. Portanto, para preservar a reciprocidade de UL/DL, é necessário empregar métodos de calibração de RF para compensar o desalinhamento entre as cadeias de transmissão e recepção.

[000154] Modelos de desalinhamento de RF em transceptores sem fio típicos foram descritos em [91], e soluções de hardware para mitigar o efeito do desalinhamento de RF no desempenho dos sistemas digitais adaptáveis formadores de feixes foram discutidas em [92]. Técnicas de software para permitir a calibração de RF em sistemas de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO) foram propostas em [93,94], e resultados experimentais para sistemas de múltiplas entradas e única saída (MISO) e sistemas que empregam seleção de antenas foram mostrados em [95] e [96], respectivamente.



[000155] A técnica anterior, no entanto, presume que todas as cadeias de RF são dispostas na mesma placa de circuito, como em sistemas MIMO, simplificando, assim, o problema de calibração de RF, já que as informações sobre o desalinhamento de RF entre todas as cadeias de RF estão disponíveis localmente. Por outro lado, a presente invenção consiste em antenas distribuídas posicionadas separadas geograficamente de modo que a comunicação entre essas antenas aconteça apenas através da rede. Consequentemente, definimos uma unidade de sistema inovadora que chamamos de “estação de radiofarol” projetada especificamente para permitir a calibração de RF em MU-MASs com antenas distribuídas. Além disso, em sistemas MIMO da técnica anterior, acoplamentos significativos de RF entre cadeias de transmissão/recepção ocorrem devido à grande proximidade das cadeias de RF na mesma placa. Por outro lado, na presente invenção, acoplamentos de RF ocorrem somente entre uma cadeia de transmissão e uma cadeia de recepção da mesma antena distribuída. Assim, as técnicas empregadas para calibração de RF são significativamente diferentes das descritas na técnica anterior, conforme demonstrado a seguir. Finalmente, os métodos de calibração de RF descritos na técnica anterior eram limitados a sistemas com um único usuário (por exemplo, um dispositivo de Equipamento de Usuário único). Conforme mostrado em derivações nos parágrafos a seguir, sistemas com múltiplos usuários (por exemplo, MU-MASs) são particularmente sensíveis ao desalinhamento de RF, já que ele gera interferência entre usuários. Como tal, técnicas especiais devem ser empregadas para permitir a calibração de RF ao mesmo tempo em que se explora a reciprocidade de canal, como descrito a seguir.

[000156] A presente invenção consiste de um MU-MAS que emprega calibração de radiofrequência (RF) e explora a reciprocidade entre canais de ligação descendente (DL) e ligação ascendente (UL), compreendendo múltiplas antenas distribuídas, múltiplos dispositivos de Equipamento de Usuário (UEs) e uma ou múltiplas estações de radiofarol. Em uma modalidade, a calibração de RF

é empregada para calcular os pesos de pré-codificação de MU-MAS de DL das estimativas do canal de UL. A **Figura 16** mostra o diagrama de blocos do sistema incluindo as antenas distribuídas 1601, múltiplos UEs 1613, uma estação de radiofarol 1619, uma rede de estação-base (BSN) 1607 conectando as antenas distribuídas, um processador centralizado (CP) 1621 e um canal de retroinformação 1620, que é o canal de controle de calibração do radiofarol para o CP.

[000157] Todas as unidades de antena distribuída consistem de uma unidade de banda de base 1602, uma cadeia de transmissão de RF 1603, cadeia de recepção de RF 1604, unidade de alternância 1605 que seleciona dinamicamente as cadeias de transmissão/recepção de RF para a operação TDD, e a antena 1606. Em uma modalidade, a unidade de banda de base compreende o processamento do sinal de banda de base e a conversão digital para análogo (DAC). Em uma outra modalidade, todos os processamentos de banda de base são executados no CP, de modo que o sinal de RF é enviado para todas as antenas distribuídas (por exemplo, por meio de cabos coaxiais de RF ou RF em redes de fibra). Todo UE consiste de uma unidade de banda base 1608, cadeias de transmissão/recepção de RF 1609 e 1610, respectivamente, chave de RF 1611 e antena 1612. A estação de radiofarol é composta de uma unidade de banda base 1614, cadeias de transmissão/recepção de RF 1615 e 1616, respectivamente, chave de RF 1617 e antena 1618.

[000158] As ligações sem fio entre as antenas distribuídas e os UEs são modeladas como uma matriz complexa de canal Gaussiano  $\mathbf{H}$  com dimensões  $M \times N$ , em que  $M$  é o número de UEs e  $N$  é o número de antenas distribuídas. Definimos como  $\mathbf{H}_{DL}$  a matriz de canal de DL 1622 e como  $\mathbf{H}_{UL}$  a matriz de canal de UL 1623. A reciprocidade de canal se mantém enquanto o DL e o UL estiverem definidos para a mesma frequência de operadora. Nesse caso, a seguinte propriedade se mantém

$$\mathbf{H}_{DL} = \mathbf{H}_{UL}^{\dagger} = \mathbf{H}$$

onde o símbolo  $\dagger$  denota a operação de transposição de matriz.

[000159] O modelo acima se mantém nos sistemas de operadora única ou de múltiplas operadoras. Em sistemas de múltiplas operadoras (por exemplo, OFDM), a matriz complexa  $\mathbf{H}$  representa o canal de uma subportadora, e o mesmo modelo se estende a qualquer suboperadora no sistema. A **Figura 16** mostra, também, as unidades de transmissão e recepção de RF nas antenas distribuídas, modeladas com matrizes de canal complexas  $\mathbf{A}_T$  e  $\mathbf{A}_R$ , respectivamente, de dimensão  $N \times N$ . De modo semelhante, as unidades de transmissão e recepção de RF nos UEs são modeladas pelas matrizes  $\mathbf{B}_T$  e  $\mathbf{B}_R$ , respectivamente, de dimensão  $M \times M$ . No caso de MU-MAS com antenas distribuídas, o acoplamento de RF entre as antenas distribuídas e/ou UEs é desprezível devido à separação relativa da antena, de modo que  $\mathbf{A}_T$ ,  $\mathbf{A}_R$ ,  $\mathbf{B}_T$  e  $\mathbf{B}_R$  são representadas como matrizes diagonais. É observado que essa é uma característica exclusiva de MU-MAS com antenas distribuídas e UEs distribuídas. Como tal, a presente invenção é inovadora com relação à técnica anterior relacionada aos sistemas de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO).

[000160] Com base no diagrama de blocos na **Figura 16**, a matriz de canal de DL eficaz (modelando unidades de transmissão/recepção de RF e ligações sem fio) é escrita como

$$\bar{\mathbf{H}}_{DL} = \mathbf{B}_R \mathbf{H}_{DL} \mathbf{A}_T = \mathbf{B}_R \mathbf{H} \mathbf{A}_T$$

e a matriz de canal de UL eficaz, como

$$\bar{\mathbf{H}}_{UL} = \mathbf{A}_R \mathbf{H}_{UL} \mathbf{B}_T = \mathbf{A}_R \mathbf{H}^\dagger \mathbf{B}_T$$

[000161] Na presente invenção, a calibração de RF é obtida por meio do pré-condicionamento das estimativas da matriz do canal de UL  $\mathbf{H}_{UL}$  com a matriz de calibração de RF complexa  $\mathbf{C}$ , da seguinte forma

$$\tilde{\mathbf{H}}_{DL} = (\mathbf{C} \mathbf{H}_{UL})^\dagger$$

[000162] Em uma modalidade da invenção compreendendo redes celulares LTE, o canal de UL eficaz é estimado no eNodeB empregando-se o DMRS de todos os UEs.

[000163] Conforme mostrado na **Figura 17**, a matriz  $\mathbf{C}$  é calculada a partir dos vetores eficazes do canal de DL ( $\tilde{\mathbf{k}}_{DL}$ ) 1722 e do canal de UL ( $\tilde{\mathbf{k}}_{UL}$ ) 1723 entre todas as antenas distribuídas 1701 e a estação de radiofarol 1719, definida como

$$\tilde{\mathbf{k}}_{DL} = \mathbf{D}_R \mathbf{k}_{DL} \mathbf{A}_T$$

e

$$\tilde{\mathbf{k}}_{UL} = \mathbf{A}_R \mathbf{k}_{UL} \mathbf{D}_T$$

onde  $\mathbf{k}_{DL} = \mathbf{k}_{UL} = \mathbf{k}$  são vetores de coluna, presumindo a reciprocidade dos canais de DL e UL entre as antenas distribuídas e a estação de radiofarol. Em uma modalidade, o canal de DL entre as antenas distribuídas e a estação de radiofarol é estimado pelo envio de sinais de treinamento das antenas distribuídas para o radiofarol. Em uma modalidade exemplificadora compreendendo redes celulares LTE, as sequências CRS, CSI-RS ou DM-RS de DL são usadas pelo radiofarol para estimar o canal de DL eficaz de todos os eNodeBs. Na mesma modalidade, o canal de DL entre a estação de radiofarol e as antenas distribuídas é estimado pelo envio de sinais de treinamento do radiofarol para as antenas distribuídas. Em

uma modalidade da invenção, múltiplas estações de radiofarol são empregadas para otimizar a estimativa da matriz de calibração de RF. Na presente invenção, não há acoplamento de RF entre as antenas distribuídas, de modo que a matriz de calibração de RF  $\mathbf{C}$  é diagonal.

[000164] Quando a pré-codificação linear (por exemplo, forçagem de zero [65], diagonalização de bloco ou BD [66 a 67], inversão de matriz, etc.) é empregada, o símbolo recebido no UE m-th é dado por

$$r_m = \mathbf{h}_{DL,m} \bar{\mathbf{w}}_{DL,m} s_m + \sum_{u=1, u \neq m}^M \mathbf{h}_{DL,m} \bar{\mathbf{w}}_{DL,u} s_u + n_m$$

onde  $\mathbf{h}_{DL,m}$  é a fileira m-th da matriz de canal eficaz  $\mathbf{H}_{DL}$ ,  $\bar{\mathbf{w}}_{DL,m}$  é o vetor de pré-codificação para o UE m-th derivado de  $\mathbf{H}_{DL}$ ,  $s_m$  é o símbolo transmitido para o UE m-th, e  $n_m$  é o ruído Gaussiano branco no UE m-th. Em prol da simplicidade, o modelo acima assume uma única antena de recepção em cada UE, mas a presente invenção estende isso a qualquer número de antenas no UE. É possível mostrar que quando o método de calibração de RF descrito acima seja empregado, a interferência entre clientes em cada UE é pré-cancelada no transmissor, de modo que a condição a seguir se mantém

$$\mathbf{h}_{DL,m} \bar{\mathbf{w}}_{DL,u} = \mathbf{h}_{DL,m} \tilde{\mathbf{w}}_{DL,u} = 0, \quad \forall u = 1, \dots, M \text{ with } u \neq m$$

onde  $\tilde{\mathbf{w}}_{DL,u}$  é o vetor de peso de pré-codificação derivado da matriz calibrada de canal de RF  $\tilde{\mathbf{H}}_{DL}$ . Em uma modalidade, os pesos de pré-codificação são calculados a partir da matriz calibrada de canal de RF para a interferência pré-cancelada entre clientes em cada UE. A **Figura 18** mostra o desempenho do símbolo de taxa de erro (SER) de MU-MAS empregando pré-codificação BD e modulação 4-QAM nos canais de frequência plana para três cenários: i) nenhum

desalinhamento de RF; ii) desalinhamento de RF sem calibração; iii) desalinhamento de RF com calibração. Observa-se que o método de calibração de RF na presente invenção reduz o SER para o desempenho ideal (isto é, sem desalinhamento de RF).

[000165] Em uma outra modalidade da invenção, métodos não lineares de pré-codificação (por exemplo, codificação bruta [68-70] ou pré-codificação de Tomlinson-Harashima ou THP [71-72], técnicas de retícula ou pré-codificação de treliça [73-74], técnicas de perturbação de vetor [75-76]) são aplicadas na matriz calibrada de canal de RF para pré-cancelar a interferência entre clientes em cada UE. A **Figura 19** mostra que o SER obtido com técnicas de pré-codificação não linear usando calibração de RF e reciprocidade de UL/DL corresponde ao desempenho de pré-codificação linear. A **Figura 20a** mostra a constelação antes da operação de módulo de THP para UE 1, enquanto que a **Figura 20b** mostra a constelação antes da operação de módulo de THP para UE 2 (estrutura de retícula THP) no MU-MAS com duas antenas distribuídas e dois UEs. A pré-codificação de THP é projetada para cancelar completamente a interferência ao “UE-referência” e aplica esquemas bem-sucedidos de cancelamento de interferência aos outros UEs. Como tal, é esperado que o desempenho do SER para o UE-referência possa ser melhor do que para os outros UEs. Em uma modalidade, o agendamento Round-Robin ou agendamento proporcional regular, ou outros tipos de técnicas de agendamento, são aplicados aos UEs para garantir um desempenho de SER médio similar para todos os UEs.

[000166] O desempenho computacional dos métodos BD e THP pode variar de acordo com o número de antenas distribuídas e/ou UEs dentro de cada conjunto de usuários. Em uma modalidade da invenção, o MU-MAS alterna dinamicamente entre técnicas de pré-codificação linear e não linear para minimizar a complexidade computacional do pré-codificador de acordo com o número de antenas distribuídas e/ou UEs em cada conjunto de usuários.

[000167] Nos MU-MASs práticos, a estação de radiofarol é um transceptor sem fio dedicado ao uso para calibração de RF. Como o radiofarol exige um canal de retroinformação para comunicar o canal de DL estimado eficaz de todas as antenas distribuídas para propósitos de calibração, o radiofarol comunica-se com o CP por meio de ligação fixa ou sem fio. Em uma outra modalidade, a estação de radiofarol é qualquer uma das antenas distribuídas, e os parâmetros de calibração são calculados com relação a essa antena. Na mesma modalidade, as antenas distribuídas são organizadas como em uma rede de malha, e a calibração de RF emparelhada entre as antenas distribuídas adjacentes é calculada para garantir boa qualidade de ligação. A calibração de RF é conduzida em todas as antenas, e as informações de calibração são retroalimentadas ao CP de modo que todas as antenas distribuídas sejam calibradas uma com a outra. Em uma outra modalidade, o radiofarol é qualquer um dos UEs que usem qualquer ligação fixa ou sem fio para fornecer retroinformação ao CP sobre as informações de calibração.

[000168] As informações de calibração do radiofarol para o CP são quantizadas em um número limitado de bits ou enviadas por métodos de retroinformação limitados baseados em livro de códigos para reduzir a sobrecarga sobre o canal de controle. Observamos que a calibração de RF pode ser executada em uma velocidade baixa (dependendo da taxa de variação das características da RF, devido a alterações na temperatura, etc.). Se a velocidade de atualização das informações de calibração for baixa, o canal de dados sem fio pode ser usado para enviar essas informações ao CP sem causar perdas graves de taxa de dados. Em uma modalidade exemplificadora, nas redes celulares LTE, o PUSCH é usado para retroinformação das informações de calibração do UE para o CP.

[000169] Um ou vários radiofaróis geograficamente distribuídos são empregados por conjunto de usuários, ou conjunto de antenas ou subconjunto de antenas, dependendo da qualidade relativa da ligação entre o radiofarol e as

antenas distribuídas nesse conjunto. Em uma modalidade, o radiofarol com a melhor qualidade de sinal para todas as antenas distribuídas no conjunto é usado para a calibração de RF. Em uma outra modalidade, os radiofarois são dinamicamente selecionados em cada instância de tempo para se adaptar à qualidade de alteração das ligações às antenas distribuídas devido a variações no ambiente de propagação. Em uma outra modalidade, múltiplos radiofarois são empregados de forma cooperativa (por exemplo, por meio de combinação/transmissão de razão máxima) para maximizar o SNR ou SINR em relação às ligações das/para as antenas distribuídas. Em uma modalidade diferente, uma ou mais calibrações de RF são executadas por conjunto.

[000170] Em uma modalidade da invenção, a estação de radiofarol é usada não apenas para calibração de RF, mas também para enviar informações de sinalização para as antenas distribuídas e/ou UEs incluindo referência de sincronização de tempo e frequência. As antenas distribuídas e/ou UEs empregam essa referência para manter a sincronização de tempo e frequência com o relógio mestre de referência MU-MAS. Em uma modalidade, a distribuição desse relógio de referência do radiofarol até as antenas distribuídas e os UEs é possibilitada por meio do canal de comunicação da rede de frequência única de transmissão multimídia (MBSFN) de LTE.

### Referências

- [1] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, Introduction to Space-Time Wireless Communications, Cambridge University Press, 40 West 20th Street, New York, NY, USA, 2003
- [2] D. Gesbert, M. Shafi, D. Shiu, P.J. Smith e A. Naguib, "From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems", *IEEE Journal on Selected Areas on Communications*, vol. 2, n. 3, pp. 281 a 302, abril 2003
- [3] L. Zheng e D. N. C. Tse, "Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels", *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 49, no. 5, pp. 1073 a 1096, maio de 2003



- [4] D. N. C. Tse, P. Viswanath e L. Zheng, "Diversity-multiplexing tradeoff in multiple-access channels", *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 50, no. 9, pp. 1859 a 1874, setembro de 2004
- [5] E. Visotsky and U. Madhow, "Space-time transmit precoding with imperfect feedback," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 47, pp. 2632 a 2639, setembro de 2001.
- [6] S. A. Jafar, S. Vishwanath, and A. Goldsmith, "Channel capacity and beamforming for multiple transmit and receive antennas with covariance feedback," *Proc. IEEE Int. Conf. on Comm.*, vol. 7, pp. 2266 a 2270, junho de 2001.
- [7] S. A. Jafar and A. Goldsmith, "Transmitter optimization and optimality of beamforming for multiple antenna systems," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 3, p. 1165 a 1175, julho de 2004.
- [8] E. A. Jorswieck and H. Boche, "Channel capacity and capacity-range of beamforming in MIMO wireless systems under correlated fading with covariance feedback," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 3, pp. 1543 a 1553, setembro de 2004.
- [9] A. L. Moustakas and S. H. Simon, "Optimizing multiple-input single-output (MISO) communication systems with general Gaussian channels: nontrivial covariance and nonzero mean," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 49, pp. 2770 a 2780, outubro de 2003.
- [10] M. Kang and M. S. Alouini, "Water-filling capacity and beamforming performance of MIMO systems with covariance feedback," *IEEE Work. on Sign. Proc. Adv. in Wire. Comm.*, pp. 556 a 560, junho de 2003.
- [11] S. H. Simon and A. L. Moustakas, "Optimizing MIMO antenna systems with channel covariance feedback," *IEEE Jour. Select. Areas in Comm.*, vol. 21, pp. 406 a 417, abril de 2003.
- [12] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Jour. Select. Areas in Comm.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451 a 1458, outubro de 1998.

- [13] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 44, pp. 744 a 765, março de 1998.
- [14] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 45, pp. 1456 a 1467, julho de 1999.
- [15] E. N. Onggosanusi, A. G. Dabak, and T. A. Schmidl, "High rate space- time block coded scheme: performance and improvement in correlated fading channels," *Proc. IEEE Wireless Comm. and Net. Conf.*, vol. 1, pp. 194 a 199, março de 2002.
- [16] G. D. Durgin, *Space-Time Wireless Channels*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2003
- [17] D.-S. Shiu, G. J. Foschini, M. J. Gans, and J. M. Kahn, "Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 48, no. 3, pp. 502 a 513, março de 2000
- [18] A. Forenza e R. W. Heath Jr., "Impact of antenna geometry on MIMO communication in indoor clustered channels", *Proc. IEEE Antennas and Prop. Symp.*, vol. 2, pp. 1700–1703, June 2004.
- [19] E. A. Jorswieck and H. Boche, "Channel capacity and capacity-range of beamforming in MIMO wireless systems under correlated fading with covariance feedback," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 3, pp. 1543 a 1553, setembro de 2004
- [20] R. W. Heath Jr. e A. Paulraj, "Switching between multiplexing and diversity based on constellation distance", *Proc. of Allerton Conf. on 208, Comm. Control and Comp.*, setembro de 2000.
- [21] S. Catreux, V. Erceg, D. Gesbert, and R. W. Heath Jr., "Adaptive modulation and MIMO coding for broadband wireless data networks," *IEEE Comm.* 2, pp. 108 e 115, junho de 2002.
- [22] A. Forenza, A. Pandharipande, H. Kim, and R. W. Heath Jr., "Adaptive MIMO transmission scheme: Exploiting the spatial selectivity of wireless channels," *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 5, pp. 3188 a 3192, maio de 2005

- [23] C. B. Chae, A. Forenza, R. W. Heath, Jr., M. R. McKay e I. B. Collings, "Adaptive MIMO Transmission Techniques for Broadband Wireless Communication Systems", *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, n° 5, p. 112 a 118, maio de 2010
- [24] FCC, "Broadband action agenda", National Broadband Plan, 2010  
<http://www.broadband.gov/plan/national-broadband-plan-action-agenda.pdf>
- [25], N. Delfas, F. Meunier, S. Flannery, T. Tsusaka, E. Gelblum and S. Kovler, "Mobile data wave: who dares to invest, wins", Morgan Stanley Research Global, June 13, 2012
- [26] D. Goldman, "Sorry, America: your wireless airwaves are full", CNN Money  
[http://money.cnn.com/2012/02/21/technology/spectrum\\_crunch/index.htm](http://money.cnn.com/2012/02/21/technology/spectrum_crunch/index.htm)
- [27] P. Rysavy, "No silver bullets for FCC, NTIA spectrum challenge", Daily report for executives, Bloomberg BNA, Aug. 2012  
[http://www.rysavy.com/Articles/2012\\_09\\_No\\_Spectrum\\_Silver\\_Bullets.pdf](http://www.rysavy.com/Articles/2012_09_No_Spectrum_Silver_Bullets.pdf)
- [28] T. W. Hazlett, "Radio spectrum for a hungry wireless world", Sept. 22, 2011
- [29] B. J. Love, D. J. Love e J. V. Krogmeier, "Like deck chairs on the Titanic: why spectrum reallocation won't avert the coming data crunch but technology might keep the wireless industry afloat", fevereiro de 2012
- [30] Qualcomm, "The 1000x data challenge, the latest on wireless, voice, services and chipset evolution", 4G World, 31 de outubro de 2012
- [31] J. Lee, J.-K. Han, J. Zhang, "MIMO technologies in 3GPP LTE and LTE-advanced", *EURASIP Journal on Wireless Comm. and Net.*, Hindawi, maio de 2009
- [32] 3GPP, TS 36.201, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE Physical Layer-General Description (Release 8)"
- [33] 3GPP, TS 36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 8)"
- [34] 3GPP, TS 36.212, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding (Release 8)"

- [35] 3GPP, TS 36.213, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 8)"
- [36] T. Yoo, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Multi-antenna broadcast channels with limited feedback and user selection," *IEEE Journal on Sel. Areas in Communications*, vol. 25, pp. 1478 a 1491, julho de 2007.
- [37] P. Ding, D. J. Love, and M. D. Zoltowski, "On the sum rate of channel subspace feedback for multi-antenna broadcast channels," in *Proc., IEEE Globecom*, vol. 5, pp. 2699-2703, November 2005.
- [38] N. Jindal, "MIMO broadcast channels with finite-rate feedback," *IEEE Trans. on Info. Theory*, vol. 52, pp. 5045 a 5060, novembro de 2006.
- [39] D. J. Love, R. W. Heath, Jr., V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao e M. Andrews, "An Overview of Limited Feedback in Wireless Communication Systems", *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks, vol. 26, no. 8, pp. 1341 a 1365, outubro de 2008.
- R. W. Heath, Jr., D. J. Love, V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao e M. Andrews, "Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks", *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks, vol. 26, no. 8, pp. 1337 a 1340, outubro 2008.
- [41] D. J. Love, R. W. Heath, Jr. e T. Strohmer, "Grassmannian Beamforming for Multiple-Input Multiple-Output Wireless Systems", *IEEE Trans. on Info. Theory* special issue on MIMO Communication, vol. 49, pp. 2735 a 2747, outubro de 2003
- [42] C. B. Chae, D. Mazzaresse, N. Jindal e R. W. Heath, Jr., "Coordinated Beamforming with Limited Feedback in the MIMO Broadcast Channel", *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Comm. Networks, vol. 26, no. 8, pp. 1505 a 1515, outubro de 2008

- [43] A. Paulraj, "Is OFDMA, MIMO and OS the right stuff for mobile broad- band?" <http://www.ieeevtc.org/vtc2005fall/presentations/paulraj.pdf>, setembro de 2005
- [44] J. Wannstrom, "Carrier aggregation explained", 3GPP <http://www.3gpp.org/Carrier-Aggregation-explained>
- [45] 3GPP, TS 36.808, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Carrier Aggregation (Release 10)", v10.0.0, June 2012
- [46] Nokia Siemens Networks, "2020: beyond 4G, radio evolution for the gigabit experience", White Paper, 2011, [www.nokiasiemensnetworks.com](http://www.nokiasiemensnetworks.com)
- [47] S. Marek, "AT&T's Rinne talks about carrier aggregation trials, small cells and more", <http://www.fiercebroadbandwireless.com/story/atts-rinne-talks-about-carrier-aggregation-trials-small-cells-and-more/2012-11-08>
- [48] M. Reed, "InterfereX", Tech23, 2011 <http://www.youtube.com/watch?v=YPpELm6iip8>
- [49] NICTA, "InterfereX", [http://www.nicta.com.au/research/archive/research\\_themes/networked\\_systems/interferex](http://www.nicta.com.au/research/archive/research_themes/networked_systems/interferex)
- [50] J. Duplicity, et al., "MU-MIMO in LTE systems", EURASIP Journal on Wireless Communications and Netowrking, Mar. 2011
- [51] S. Feng and E. Seidel, "Self-organizing networks (SON) in 3GPP LTE", Nomor research, May 2008
- [52] NEC, "Self organizing networks", White paper, Feb. 2009
- [53] U.S. Patent No. 5.809.422, concedida em 15 de setembro de 1998, intitulada "Distributed microcellular communications system", G. R. Raleigh, M. A. Pollack
- [54] G. J. Foschini, H.C. Huang, K. Karakayali, R. A. Valenzuela e S. Venkatesan. The Value of Coherent Base Station Coordination. In *Conference on Information Sciences and Systems (CISS 2005)*, Mar. 2005
- [55] M. K. Karakayali, G. J. Foschini, R. A. Valenzuela e R. D. Yates, "On the maximum common rate achievable in a coordinated network", *Proc. of the Int'l Conf. on Communications (ICC'06)*, vol. 9, p. 4333 a 4338, junho de 2006.

- [56] M. K. Karakayali, G. J. Foschini e R. A. Valenzuela, "Network coordination for spectrally efficient communications in cellular systems", *IEEE Wireless Communications Magazine*, vol. 13, n° 4, p. 56 a 61, agosto de 2006.
- [57] G. J. Foschini, M. K. Karakayali e R. A. Valenzuela, "Coordinating multiple antenna cellular networks to achieve enormous spectral efficiency", *Proceedings of the IEEE*, vol. 153, n° 4, p. 548 a 555, agosto de 2006.
- [58] S. Venkatesan, A. Lozano, and R. Valenzuela, "Network MIMO: overcoming inter-cell interference in indoor wireless systems", *Proc. of Asilomar conf.*, pp. 83-87, Nov. 2007
- [59] S. Venkatesan, H. Huang, A. Lozano, and R. Valenzuela, "A WiMAX-based implementation of network MIMO for indoor wireless systems", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Sep. 2009
- [60] Y. Liang, R. Valenzuela, G. Foschini, D. Chizhik, and A. Goldsmith, "Interference suppression in wireless cellular networks through picocells", *ACSSC*, pp. 1041-1045, Nov. 2007
- [61] A. Papadogiannis, H. J. Bang, D. Gesbert, and E. Hardouin, "Efficient selective feedback design for multicell cooperative networks", *IEEE Trans. On Vehicular Techn.*, pp. 196 a 205, vol. 60, n. 1, janeiro de 2011
- [62] I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez, E. C. Reyes, "The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced", *Physical Comm.*, Elsevier, pp. 217 a 244, 2010
- [63] A. Barbieri, P. Gaal, S. Geirhofer, T. Ji, D. Malladi, Y. Wei, and F. Xue, "Coordinated downlink multi-point communications in heterogeneous cellular networks", (Qualcomm), *Information Theory and App. Workshop*, pp. 7 a 16, fevereiro de 2012
- [64] S. Parkvall, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Olsson, S. Wanstedt, and K. Zangi, "LTE-Advanced – evolving LTE towards IMT-Advanced", (Ericsson) *IEEE VTC*, pp. 1-5, Sep. 2008
- [65] R. A. Monziano e T. W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*, Nova York: Wiley, 1980.

- [66] K. K. Wong, R. D. Murch e K. B. Letaief, "A joint channel diagonalization for multiuser MIMO antenna systems", *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 2, p. 773 a 786, julho de 2003;
- [67] R. Chen, R. W. Heath, Jr. e J. G. Andrews, "Transmit Selection Diversity for Unitary Precoded Multiuser Spatial Multiplexing Systems with Linear Receivers", *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol. 55, n° 3, p. 1159 a 1171, março de 2007.
- [68] M. Costa, "Writing on dirty paper", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 29, N° 3, Página(s): 439 a 441, maio de 1983.
- [69] G. Caire and S. Shamai, "On the achievable throughput of a multiantenna Gaussian broadcast channel," *IEEE Trans. Info.Th.*, vol. 49, pp. 1691 a 1706, julho de 2003.
- [70] N. Jindal e A. Goldsmith, "Dirty Paper Coding vs. TDMA for MIMO Broadcast Channels", *IEEE Trans. on Info. Theory*, vol. 51, pp. 1783 a 1794, maio de 2005
- [71] M. Tomlinson, "New automatic equalizer employing modulo arithmetic", *Electronics Letters*, Página(s): 138 e 139, março de 1971.
- [72] H. Miyakawa e H. Harashima, "A method of code conversion for digital communication channels with intersymbol interference", *Trans. of the Inst. of Electronic*
- [73] U. Erez, S. Shamai (Shitz) e R. Zamir, "Capacity and lattice-strategies for cancelling known interference", *Proceedings of International Symposium on Information Theory*, Honolulu, Havaí, novembro de 2000.
- [74] W. Yu and J. M. Cioffi, "Trellis Precoding for the Broadcast Channel", *IEEE Globecom*, vol. 2, pp. 1344-1348, 2001
- [75] B. M. Hochwald, C. B. Peel, and A. L. Swindlehurst, "A Vector-Perturbation Technique for Near-Capacity Multiantenna Multiuser Communication - Part I: Channel Inversion and Regularization", *IEEE Trans. On Communications*, vol. 53, n. 1, pp. 195 a 202, janeiro de 2005

- [76] B. M. Hochwald, C. B. Peel, and A. L. Swindlehurst, "A Vector-Perturbation Technique for Near-Capacity Multiantenna Multiuser Communication - Part II: Perturbation", *IEEE Trans. On Comm.*, vol. 53, n. 3, pp. 537 a 544, março de 2005
- [77] S. Perlman e A. Forenza, "Distributed-input distributed-output (DIDO) wireless technology: a new approach to multiuser wireless", Rearden Labs White Paper, julho de 2011, <http://www.reardenwireless.com/110727-DIDO-A%20New%20Approach%20to%20Multiuser%20Wireless.pdf>
- [78] A. Vance, "Steve Perlman's wireless fix", *Businessweek*, julho de 2011  
<http://www.businessweek.com/magazine/the-edison-of-silicon-valley-07272011.html>
- [79] M. Lindström (Ericsson), "LTE-Advanced Radio Layer 2 and RRC aspects", 3GPP TSG-RAN WG2
- [80] Anritsu, "LTE resource guide", [www.us.anritsu.com](http://www.us.anritsu.com)
- [81] 3GPP, "Spatial Channel Model AHG (Combined ad-hoc from 3GPP & 3GPP2)", SCM Text V6.0, 22 de abril de 2003
- [82] J. Lee, "Introduction of LTE-Advanced DL/UL MIMO", Samsung Electronics, Sep. 2009
- [83] E. Dahlman, S. Parkvall and J. Skold, "4G: LTE/LTE-Advanced for mobile broadband", Elsevier, 2011
- [84] J. Syren, "Overview on the 3GPP long term evolution physical layer", Freescale White Paper, July 2007
- [85] M. Baker, "LTE-Advanced physical layer", Alcatel-Lucent, Dec. 2009
- [86] J. Xu, "LTE-Advanced signal generation and measurements using SystemVue", Agilent Technologies
- [87] X. Hou and H. Kayama, "Demodulation reference signal design and channel estimation for LTE-Advanced uplink", DOKOMO, *Adv. in Vehic. Netw. Tech.*, abril de 2011
- [88] D. C. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties", *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 18, no. 4, pp. 531 a 532, setembro de 1972



- [89] A. Lozano, R.W. Heath e J. Andrews, "Fundamental limits of cooperation", março de 2012, <http://arxiv.org/pdf/1204.0011.pdf>
- [90] J. G. Andrews, "Seven ways that HetNet are a cellular paradigm shift"  
[http://users.ece.utexas.edu/~jandrews/pubs/And\\_HetNet\\_CommMag2012\\_v3.pdf](http://users.ece.utexas.edu/~jandrews/pubs/And_HetNet_CommMag2012_v3.pdf)
- [91] J-C. Guey e L. D. Larsson, "Modeling and evaluation of MIMO systems exploiting channel reciprocity in TDD mode", 2004
- [92] N. Tyler, B. Allen e H. Aghvami, "Adaptive antennas: the calibration problem", IEEE Comm. Mag., p. 114 a 122, dezembro de 2004
- [93] A. Bourdoux, B. Come e N. Khaled, "Non-reciprocal transceivers in OFDM/SDMA systems: impact and mitigation", IEEE, p. 183 a 186, 2003
- [94] M. Guillaud, D. T. M. Slock e R. Knopp, "A practical method for wireless channel reciprocity exploitation through relative calibration", IEEE Proc. Of Sign Proc., p. 403 a 406, vol. 1, agosto de 2005
- [95] P. Zetterberg, "Experimental investigation of TDD reciprocity based zero-forcing transmit precoding", EURASIP, junho de 2010
- [96] P. Uthansakul, K. Attakitmongkol, N. Promsuvana e Uthansakul, "MIMO antenna selection using CSI from reciprocal channel", Int. Journ. Of Elect. And Info. Eng., 2010

## REIVINDICAÇÕES

1. **“SISTEMA DE MÚLTIPLAS ANTENAS (MAS) COM TRANSMISSÕES MULTIUSUÁRIO (MU) (“MU-MAS”)** compreendendo uma pluralidade de estações de base de transceptor sem fios, (BTSs) e/ou um processador centralizado (CP), uma pluralidade de dispositivos de equipamentos do usuário (UEs) e uma pluralidade de estações de radiofarol, uma ou mais informação de estado de canal (CSI) de ligação ascendente (UL) da sinalização ULe caracterizado por uma ou mais pluralidades de BTSs, e estações de radiofarol serem configuradas para enviar uma pluralidade de sinais de treinamento entre BTSs e as estações de radiofarol, em que uma ou mais das pluralidades de BTSs, o CP, e/ou uma ou mais estações de radiofarol processarem a pluralidade de sinais de treinamento para estimar uma pluralidade de coeficientes de calibração de RF, em que uma ou mais da pluralidade de BTSs, o CP e/ou uma ou mais estações de balizas usam a pluralidade de RF de calibração e coeficientes onde coeficientes de calibração para converter UL CSI e obter uma matriz descendente (DL) CSI, um ou mais precoders de um ou mais da pluralidade de BTSs, o CP e/ou uma ou mais estações de radiofarol para usar o DL CSI para pré-codificar sinais de rádio que são transmitidos simultaneamente da pluralidade de BTSs, a pré-codificação para causar rádio deliberado interferência de frequência para criar formas fechadas simultâneas e não interferentes no espaço de sinais sem fio coerentes em torno de uma ou mais antenas de um ou mais dos UEs, e em que o CP deve adaptar o tamanho das formas fechadas no espaço, selecionando diferentes subconjuntos da pluralidade de BTSs.
2. **“SISTEMA”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de uma pluralidade de BTSs ser interligadas no processador centralizado (CP) através da rede de estações de base (BSN) em que um ou mais precoders de um ou mais da pluralidade BTs usam DL CSI para pré-codificar os sinais de rádio.
3. **“SISTEMA”**, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o CP está ciente do DL CSI entre a pluralidade de BTSs e os UEs um

precodificador do CP para usar o DL CSI para pré-codificar dados enviados através dos canais de DL.

4. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que as DL são estimadas UEs e enviadas para as uma ou mais da pluralidade de BTSs.

5. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as DL CSI serem derivados uma ou mais da pluralidade de BTSs a partir das UL-CSI usando calibração de radiofrequência (RF) e explorando a reciprocidade dos canais UL e DL.

6. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela pluralidade dos coeficientes de calibração de RF ser empregada para calcular os pesos de pré-codificação de MU-MAS de DL a partir do canal de UL.

7. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que os pesos de pré-codificação serem calculados para pré-cancelar a interferência entre clientes em todos os UEs.

8. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que os pesos de pré-codificação serem calculados a partir de métodos de pré-codificação lineares incluindo forçagem a zero ou diagonalização de bloco, e/ou inversão de matriz.

9. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que os pesos de pré-codificação serem calculados a partir de métodos de pré-codificação não lineares incluindo codificação bruta, Tomlinson-Harashima, treliças de retícula, e/ou perturbação de vetor.

10. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o agendamento Round-Robin ou agendamento proporcional regular ser usado para garantir desempenho do símbolo de taxa de erro (SER) semelhante para todos os UEs.

11. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que uma ou mais pluralidade do precodificador BTSs e/ou CP alternarem dinamicamente entre técnicas de pré-codificação linear e não linear para

minimizar a complexidade computacional do pré-codificador dependendo de um numero da pluralidade de BTSs e/ou UEs.

12. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a matriz de DL CSI ser obtida por meio do pré-condicionamento das estimativas da matriz do UL com a matriz contendo os coeficientes de calibração RF.

13. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de coeficientes ser obtida a partir de um ou mais canais DL e descendente (UL) entre as os BTSs e a pluralidade de estações de radiofarol.

14. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que um ou mais canais de DL e UL são estimados por meio de sinais de treinamento enviados à partir de/e para uma pluralidade estações de radiofarol.

15. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que das estações de radiofarol compreendem qualquer uma das pluralidades de BTSs

16. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que uma pluralidade de estações de radiofarol compreende qualquer um dos UEs.

17. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a pluralidade as informações de calibração de RF são enviadas a partir de pelo menos uma pluralidade de estações de radiofarois para o CP por meio de um canal de retroinformação fixo ou sem fio.

18. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que as técnicas limitadas de retroinformação baseadas em livro de códigos ou de quantização são empregadas para fornecer retroinformação sobre a pluralidade de calibração de RF da pluralidade de estações de radiofarol para o CP.

19. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o MU-MAS ser uma a rede de Evolução a longo prazo (LTE), os UEs são LTE UEs, a pluralidade antenas distribuída de BTSs são entidades NodeBs aprimoradas por LTE (eNodeBs) NodeB (eNodeB) ou entidades de gerenciamento de mobilidade (MMEsMME), o CP é o gateway LTE (GW) e o BSN é uma interface S1 ou X1.

20. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que um UL LTE sinal de referência de demodulação (DMRS) ou um sinal de referência de som (SRS) ser empregado para estimar o UI CSI a partir de uma pluralidade de UEs para o NodeB NTSS.

21. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que um sinal de referência LTE de célula específica (CRS), e/ou uma demodulação LTE o sinal de referência de CSI (CSI-RS), e/ou um LTE sinal de referência de demodulação (DM-RS) são empregados para estimar o canal DL e UL CSI entre o eNodeB BTSs e a pluralidade de estações de radiofarol usada para calibração de RF.

22. “**SISTEMA**”, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que um canal físico LTE ser usado para fornecer retroinformação sobre os coeficientes de calibração de RF uma pluralidade de estações de radiofarol para o CP.

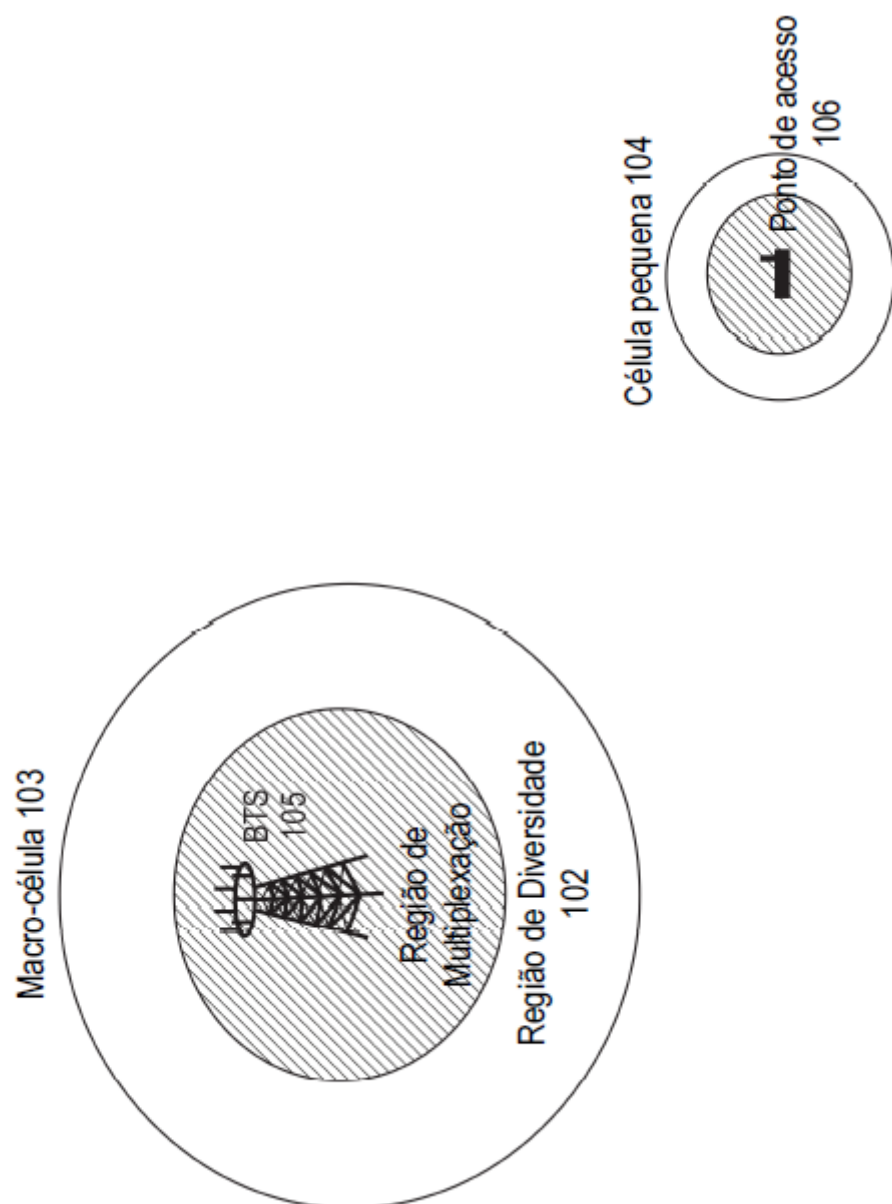
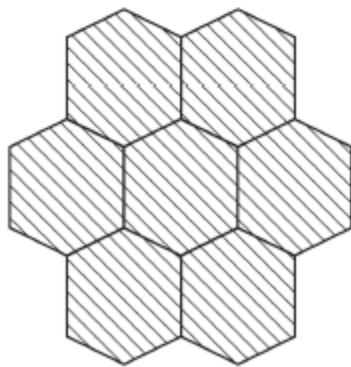
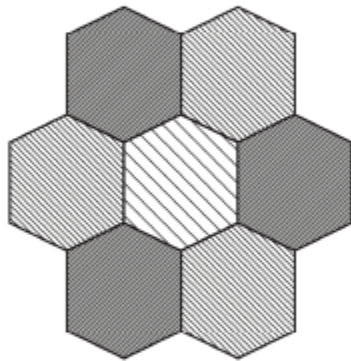


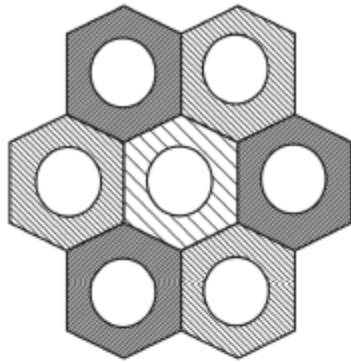
FIG. 1



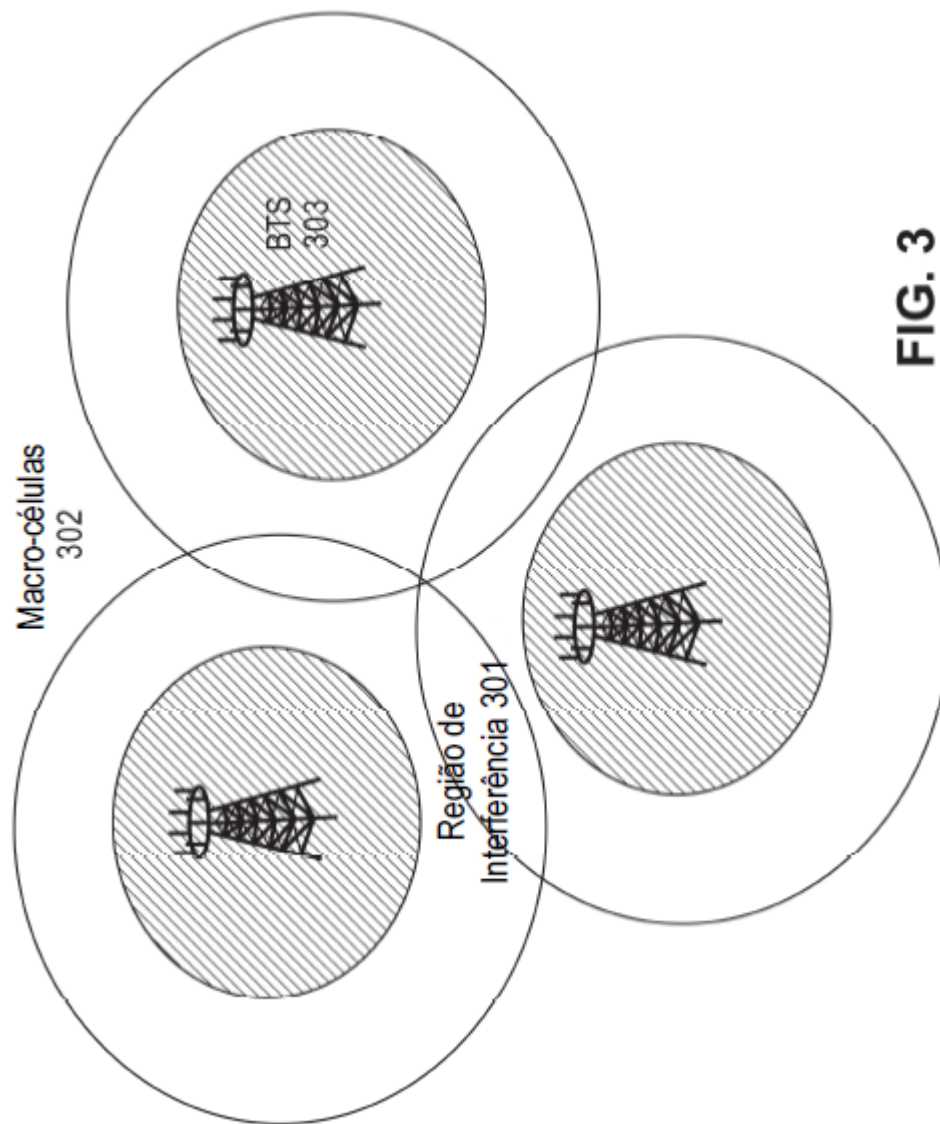
**FIG. 2A**



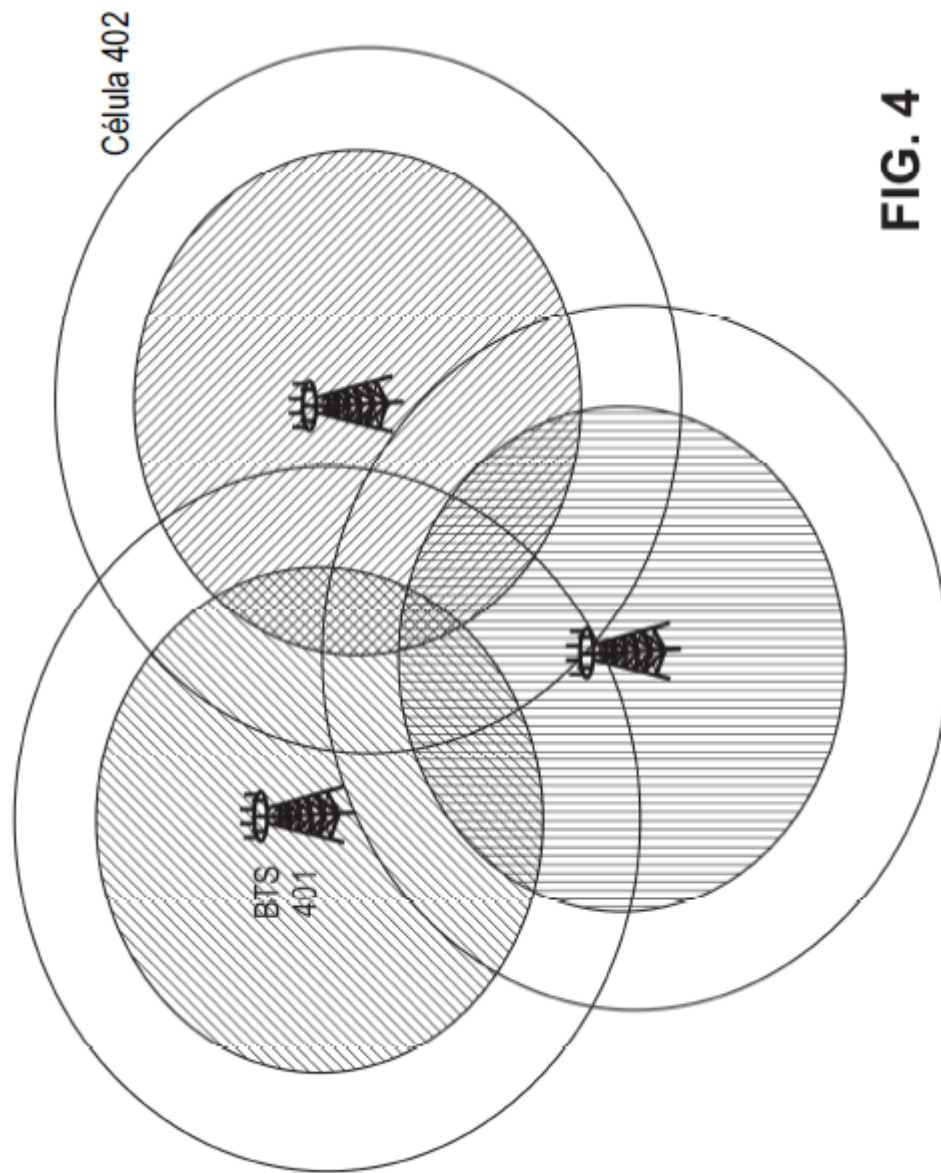
**FIG. 2B**



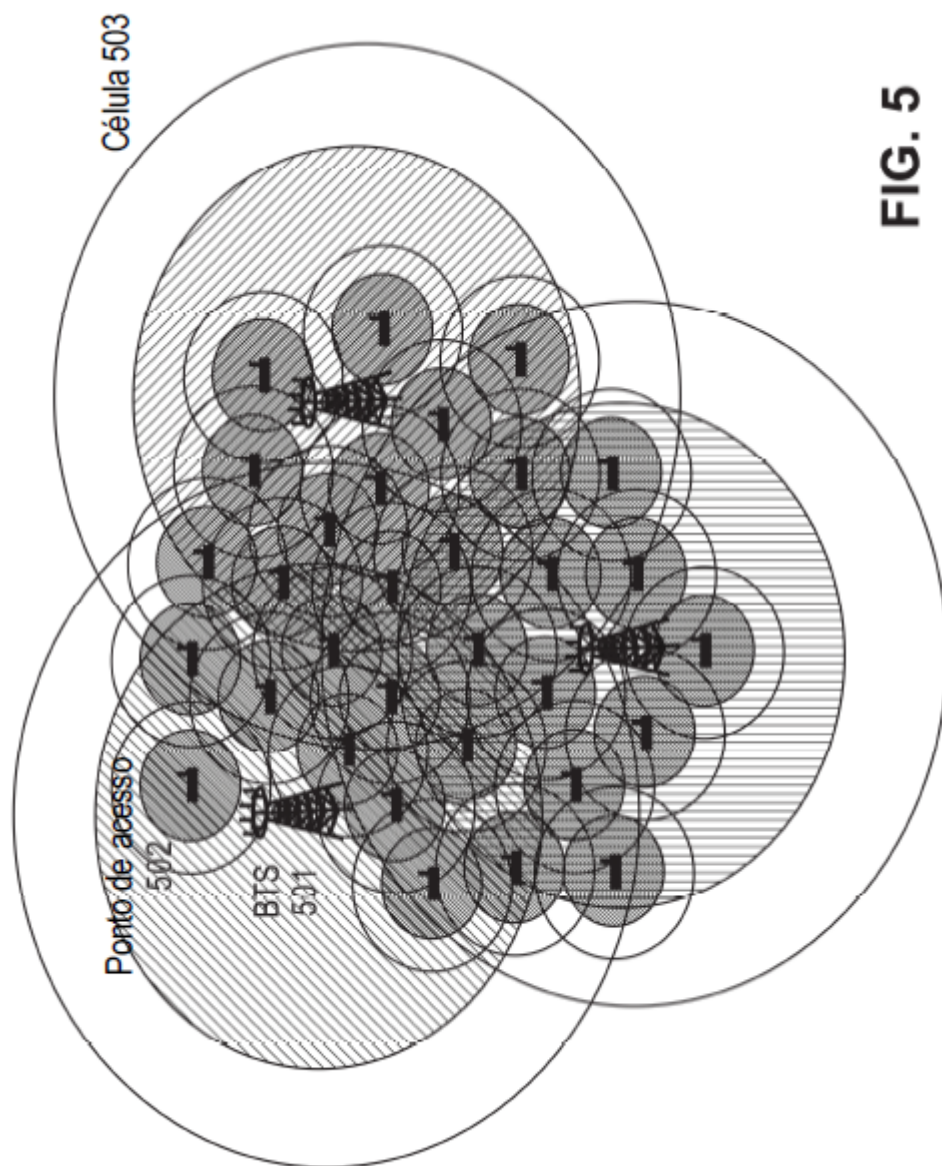
**FIG. 2C**







**FIG. 4**

**FIG. 5**

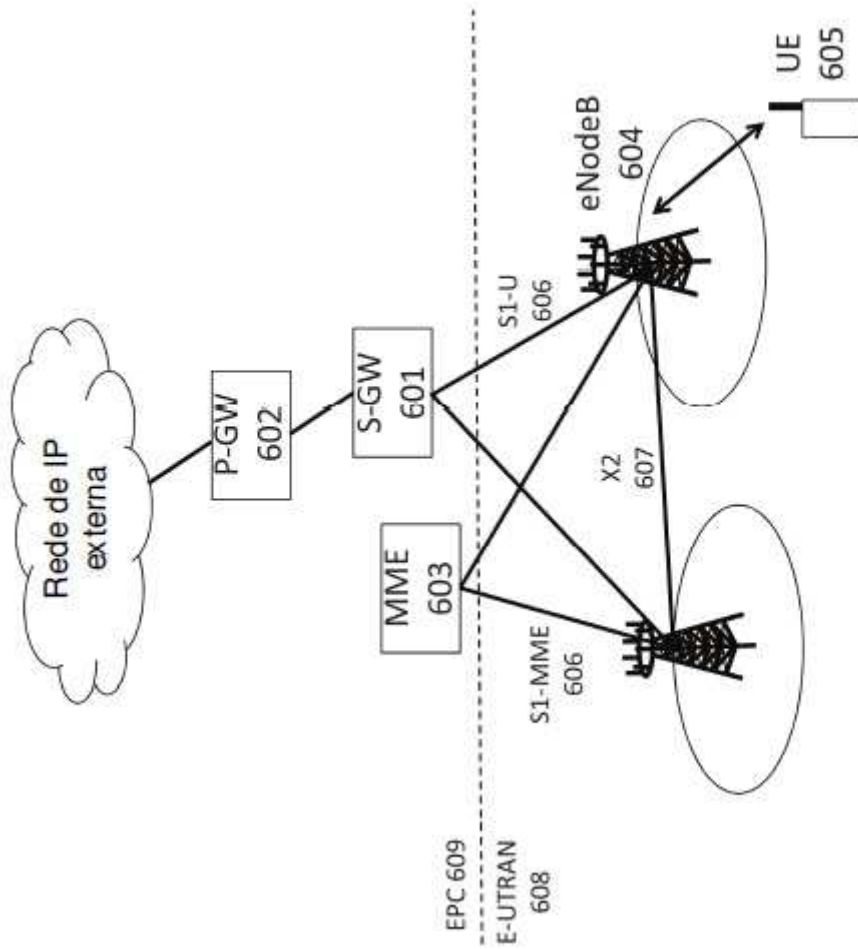


Fig. 6

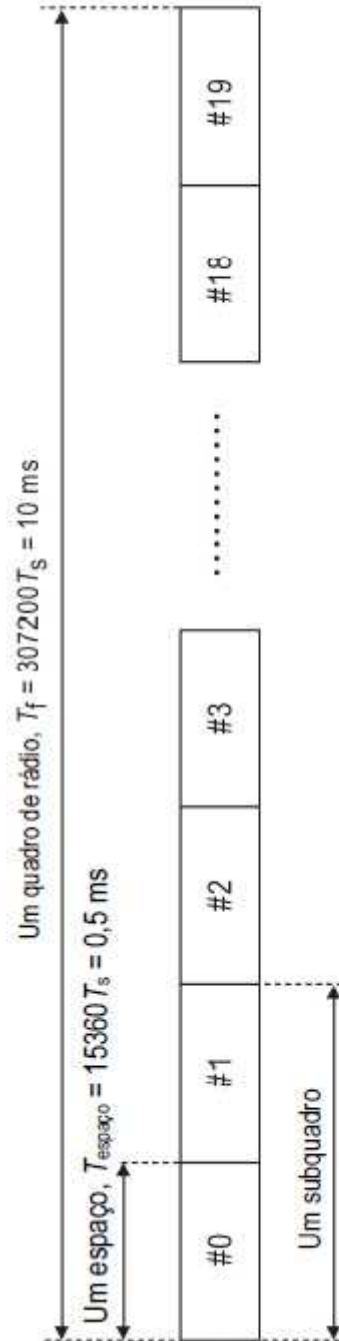


FIG. 7A

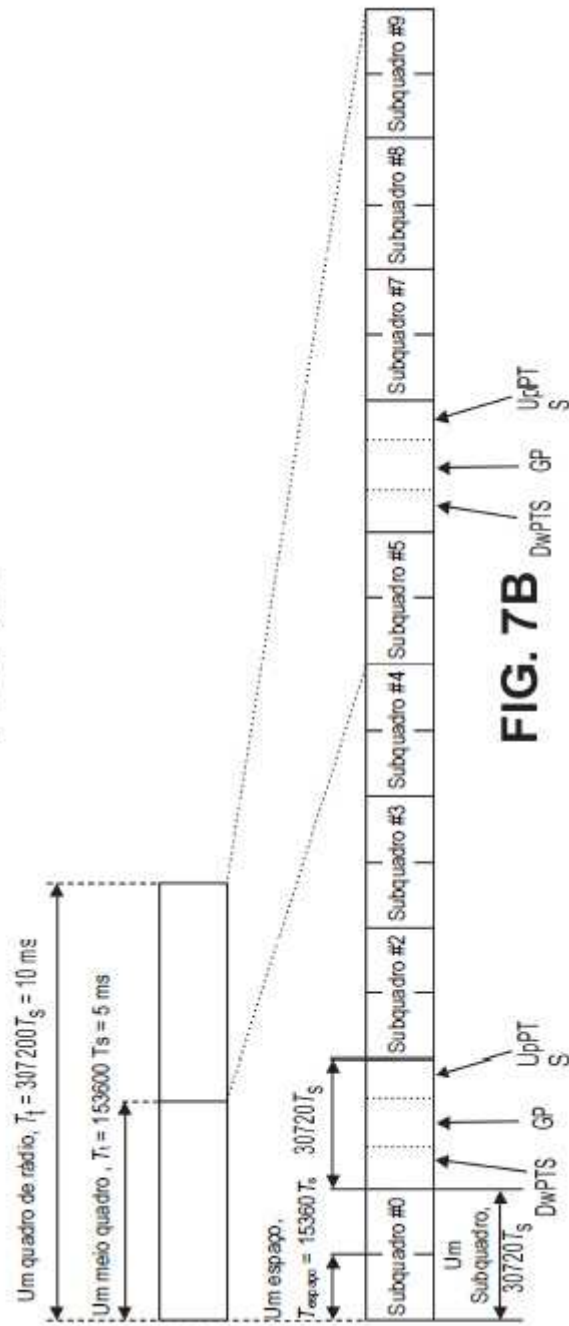


FIG. 7B

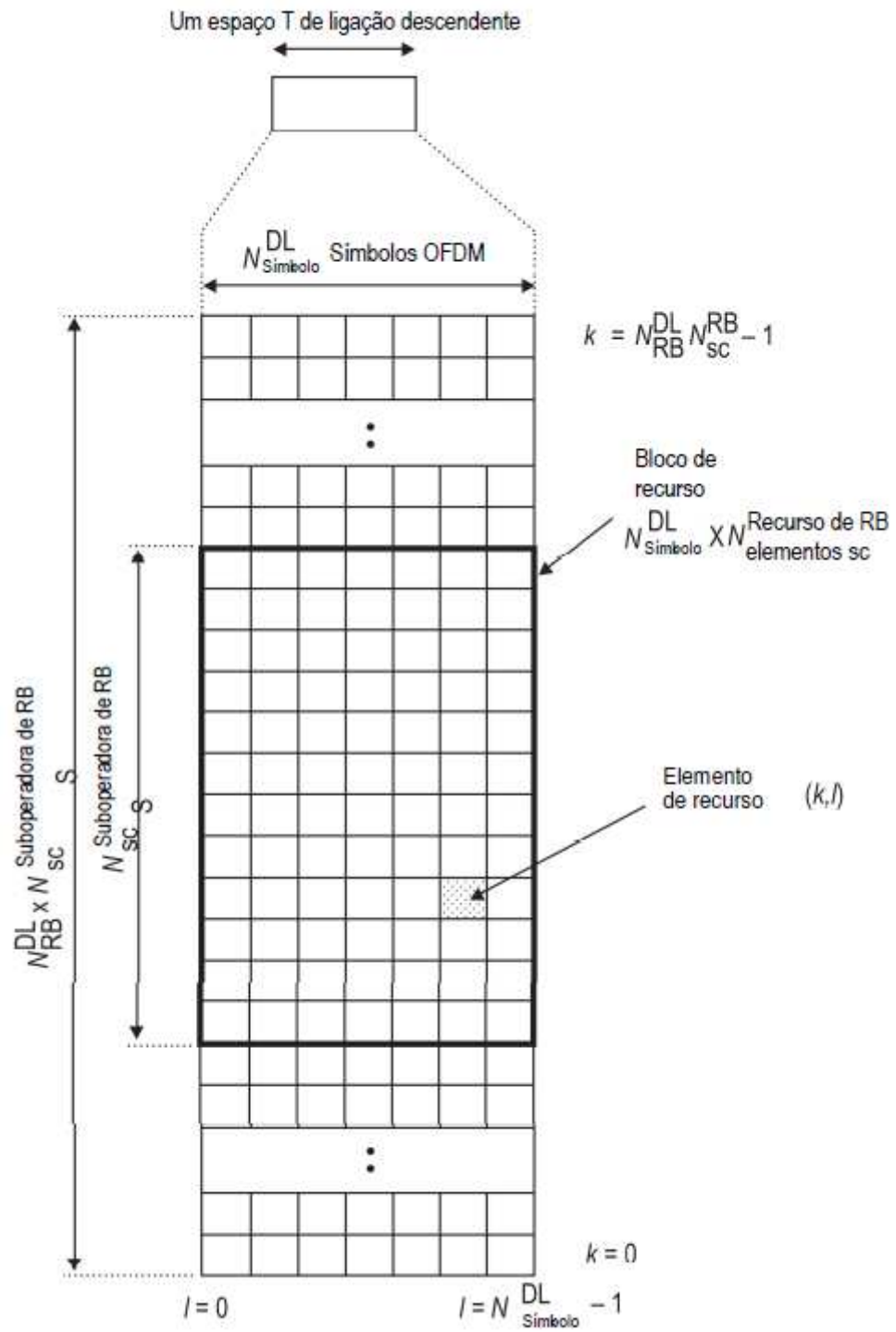


FIG. 8A

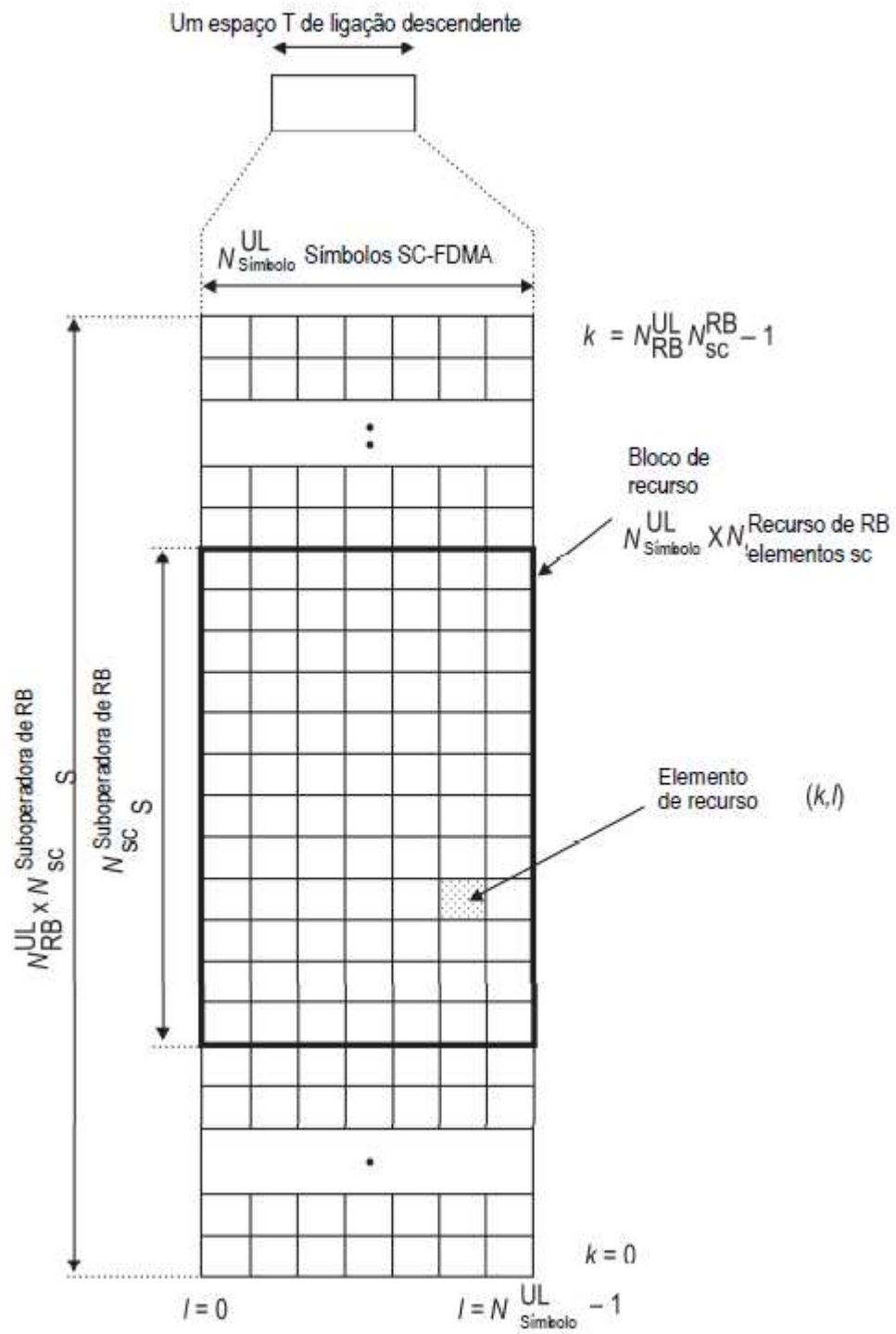


FIG. 8B

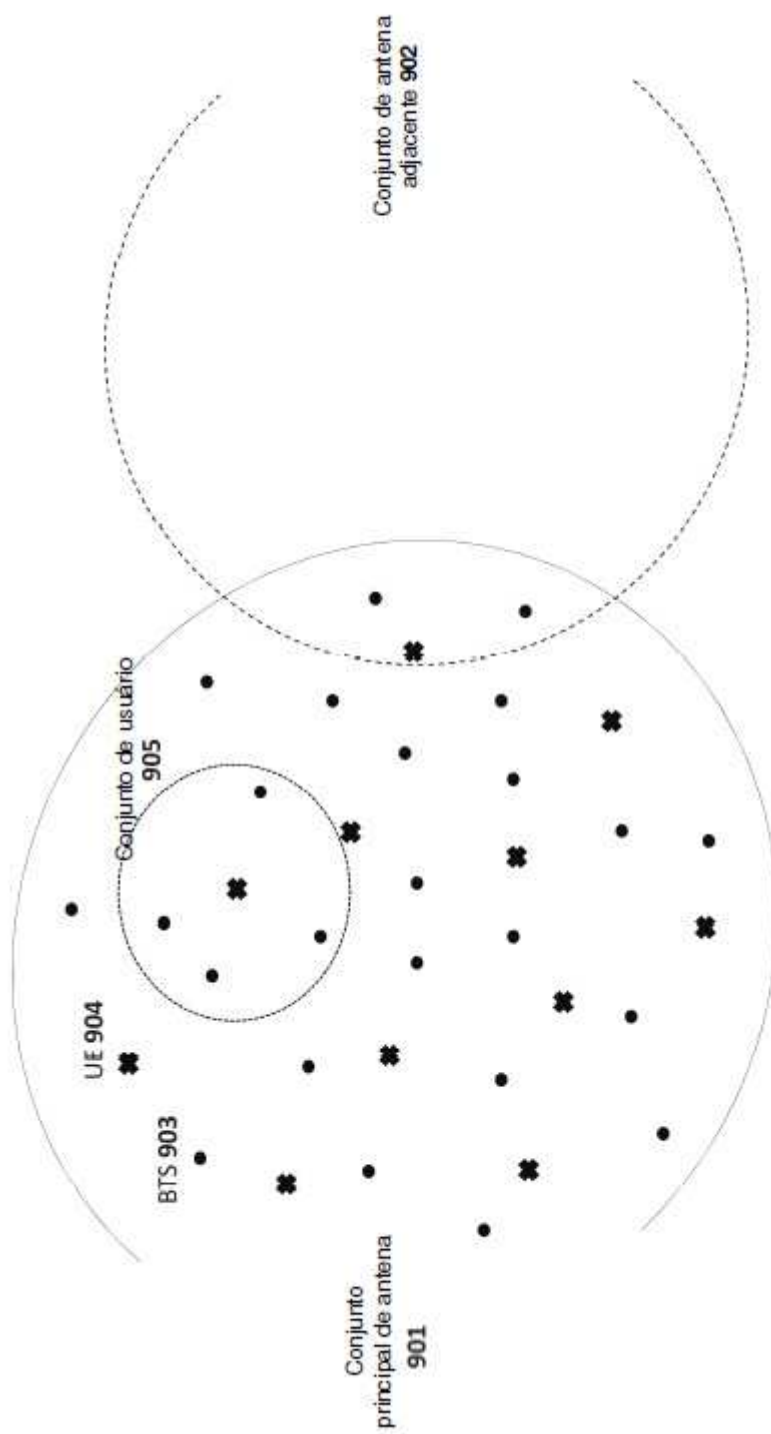
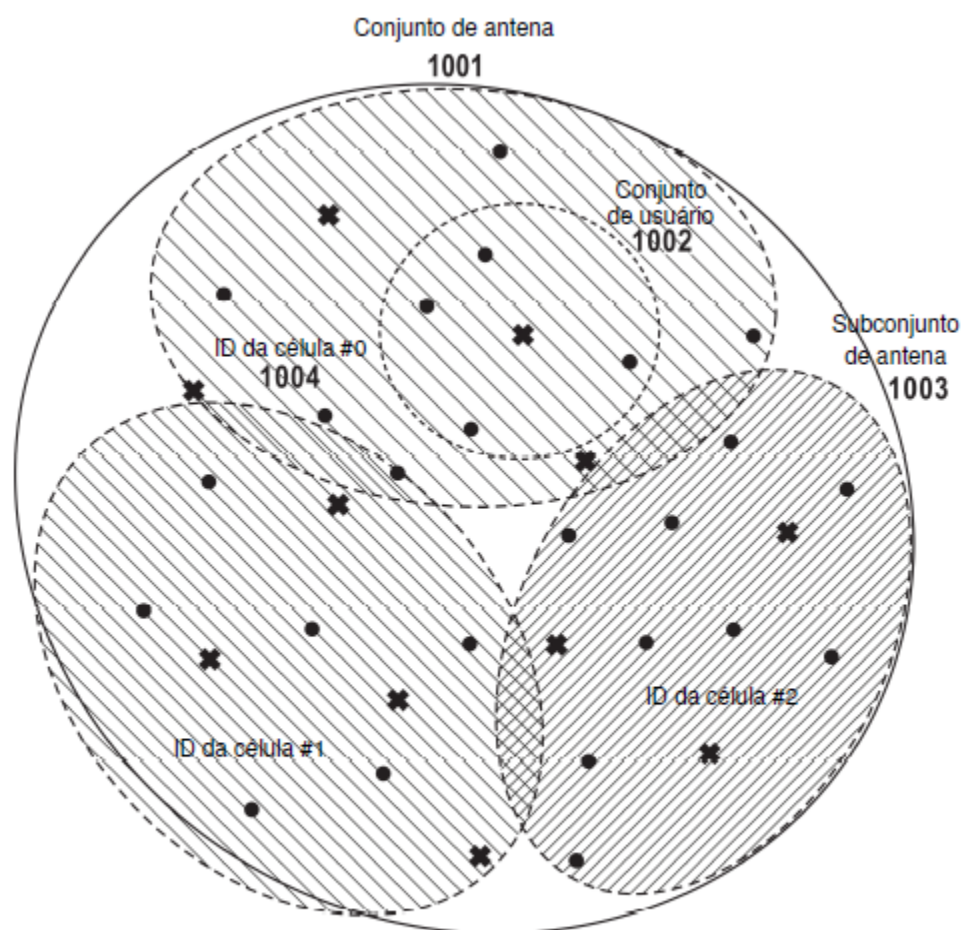
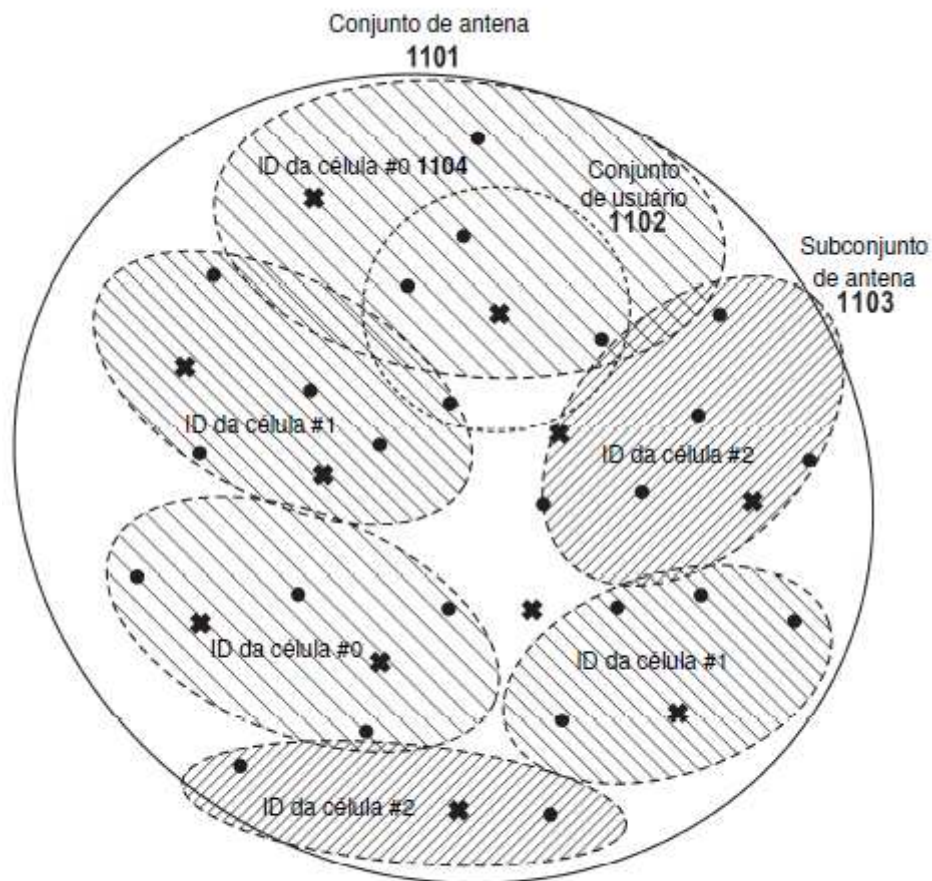


Fig. 9

**FIG. 10**



**FIG. 11**

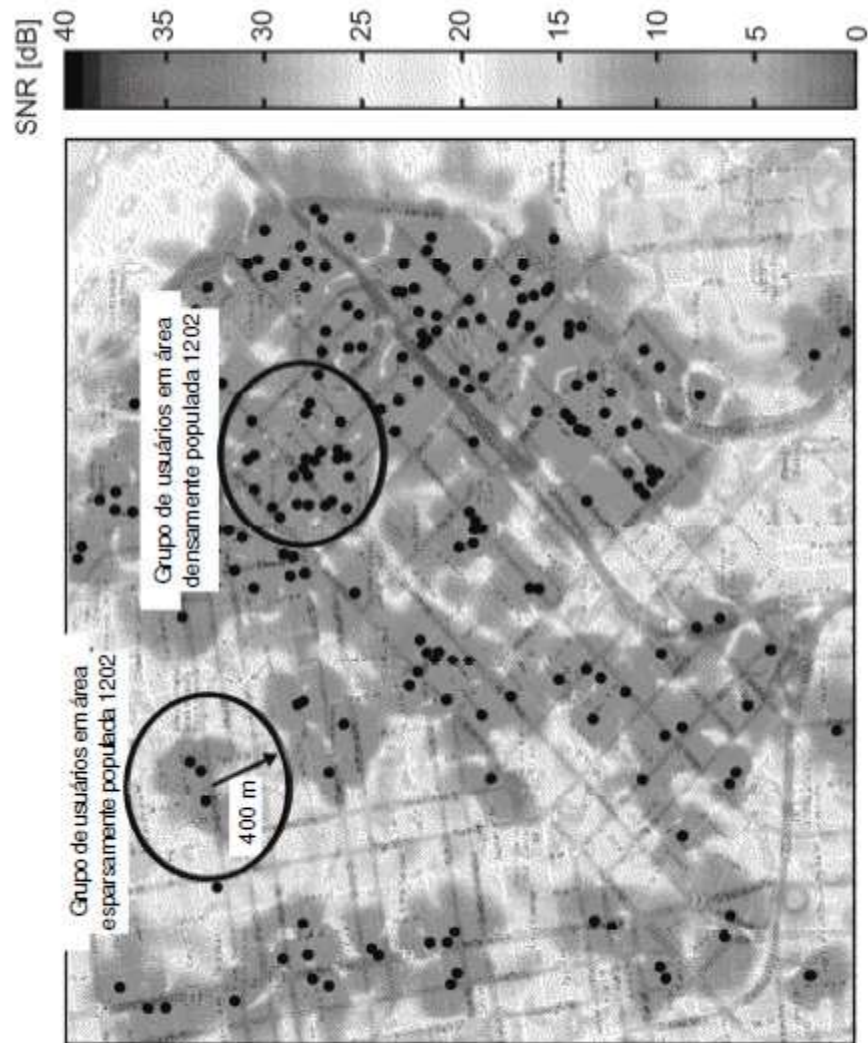


Fig. 12

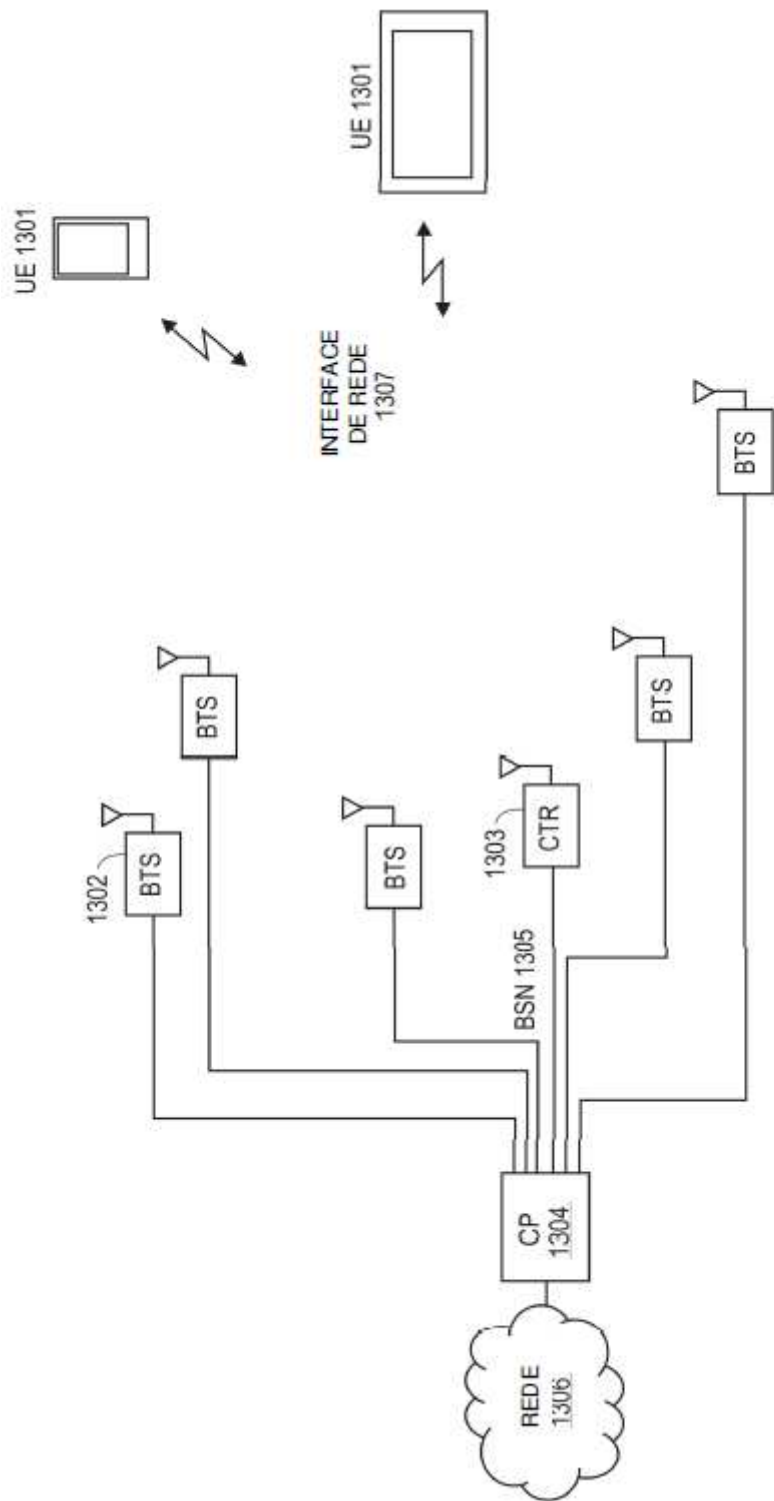
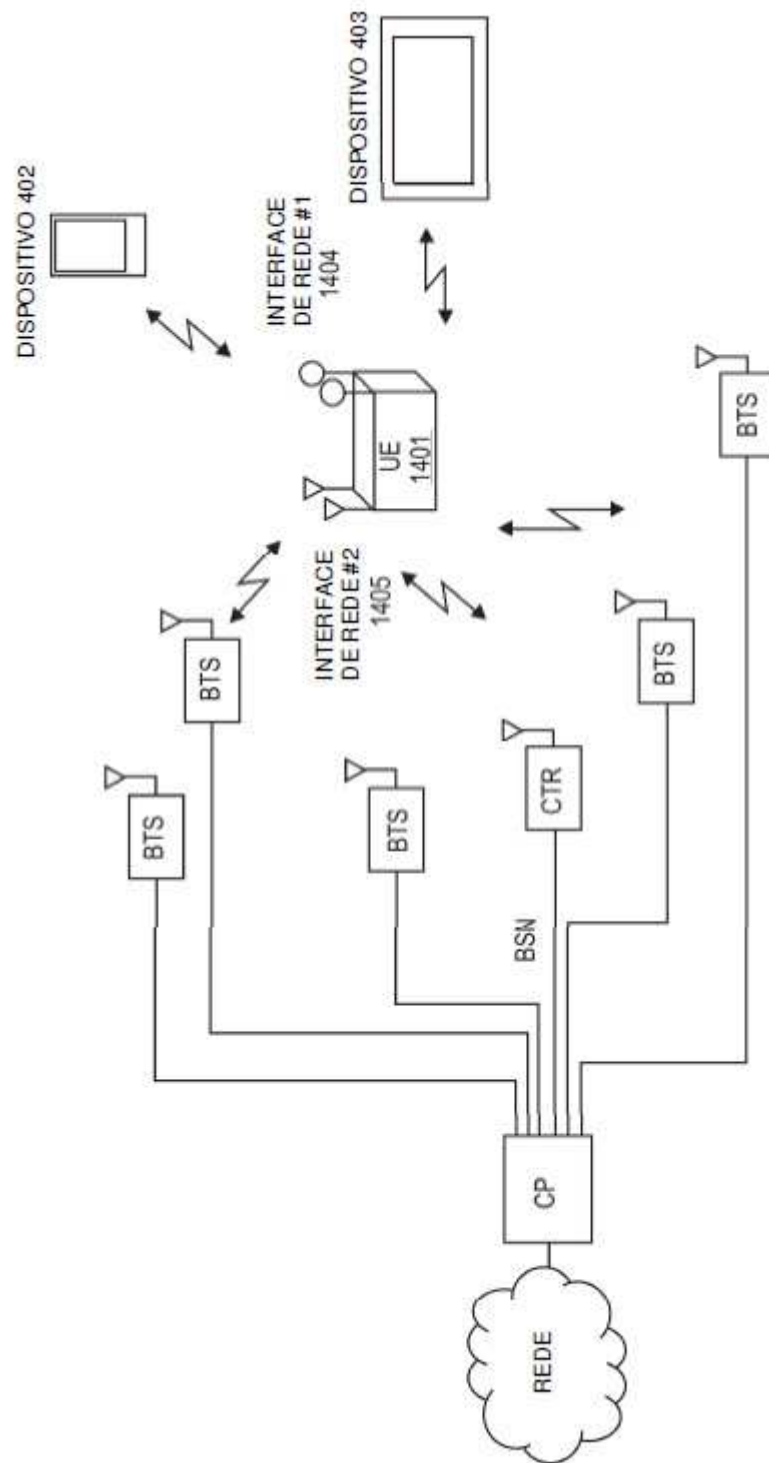
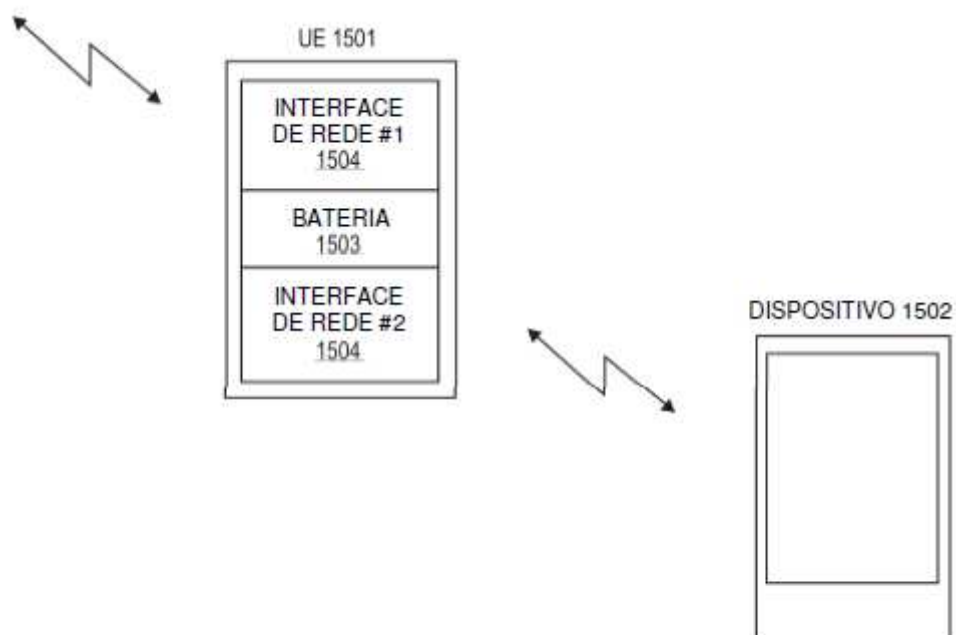


FIG. 13

**FIG. 14**

**FIG. 15**

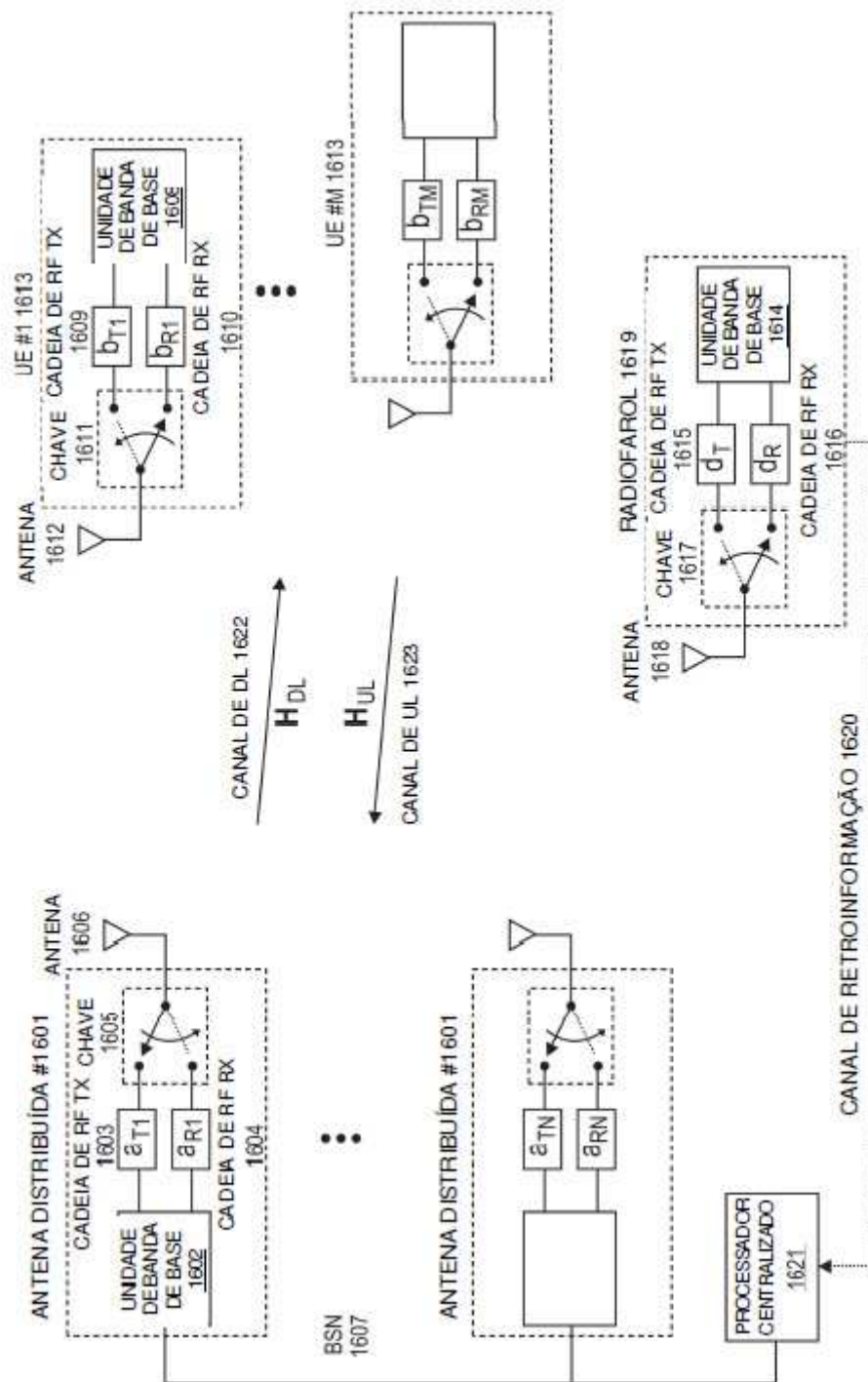


FIG. 16

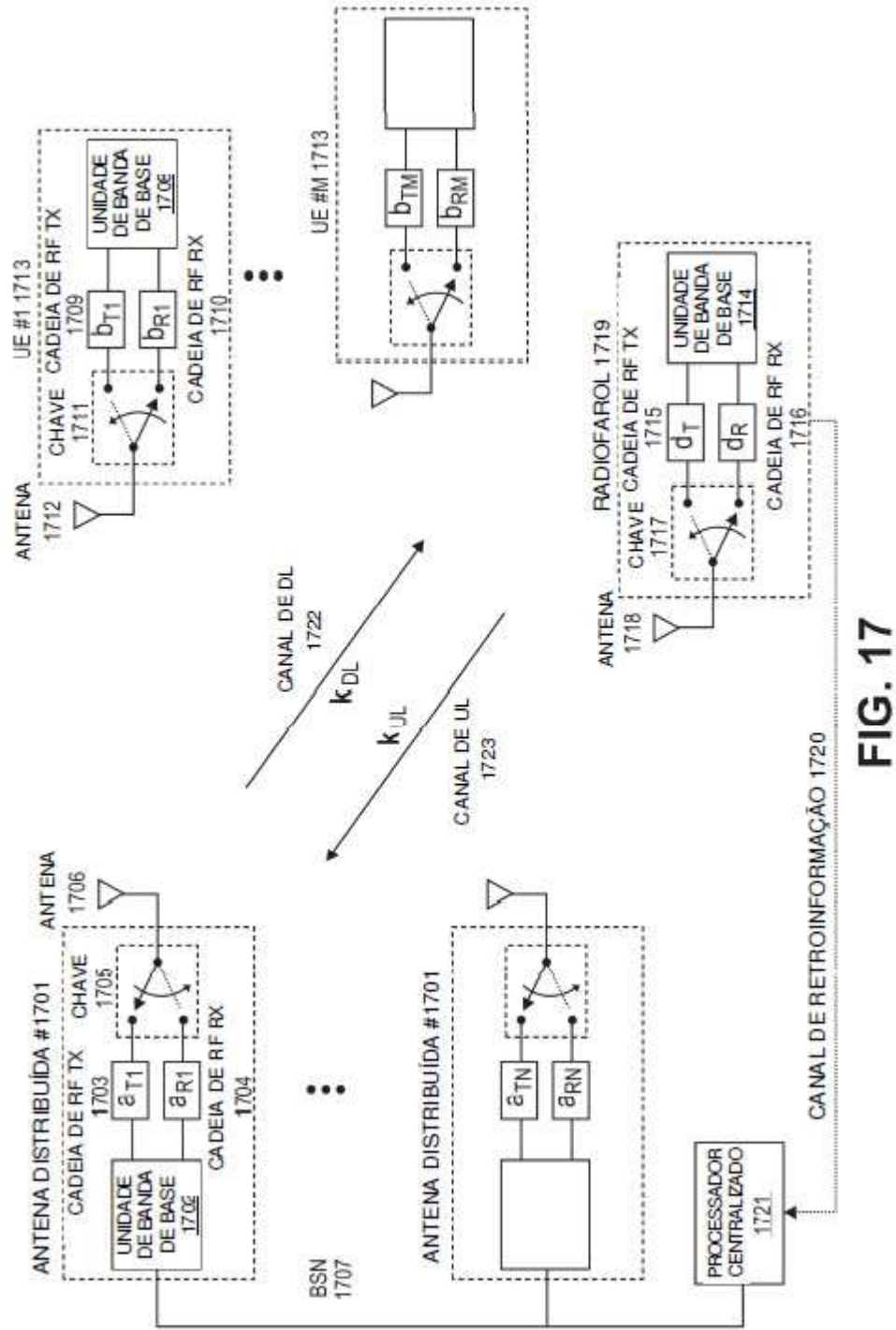
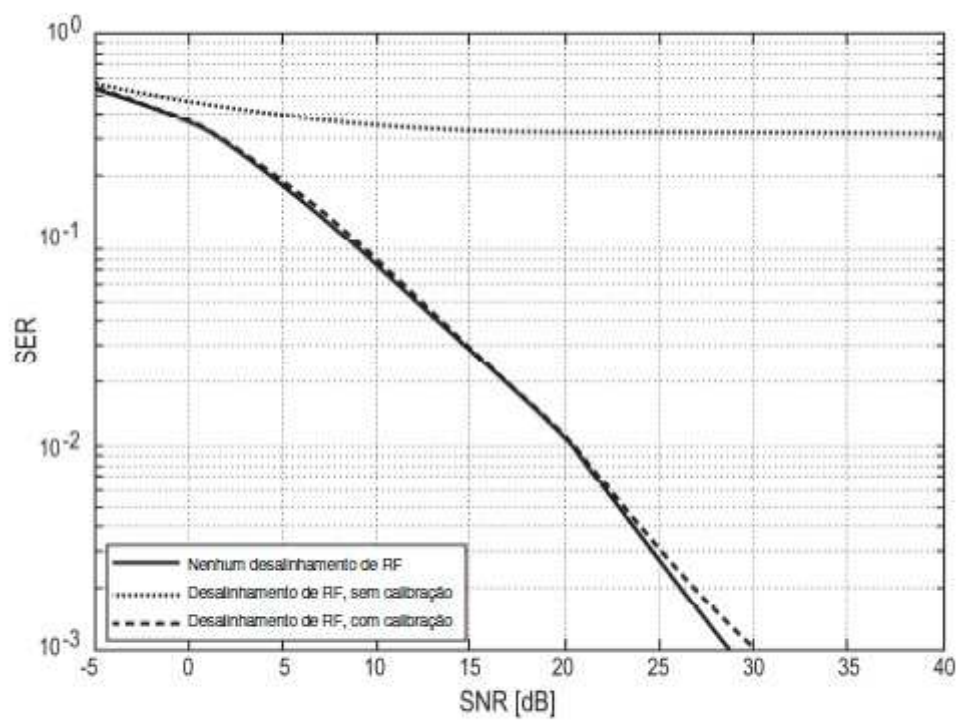
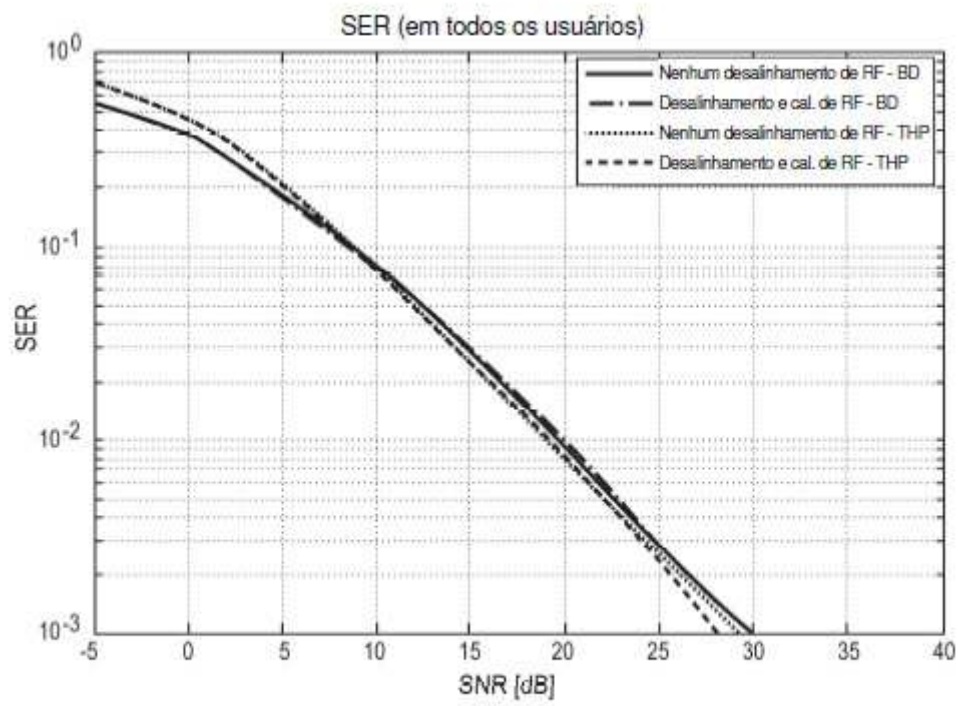


FIG. 17

**FIG. 18**



**FIG. 19**

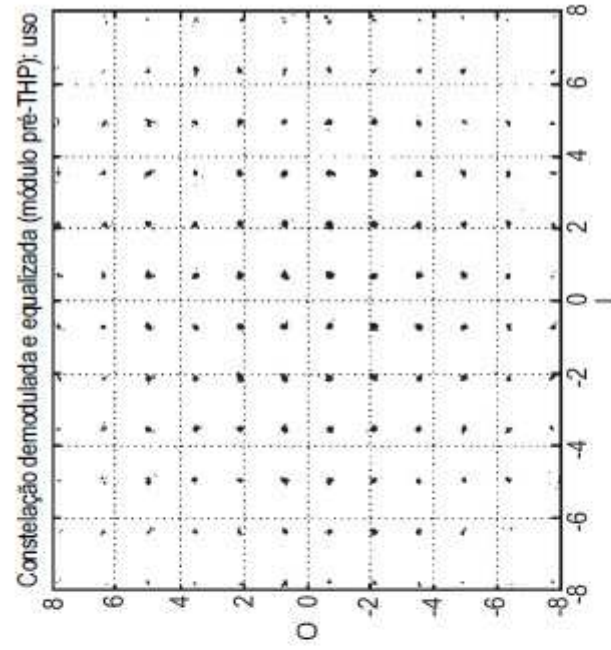


FIG. 20B

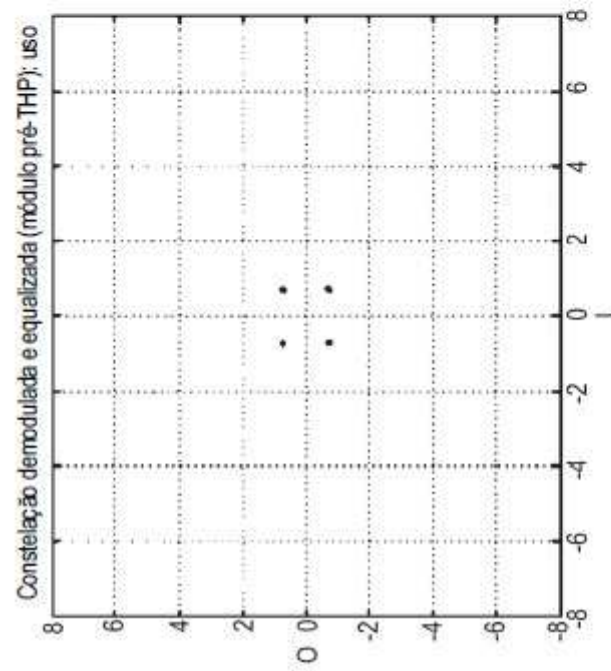


FIG. 20A