

Perspectivas e Desafios para Implantação do LTE 450 MHz em Áreas Rurais

Juliano J. Bazzo, Cristiano B. de Paula, Ralph R. Heinrich, Fabbryccio A. C. M. Cardoso, Luís Claudio P. Pereira e Fabrício L. Figueiredo *

Resumo—Este artigo apresenta o recente esforço de levar o LTE para áreas rurais na banda de 450 MHz. São explorados os aspectos da padronização no 3GPP, motivações e desafios. O cenário brasileiro é assumido como impulsionador para este trabalho, porém as informações apresentadas podem ser aplicadas a outros países.

Palavras-Chave— LTE 450 MHz, Áreas Rurais, Bandalarga.

Abstract— This article presents the recent LTE application in rural areas in 450 MHz band. The motivation, challenges and the recent 3GPP standardizations efforts are explored. The Brazilian scenario is taken as the driver for this work, however, the information presented can be applied in other countries.

Keywords— LTE 450 MHz, Rural Areas, Broadband.

I. INTRODUÇÃO

O LTE 450 MHz surgiu como uma proposta de tecnologia para levar bandalarga e serviços de comunicação para áreas servidas de forma precária, ou mesmo desprovidas de qualquer serviço, como é o caso das áreas rurais e de localidades remotas. Trata-se de um novo perfil da tecnologia LTE (Long Term Evolution), com operação na banda de 450-470 MHz, que provê condições de propagação favorável com raios de cobertura superior ao dos perfis atualmente padronizados no 3GPP.

O esforço para a especificação e desenvolvimento do LTE 450 MHz foi iniciado com foco no cenário brasileiro, onde a implantação dessa tecnologia deve contribuir com o objetivo de prover acesso universal a serviços bandalarga em todo o território nacional, para todo cidadão brasileiro. Isto significa disponibilizar serviços bandalarga em áreas rurais, que abrange grande extensão territorial no Brasil, para uma população da ordem de 30 milhões de pessoas. Com esse propósito, o governo brasileiro recentemente emitiu políticas para endereçar o uso desse espectro de 450 Mhz, e realizou o leilão das licenças de operação em Junho de 2012, baseado na Resolução ANATEL #558/2010. Iniciativas recentes do governo de promover o Plano Nacional de Banda Larga também estão impulsionando o LTE 450 MHz como uma alternativa viável de atender os objetivos deste programa em áreas rurais. Essas ações são complementares, mas provêm condições de alavancar investimentos no setor de telecomunicações, o que auxilia a criar um mercado promissor e importante para esse setor.

Além do cenário de aplicação brasileiro, o LTE 450 MHz está sendo considerado pelo 3GPP (Third Generation Partnership Project) como uma tecnologia global e como uma opção apropriada para implantação de redes 4G em regiões do mundo com baixa densidade demográfica. Para se alcançar esse objetivo, pode ser desafiador a definição de modelos economicamente sustentáveis, particularmente quando a implantação, operação e manutenção das redes são consideradas.

O processo de padronização da banda de 450 MHz para o LTE foi iniciado em setembro de 2012 e aborda vários desafios

relacionados a canalização do spectrum, coexistência com serviços adjacentes, e parâmetros de desempenho de transmissão e de recepção. O objetivo final é permitir cobertura de célula da ordem de dezenas de quilômetros, o que é requerido em cenários carentes de uma infraestrutura apropriada de backhaul e de instalação elétrica.

Este artigo analisa vários aspectos que estão possibilitando o LTE 450 MHz como uma solução estratégica para áreas rurais. Aspectos regulatórios são apresentados e discutidos na Seção II para dar uma perspectiva das oportunidades e riscos que podem surgir desde o licenciamento da faixa em junho de 2012. O esforço de padronização da banda de 450 MHz no 3GPP, essencial para viabilizar essa aplicação em áreas rurais, é apresentado na Seção III. Uma visão geral das discussões técnicas e do status da padronização também é apresentada nessa seção. A Seção IV provê informações mais detalhadas sobre os desafios técnicos que devem ser abordados para se concluir com sucesso a padronização do LTE 450 MHz. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção V.

II. BASE REGULATÓRIA BRASILEIRA

A alocação de espectro e a fiscalização do uso estão sob a responsabilidade da ANATEL desde 1997. A ANATEL é a Agência Nacional de Telecomunicações e uma de suas atividades é a destinação das bandas de frequência para serviços de telecomunicações e de radiodifusão.

Até 2010, as bandas abaixo de 1 GHz eram primariamente destinadas para serviços de voz ponto-a-ponto e ponto-multiponto, radiodifusão de áudio e vídeo, e alguns outros serviços especiais. O Plano Nacional de Banda Larga (PNBL) criado em Maio de 2010, deu origem a um enorme interesse sobre as bandas de UHF, devido a melhor característica de cobertura desta faixa de frequência. Historicamente, desde 1967, a banda mais baixa de UHF, definida no intervalo de 225 MHz a 470 MHz, era alocada para serviços limitados de faixa estreita. A canalização tem tipicamente passos de 25 KHz, sendo que mais recentemente passos de 12,5 KHz foram introduzidos para certas bandas. Agregação de canal foi permitida em algumas bandas para acomodar sistemas analógicos ponto-a-ponto com múltiplas portadoras. Porém, o conceito de alocação bandalarga não surgiu antes de 2010.

Em 2010, a ANATEL decidiu realizar uma segmentação regulatória na banda baixa do UHF e instrumentos regulatórios foram publicados para cada segmento. A Resolução ANATEL 558/2010 estabeleceu a destinação, canalização e requisitos técnicos para o uso da banda de 450 MHz a 470 MHz [1]. Foi a primeira vez que o conceito de bandalarga foi aplicado à banda de UHF. Duas subbandas de 7 MHz foram destinadas para o serviço de acesso banda larga de rádio móvel e fixo. O propósito das duas bandas é o de suportar o serviço através de tecnologias FDD (Frequency Domain Duplex). A destinação é específica para serviços aplicados em áreas rurais, de modo a atender algumas expectativas do PNBL. A banda de 450 a 470 MHz não está destinada exclusivamente para serviços bandalarga. Alguns serviços limitados de banda estreita ainda estão alocados nesta banda em caráter primário. A Figura 1 mostra a alocação de frequências como definida pela regulamentação 558/2010.

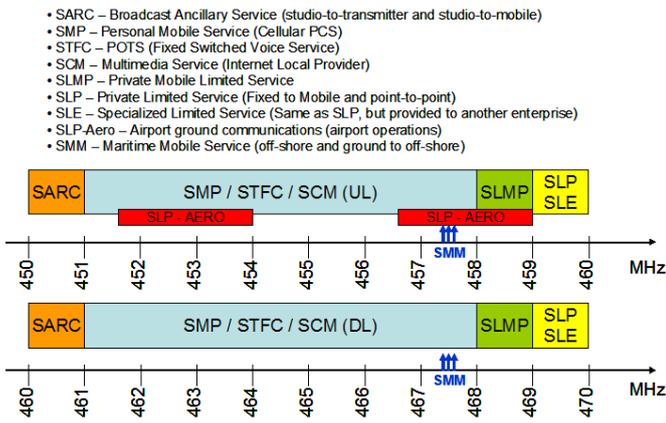


Fig. 1. Alocação de bandas de 450 MHz a 470 MHz de acordo com Resolução 558/2010 da ANATEL.

Como ilustrado na Figura 1, alguma mitigação de interferência e coordenação de serviços devem ser realizados para se obter condições apropriadas para a implantação do serviço bandalarga. A Resolução 558/2010 da ANATEL estabelece a potência efetiva irradiada em 48 dBm para a Estação Rádio Base, e em 30 dBm para o Terminal. A agregação de canal também está estabelecida. Alguns outros requisitos técnicos, como máscara de transmissão e de emissão de espúrios são regulados pela regulamentação de certificação de produtos de rádio.

III. PADRONIZAÇÃO 3GPP

O processo de padronização da banda de 450 MHz foi iniciado pela aprovação de um novo Work Item (WI) durante a Reunião Plenária 3GPP RAN #57, que ocorreu em Chicago (USA) em Setembro de 2012 [2]. O RAN4 definiu o WI como parte do escopo do Release 12, e treze empresas suportaram o novo WI, demonstrando interesse nessa nova padronização: Alcatel Lucent, CPqD, EADS, HiSilicon, Mediatek, NEC, Nokia, Nokia Siemens Networks, Qualcomm Inc., Samsung, Telecom Italia, ZTE e Motorola Solutions.

Desde a reunião RAN4 #64, ocorrida em Qing Dao (China), quando da preparação para abertura do WI consumada em Chicago, quatro reuniões ocorreram: RAN4 #64Bis em Santa Rosa, Califórnia (USA) em Outubro de 2012; RAN4 #65 em Nova Orleans (USA) em Novembro de 2012; RAN4 #66 em Malta em Janeiro de 2013; e RAN#66Bis em Chicago em Abril de 2013. Nessas reuniões, foram estabelecidas as Especificações Técnicas para inclusão das mudanças necessárias à acomodação da nova banda de frequência. Outros itens apresentados foram tratados em documentos que definem o modelo para o Relatório Técnico final, que proverá informações para futuros *Change Requests* (CR). Estes CRs deverão ser aplicados às especificações atuais. A Resolução #558 da ANATEL, assim como outros cenários regulatórios relevantes, foram adotados como referência para a análise de coexistência também tratada nas reuniões citadas., nas quais foi apresentado para discussão e aprovação, um

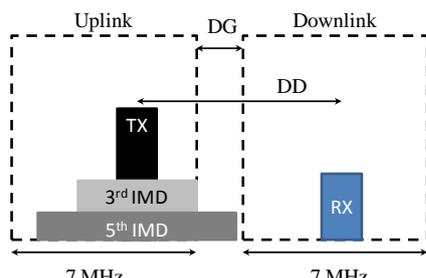


Fig. 2. Ilustração de Duplex Distance (DD), Duplex Gap (DG) and TX and RX de um UE para as bandas alocadas pela Res. 558, incluindo os produtos de intermodulação do transmissor.

montante total de 15 documentos.

Na última reunião em Chicago (RAN4 #66Bis), concluiu-se a análise de coexistência com serviços de bandas adjacentes [3][4][5][6][7][8]. Cumprindo o primeiro passo, mandatório para a definição das características do transceptor do Terminal e da ERB destinados à operação na nova banda de frequência. O principal objetivo da próxima reunião é o estabelecimento de um consenso final para a configuração da banda (*band arrangement*).

IV. DESAFIOS

Esta seção apresenta os principais desafios para se ter a tecnologia LTE na banda de 450 MHz.

A. Front-End de RF

A banda alocada para o serviço banda larga em 450 MHz consiste em 7 MHz para o *uplink* (451-458 MHz) e 7 MHz para o *downlink* (461-468 MHz). Essa banda tem apenas 3 MHz de espaçamento duplex (DG – Duplex Gap) e 10 MHz de distância duplex (DD – Duplex Distance), o que impõe desafios importantes para o projeto do front-end de tal sistema FDD. Isto ocorre devido a separação entre as frequências inferiores do *downlink* e do *uplink* e a necessidade de alta isolamento entre a saída do transmissor e a entrada do receptor no front-end de RF, como mostrado na Figura 2. Isto é empregado para mitigar problemas de *self-desense* [9].

Os produtos de intermodulação de quinta ordem do transmissor tem largura de banda 5 vezes maior que a banda de transmissão do sinal (TX), e os produtos de intermodulação de terceira ordem tem largura de banda três vezes maior. Considerando o sinal LTE com largura de banda de 5 MHz e distância duplex de 10 MHz, os produtos de intermodulação de quinta ordem sobrepõem com o canal do receptor e os de terceira ordem ficam adjacentes, o que é um cenário bastante distinto das bandas onde o DD é bem maior, como ocorre na Banda 7 do 3GPP.

Para fins de comparação, considere a Banda 7 que possui distância duplex de 120 MHz, que é 12 vezes maior que a da banda de 450 MHz. Neste caso, os espúrios do transmissor que sobrepõem com canal do receptor correspondem apenas ao *Noise Floor* do transmissor e não aos produtos de intermodulação. Este é o ponto central que torna o 450 MHz a banda mais desafiadora proposta até o momento, tendo em vista que é a banda com a menor DD sob análise pelo 3GPP [1][10][11].

Por exemplo, o ruído térmico (noise floor do TX) é de -107,5 dBm para uma largura de banda de 5 MHz, e considerando a figura de ruído do receptor de 9 dB, uma desensibilização de 1 dB irá ocorrer para um ruído adicional de apenas -104 dBm. Deste modo, o duplexador precisa ser projetado para filtrar o ruído do transmissor que cai na banda de recepção. Esse processo de desensibilização causada pelo próprio transmissor é denominado de *self-desense*.

Considerando uma ERB com potência de saída máxima de +40 dBm, e um cenário de pior caso quando a ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio) é de +45 dBm para um offset de frequência de 10 MHz [9], então tem-se -5 dBm de ruído no canal do receptor. Neste caso, a isolamento TX/RX do duplexador deve ser pelo menos de 99 dB de modo que se tenha 1 dB de *desense* com máxima potência de transmissão.

No caso de um terminal (UE – User Equipment) com potência de saída máxima de +23 dBm, e um cenário de pior caso com ACLR de 34,8 dB no canal do receptor (estimado da especificação $UTRA_{ACLR2}$ compensada para largura de banda de 5 MHz [12]), a isolamento TX/RX do duplexador corresponde a 92 dB.

Desde que se possa utilizar técnicas de pré-distorção ou de linearização para se reduzir o *re-growth spectral* e melhorar a

ACLR, tem-se então a possibilidade de se utilizar um duplexador com mais baixa isolamento TX/RX. Isso se for considerado apenas o *self-desense* e não o TX *blocking*. Infelizmente, essas condições não se aplicam ao UE devido a restrições de custo, e a única opção disponível para o projetista é aumentar o *back-off* do amplificador de potência, penalizando-se a eficiência do dispositivo. De fato, essa estratégia possibilita melhorar a ACLR e reduzir os produtos de intermodulação que se sobrepõem ao canal de RX, flexibilizando os requisitos de isolamento TX/RX.

Para uma ERB, tamanho e peso não são tão críticos como no terminal e duplexadores de cavidade podem ser utilizados, o que viabiliza isolamentos da ordem de 99 dB. Entretanto, para o UE, onde é mandatório a miniaturização dos componentes e minimização de custos, o duplexador tipicamente utiliza tecnologia SAW. Neste caso, a isolamento típica é apenas de 55 dB para os duplexadores encontrados no mercado. Projetar um *front-end* com solução de filtros que resultem em 92 dB de isolamento TX/RX não é uma tarefa fácil, e preocupações com a perda de inserção das seções de filtragem são pertinentes. Uma vez que a perda de inserção torna o UE menos eficiente e, conseqüentemente, requer que o amplificador opere com alta potência de saída, o resultado pode ser uma ACLR ainda pior. Uma opção, já empregada no 3GPP, é relaxar a especificação de sensibilidade de referência do UE, que permita uma certa degradação de sensibilidade devido ao *self-desense* [8], com o objetivo de se obter uma boa relação de compromisso entre desempenho e complexidade dos circuitos.

Em resumo, os desafios impostos pela baixa separação de frequência entre as bandas do uplink e do downlink são maiores no projeto do UE do que no da ERB, sendo que o *front-end* do transceptor deve requerer uma boa relação de compromisso entre desempenho e complexidade.

B. Largura de Banda

O LTE suporta uma configuração bastante flexível de largura de banda. Para as bandas FDD de 7 MHz, disponibilizadas pela resolução #558/2010 da ANATEL, há inúmeros possíveis arranjos de frequência para utilização dessa banda, considerando as opções de largura de banda do LTE para essa faixa que são de 5, 3 e 1,4 MHz. O número de possíveis arranjos pode ser ainda maior se agregação de portadora também for considerada.

Entretanto, arranjos de frequência apropriados devem ser identificados para lidar com problemas específicos do LTE 450 MHz no Brasil, tais como coexistência com sistemas existentes em canais adjacentes. Problemas de implementação relativos ao *gap* duplex e a separação TX/RX também precisam ser considerados ao se definir a melhor acomodação do LTE nessa banda. Adicionalmente, o ecossistema global legado para essa faixa deve ser levado em conta para garantir compatibilidade com o arranjo de bandas considerados em alguns países que empregam o CDMA 450 MHz, visando construir mais rapidamente uma cadeia industrial para o LTE.

Discuções iniciais no WI apontaram que o espaçamento duplex de 3 MHz é muito difícil de ser implementado, especialmente no lado do UE. Todos os arranjos do LTE considerados na banda pressupõem espaçamento de pelo menos 5 MHz, o que restringe o número de possíveis disposições do LTE.

Para citar um exemplo, considere o LTE com largura de banda de 5 MHz. Se o LTE for centralizado na banda de 7 MHz, então a frequência central do uplink e do downlink seriam de 454,5 MHz e de 464,5 MHz, respectivamente. Com esse arranjo, o DD é de 10 MHz e o espaçamento duplex (máxima frequência do uplink de 457 MHz menos a mínima frequência do downlink de 462 MHz) é de 5 MHz.

Ao se considerar também vazão de dados, como mostrado na Tabela I, arranjos de banda para largura de banda de 5 MHz é a opção mais cogitada. A vazão útil de dados (Throughput) na camada física é um parâmetro importante a ser considerado, tendo em vista que o objetivo principal é prover bandalarga para o usuário final, especialmente para células de grande extensão (15-30 Km) são consideradas. De fato, é importante destacar que essa vazão de dados é compartilhada na célula. Entretanto, estudos com 3 MHz de largura de banda ainda estão sendo conduzidos como uma solução alternativa para mitigar problemas de implementação do duplexador, principalmente no lado da estação móvel.

Se for considerado reuso de frequência maior do que 1, apenas arranjos com largura de banda de 1,4 e 3 MHz podem ser utilizados, o que pode ser benéfico para mitigar problemas de interferência co-canal. Entretanto, essa é uma opção que prejudica a eficiência espectral da solução. Além disso, o LTE oferece soluções mais sofisticadas baseadas em técnicas de ICIC (Inter Cell Interference Coordination) que possibilitam reuso 1 próximo a ERB e reuso fracionário na borda da célula. Arranjos com 1,4 MHz são menos prováveis devido a baixa vazão de dados que se pode alcançar com essa largura de banda.

C. Backhaul

Latência é um fator importante que pode afetar a experiência do usuário no uso de certos serviços banda larga. Há vários componentes que afetam a latência final no plano de usuário. Há a latência que depende da tecnologia de acesso de rádio, e que no LTE engloba a E-UTRAN (rede de acesso) e a EPC (núcleo da rede). Há também as latências decorrentes do backhaul de agregação e da rede de transporte, que conecta os nós da E-UTRAN aos da EPC. Além disso, têm-se latências entre a EPC, especificamente o PCRF e o P-GW, com a rede de serviços e a Internet, respectivamente.

No que diz respeito ao plano de usuário a latência é um parâmetro considerado na gerência de QoS e *Scheduling*. através das categorias de QoS (QCI – QoS Class Identifier) São definidos através da gerência de QoS, atrasos de pacote fim-a-fim que podem variar de 100 a 300 ms. Quanto ao plano de controle, o valor de referência é estabelecida pelo ITU é de 100 ms [13].

TABELA I. THROUGHPUT MÁXIMO PARA MODO TX SISO

Bandwidth (MHz)	Maximum Throughput (Mbps)	
	Downlink (64-QAM)	Uplink (16-QAM)
1.4	4.392	2.600
3.0	11.064	6.456
5.0	18.336	10.680

Uma vez que as trocas de mensagens de sinalização no plano de controle estão confinadas entre a E-UTRAN e a EPC, especialmente através da interface S1-MME, melhorias de desempenho podem ser efetivamente alcançadas pela redução na distância e no número de nós intervenientes que conectam esses dois segmentos. De fato, em um cenário de implantação rural, essa estratégia é mandatória, e devido às longas distâncias envolvidas, as conexões entre nós da E-UTRAN e uma EPC centralizada podem ser implementadas empregando-se tecnologias variadas, incluindo até mesmo enlaces satelitais de alta latência.

Deste modo, para este cenário de aplicação, a implantação distribuída da EPC, onde as entidades do plano de controle são colocadas tão próximo quanto possível da E-UTRAN, torna-se uma solução alternativa de topologia, bastante interessante e eficiente.

D. Antena

Células extensas, mesmo na banda de 450 MHz, também impactam o desenvolvimento de antenas para sistemas ponto-multiponto, particularmente para cenários rurais. Os desafios no projeto das antenas são mais restritivos no lado da ERB, que deve assumir requisitos de ganho, diagrama de radiação, complexidade de implementação, com boa relação custo-eficácia e mantendo a facilidade de instalação. Por exemplo, para se obter ganhos maiores que 16 dBi, arranjos de antena diretas comerciais na faixa de frequência de interesse têm tipicamente 2 metros ou mais de comprimento. Adicionalmente, há ainda requisitos de conformidade com normas de certificação da ANATEL [14]. Estes requisitos incluem vários itens, tais como, padrão de radiação dos lóbulos laterais relativamente ao ganho, variações de ganho na banda de frequência de operação, relação frente-costa, máximo VSWR e discriminação de polarização cruzada.

Para uma célula omni ou setorial, considerando uma cobertura de dezenas de quilômetros, um padrão de radiação, no plano de elevação, com preenchimento de nulos é altamente desejável. Adicionalmente, isto pode ser melhorado ainda mais pela implementação, por exemplo, de um padrão de potência radiada, que seja uma função cossecante quadrática aplicada ao ângulo de elevação. Esta solução tem a vantagem de prover uma intensidade de sinal mais uniforme ao longo de toda a área de cobertura, evitando situações em que as direções de visada direta com o terminal possam ocorrer em nulos do padrão de radiação da ERB, implicando também numa redução da necessidade de realização de ajustes (*tilt*) do apontamento da antena [15][16].

Mesmo assim, um bom projeto para esse tipo de solução é desafiador. Deve-se satisfazer uma largura da banda relativa da ordem de 4,3% para manter o desempenho desejado. Além disso, ao contrário de um arranjo planar de ganho máximo uniforme, potência e a fase dos elementos primários do arranjo têm variações significativas ao longo da abertura.

Outro aspecto importante, embora questionável, é a eficiência do MIMO em ambientes rurais, uma vez que esse ambiente não provê uma diversidade rica de percursos e que as antenas podem ser instaladas bem acima do plano do solo. Entretanto, em algumas condições de implantação, ganhos de diversidade podem ser obtidos nos enlaces mais longos. Isto ocorre mais devido ao efeito do desvanecimento de longo prazo, decorrente de mudanças nas condições de propagação atmosférica, por exemplo ao longo do dia. Neste caso, para se obter ganhos de diversidade significativos, antenas com polarização simples instaladas em diferentes alturas é a solução usual.

Para o terminal e para a ERB, as duas soluções mais usuais são arranjos lineares de elementos, como a Yagi, e arranjos planares do tipo microstrip, respectivamente. As implementações devem ser robustas e providas de recursos que tornem mais fácil os ajustes de apontamento e a instalação. Especificamente para o terminal, medidas de campo indicam que pode ser útil a implementação de antenas duplamente polarizadas ou circularmente polarizadas, particularmente visando a utilização em enlaces de grande distância.

E. Cobertura

As características de penetração e de propagação do espectro de 450 MHz são fundamentais para viabilizar os serviços bandalarga, baseados em LTE, com custo otimizado em regiões rurais e suburbanas; é importante destacar que esses serviços incluem serviços de voz fixa e móvel, para garantir também o acesso universal a uma infraestrutura básica de telecomunicações. Com células de grande extensão, pode-se permitir uma redução drástica no número de nós (eNodeB) da rede de acesso na área rural. Isto significa a possibilidade de se

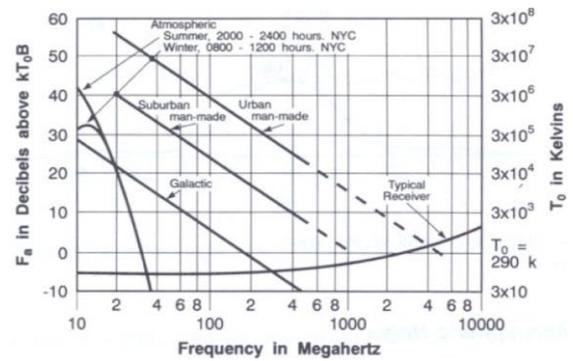


Fig. 3. Ruídos que estão acima do ruído térmico [17].

construir uma infraestrutura LTE economicamente viável, baseada ainda na premissa de baixo consumo de potência, o que pode baixar os custos de investimento (CAPEX) e de operação (OPEX) da rede.

Outro aspecto importante são os benefícios inerentes à própria tecnologia. O LTE é provavelmente a tecnologia com a melhor eficiência espectral disponível no mercado para essa banda, o que é essencial para prover serviços bandalarga ao usuário final. O LTE também foi projetado para suportar perfis de multipercursos com longos atrasos, que podem surgir devido aos raios de cobertura considerados para o LTE 450 MHz. Problemas de sincronização que podem surgir desses longos perfis de atraso são naturalmente tratados pelo LTE a partir da estrutura de quadro com prefixo cíclico estendido; e pelo uso de formatos de preâmbulo de uplink otimizados para coberturas de longa distância.

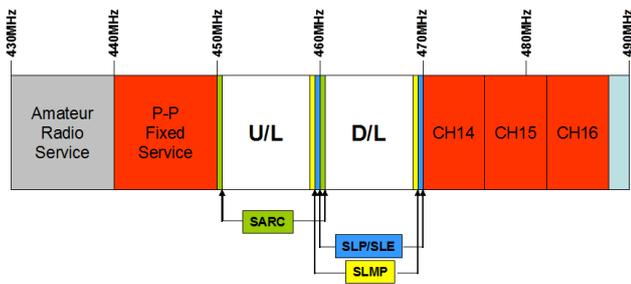
Aumentar a cobertura significa, por vezes, aumentar o ganho do amplificador de potência que, no LTE, pode levar a problemas de PAPR (Peak-to-Average Power Ratio), particularmente no *downlink*, devido ao OFDMA. Pode ser difícil solucionar o problema da PAPR sem impactar o custo total da infraestrutura. Entretanto, a própria característica de propagação da banda de 450 MHz constitui uma contramedida natural para esse problema, especialmente quando há disponibilidade de uso de antenas de alto ganho.

Outro aspecto que enfatiza a necessidade de células extensas é a baixa disponibilidade de uma infraestrutura apropriada de backhaul. LTE tem fortes requisitos de desempenho para as mensagens de controle no backhaul, principalmente no que se refere à gerência de mobilidade. Nos cenários de aplicação rural, o emprego de células extensas resultam em uma baixa probabilidade de handover, de modo que a latência nos procedimentos de descoberta da rede podem ser relaxadas. Isto deve permitir atrasar a tomada de decisão pelo handover, mantendo-se o UE o maior tempo possível conectado na célula original.

F. Interferência e Ruído

O ambiente de RF na banda de 450 MHz (UHF-baixo) é bastante distinto, por exemplo, do ambiente na banda de 2,6 GHz. Alguns desafios de engenharia de RF são os mesmos, mas há alguns problemas que se deve dar uma atenção especial. A interferência intra-sistema é qualitativamente semelhante. A dessensibilização do TX/RX é praticamente a mesma, mas pode ser pior devido ao passo duplex mais estreito, que impacta o projeto e o custo do duplexador, como discutido na Seção IV.A.

Outra forma de interferência intra-sistema é a interferência entre células vizinhas em uma rede celular, que é bem definida para altas frequências como a de 2,6 GHz, mas que pode não ser tão bem definida para o UHF-baixo devido a efeitos de propagação específicos dessa banda. Pode ser ainda pior quando não há opções de frequência para dar suporte a reusos de frequências.



SARC – Serviço Auxiliar de Radiodifusão e Correlatos (Broadcast Ancillary Service)
 SLP – Serviço Limitado Privado (Private Limited Service)
 SLMP – Serviço Limitado Móvel Privativo (Private Mobile Limited Service)
 SLE – Serviço Limitado Especializado (Specialized Limited Service)

Fig. 4. Vizinhança das subbandas de uplink e downlink.

Porém, há duas outras formas de interferência que devem ser consideradas na banda de 450-470 MHz: o ruído do tipo impulsivo gerado pelo homem (máquinas e interruptores); e a interferência dos serviços limitados de banda estreita. Com relação ao ruído impulsivo, o ambiente rural é favorável para a operação nessa banda. Esse ruído é tipicamente gerado em áreas urbanas de médio a grande porte.

A Figura mostra que a potência dos ruídos atmosférico, galático, e impulsivo estão acima do ruído térmico na faixa de 450 MHz. Nota-se que o ruído gerado pelo homem (impulsivo) decai com a frequência. Por exemplo, o ruído impulsivo em área urbana, na banda de 450 MHz, é 16 dB superior que o gerado na banda de 2,6 GHz. Esse nível de ruído poderia ser crítico para uma ERB 450 MHz no ambiente urbano. Se a mesma ERB for instalada em ambiente suburbano, esse ruído diminui na ordem de 15 dB.

O ruído impulsivo é tipicamente gerado pela ignição de veículos e pela indústria. Deste modo, desde que a ERB e o terminal fiquem a uma certa distância de áreas urbanas, linhas elétricas e rodovias, o ruído impulsivo não deve ser um problema.

A interferência na banda devido a serviços banda estreita fora do canal também é desafiadora. A Figura 4 mostra a vizinhança das sub-bandas do uplink e do downlink. Os Serviços Auxiliares de Radiodifusão e Correlatos (SARC) e os Serviços Limitados (SLP, SLE e SLMP) podem interferir devido a proximidade da frequência e a alta potência de radiação efetiva, que pode alcançar até alguns kilowatts.

Como na interferência intra-sistema mencionada acima, a razão de rejeição fora do canal do duplexador é o principal recurso para mitigar a interferência de canal adjacente e, ao mesmo tempo, este requisito deve impactar o tamanho e o custo do duplexador.

V. CONCLUSÕES

A tecnologia LTE aplicada em 450 MHz tem grande potencial de se tornar uma ferramenta importante para promover o acesso a serviços banda larga em áreas com baixa densidade populacional, onde a implantação do sistema celular acima de 1 GHz é tipicamente inviável do ponto de vista econômico. Áreas remotas são usualmente servidas por satélites, um recurso particularmente caro no Brasil.

A solução LTE 450 MHz pode ainda ser aplicada para prover serviços diferenciados, tais como telemetria e rastreamento; também pode ser utilizado para monitorar caminhões e maquinário rural; assim como operar como backhaul para aplicações de smart grids.

O artigo demonstrou que o desenvolvimento do LTE em 450 MHz é desafiador. A fase atual está sendo tratada no âmbito do processo de padronização do 3GPP, que foi iniciado em 2012 e planeja-se sua conclusão em 2013. Neste contexto, o projeto do front-end de RF é mais desafiador que os empregado para frequências acima de 1 GHz, principalmente devido a Distância Duplex (DD), que é muitas vezes menor que de

outras bandas do 3GPP. A conexão entre a eNodeB e a EPC, com esta última estando em grandes centros urbanos, pode inserir atrasos significativos que são críticos para classes de QoS com *Guaranteed Bit Rate* (GBR), tais como em aplicações de voz. A regulamentação Brasileira designa banda 7 + 7 MHz FDD para serviços móveis de banda larga, que permite apenas reuso 1 para 5 MHz de largura de banda. Isto aumenta a interferência em implantações multi-site e multi-setor. Coexistência com canal adjacente também é um aspecto crítico, como os serviços de radiodifusão de TV, onde a potência irradiada pode chegar a ordem de kilowatts, ocasionando perdas de desempenho em receptores LTE.

De qualquer modo, apesar dos desafios de projeto, o desenvolvimento do LTE em 450 MHz tem enorme potencial de alavancar o Plano Nacional de Banda Larga do Brasil em áreas rurais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado a este trabalho, desenvolvido no âmbito do projeto RASFA, que conta com recursos do Fundo para o Desenvolvimento das Telecomunicações – FUNTTEL, do Ministério das Comunicações, através do convênio no. 01.09.0631.00 com a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.

REFERÊNCIAS

- [1] CPqD, Qualcomm Incorporated, "Additional regulatory requirements for 450 MHz in Brazil", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #65, R4-126927, New Orleans, USA, 12th-16th November, 2012.
- [2] CPqD et al., "New work item proposal: Introduction of LTE 450 in Brazil", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #57, RP-121414, Chicago, USA, 4-7th September, 2012.
- [3] Huawei, "BS coexistence with limited services (SLMP, SLP, SLE)", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130919, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [4] Huawei, "BS coexistence with SARC", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130376, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [5] Huawei, "BS coexistence with TV system in UHF band", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130916, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [6] CPqD, "LTE 450 MHz coexistence with Digital TV broadcast system", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130502, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [7] Qualcomm, "UE coexistence for LTE 450 band in Brazil", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130915, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [8] Huawei, HiSilicon, "UE coexistence with TV system in UHF band", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130375, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [9] A. Ancora, et al., "Performance Requirements", in "LTE for UMTS:OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access", H. Holma and A. Toskala, Eds. Wiley & Sons, Chippingham, 2009, chap. 11, pp.283-366.
- [10] Huawei, HiSilicon, "LTE450 TR V0.2.0", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130369, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [11] Huawei, "Discussion on BS implementation", 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #66, R4-130920, St. Julian's, Malta, 28th January-1st February, 2013.
- [12] 3GPP Technical Specification 36.101 "User Equipment (UE) radio transmission and reception", v. 8.20.0.
- [13] "Requirements related to technical performance for IMT Advanced radio interfaces", Report ITU-R M.2134, 2008.
- [14] ANATEL Resolution #372, "Standard for Certification and Homologation of Omnidirectional and Sectorial Antennas", May 2004.
- [15] Robert E. Collin and Francis J. Zucker, Inter University Electronics Series, "Antenna Theory Part 1", McGraw-Hill, 1969.
- [16] Y.T. Lo and S. W. Lee, "Antenna Handbook, Theory, Applications and Design", Van Nostrand Reinhold Company, June 1988.
- [17] Howard W. Sams, "Data for Radio Engineers", 6th ed. 1979. Excerpt from Yacoub, Michel Daoud "Foundation of Mobile Radio Engineering", CRC Press, 1993, p. 258.