

# QUINTA GERAÇÃO DAS REDES MÓVEIS

Daniel Prado Pereira Lima, Luiz Cláudio Theodoro, Servolo Dantas

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, dlima2000@hotmail.com, lclaudio@algartelecom.com.br, servolod@algartelecom.com.br

**Resumo** - Este trabalho apresenta o panorama referente à quinta geração de telefonia móvel. Por meio da análise dos impactos de tráfego, tendências, comportamento e experiência do usuário foram avaliadas as tecnologias mais promissoras através de um estudo comparativo entre as diversas alternativas.

**Palavras-Chave** – 5G, Femto Célula, Rede Móvel, Wi-Fi

**Abstract** - This work present an overview regarding the fifth-generation networks. Through the analysis of traffic impacts, trends, behavior and user experience the most promising technologies were evaluated in a comparative study of the various alternatives.

**Keywords** – 5G, Femto Cell, Mobile Network, Wi-Fi

## I. INTRODUÇÃO

Quinta geração (5G) é o termo utilizado em alguns trabalhos de pesquisa e projetos para denotar o próximo salto no padrão de telecomunicação. Conclusivamente, ainda não há uma especificação do 5G em nenhum documento oficial publicado por nenhum órgão de normatização das telecomunicações.

Embora atualizações normativas que definem capacidades além das definidas no atual padrão de quarta geração (4G) estão sendo levadas em consideração, estas novas capacidades ainda estão agrupadas sob o padrão de quarta geração.

A metodologia utilizada para a consecução deste trabalho foi baseada em uma revisão da literatura e consultas aos especialistas do setor, no sentido de apresentar os conceitos das novas tecnologias que poderão ser empregadas nas futuras redes móveis. Por fim, realizou-se uma análise crítica do panorama atual e futuro focando no impacto do volume de tráfego nas redes móveis.



XIIICEEL – ISSN 2178-8308  
13 a 17 de Outubro de 2014  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

## II. DESENVOLVIMENTO

### A. Problemas chaves

O desenvolvimento social trará um rápido crescimento no volume de tráfego móvel e sem fio, com previsão de aumento na ordem de mil vezes ao longo da próxima década [5].

Além disso, estudos apontam que haverá, no futuro cenário de comunicações interpessoais, um aumento tremendo no número de máquinas de comunicação. Alguns cogitam mais de 50 bilhões de dispositivos conectados até 2020 [5].

A coexistência de várias formas de aplicações nos levará a uma grande diversidade de características de comunicação, impondo diferentes requisitos nos sistemas, em termos de custo, complexidade, consumo de energia e requisitos do serviço [5].

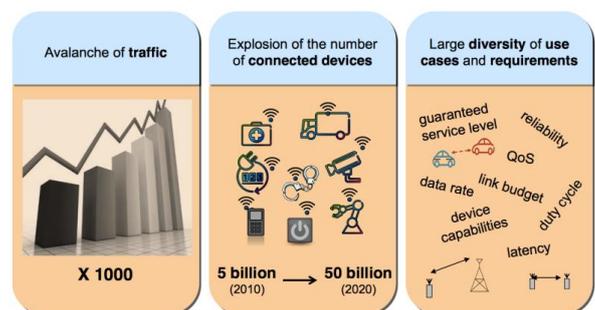


Fig. 1. Problemas chaves.

Levando-se em consideração o grau de importância dos sistemas de telecomunicações móveis, há uma grande oportunidade para obtenção de novos conhecimentos tanto no estudo de novas técnicas quanto na criação de um novo modelo entre a indústria, operadora, entidade normativa, governo e sociedade.

Diante desse panorama, este estudo objetivou identificar os recursos e meios necessários para a implementação das redes móveis de quinta geração. Nos próximos capítulos, veremos quais são as entidades à frente nesta pesquisa, os desafios atuais e as possíveis alternativas a estes problemas.

### B. METIS

*Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society* (METIS) é um projeto

que tem como objetivo responder os desafios impostos pela sociedade no ano de 2020 e, mais além, estabelecendo a fundação para a próxima geração de sistemas de comunicações móveis e sem fio. METIS é um consórcio de 29 parceiros que abrangem fabricantes, operadoras de telecomunicações, a indústria automotiva e o meio acadêmico.

### C. Cronograma

Existem três grandes entidades na busca de alternativas e soluções tecnológicas: o METIS, o *International Telecommunication Union* (ITU) e o *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). Porém, apenas o METIS apresenta uma visão de mais longo prazo, até 2020.

Este trabalho foi sustentado pelos estudos desenvolvidos primeiramente pelo METIS e segundo pelo 3GPP.

## III. O DILEMA DAS OPERADORAS

Um dos maiores dilemas vividos pelo setor de Telecomunicações está na equalização da conhecida curva receita x custos, recorrentemente as demandas por capacidade e bandas médias por usuário tem aumentado significativamente, em torno de 80 a 100% ao ano [6]. Por outro lado, a curva de receita média por cliente tem caído, o que tem feito com que as operadoras de telecomunicações busquem mecanismos para aumentar a receita, já que o lucro está em queda. O mesmo não se traduz no comportamento dos custos que, a exemplo dos gastos com infraestrutura, mostra uma curva ascendente.

Hoje a competição pela receita não se divide apenas entre as próprias operadoras, os mesmos serviços estão sendo gerados de forma inovadora pelas conhecidas empresas *Over The Top* (OTT), tais como Google, WhatsApp, Viber, Facebook, entre outras. Estas utilizam-se da infraestrutura de dados providos pelas operadoras sem compartilhar nenhum resultado de suas receitas, ampliando ainda mais os desafios de colocar qualidade nesta infra estrutura o que exige altos investimentos, custos adicionais e não agregando nenhuma receita adicional.

## IV. ALIVIANDO A ESTRONDOSA CAPACIDADE

Para garantirmos a sustentabilidade dos serviços de comunicação móvel da próxima década, novas soluções tecnológicas devem ser identificadas e desenvolvidas. É esperado um significativo ganho na qualidade da experiência (QoE) do usuário, haja visto o aumento exponencial no volume de tráfego móvel esperado para o ano de 2020 [2].

O grande desafio para as operadoras móveis e os seus fornecedores de tecnologia será atender este crescimento exponencial do tráfego de dados. A proporção de usuários com *smartphones* e outros dispositivos de banda larga móvel está crescendo absurdamente e já são maioria em vários países desenvolvidos. Uma gama crescente de aplicações e serviços estão se tornando disponíveis, principalmente, serviços relacionados a vídeo e a nuvem.

Redes *Long-Term Evolution* (LTE) já estão fornecendo velocidades que se aproximam de 100 Mbps. Muitas tecnologias e recursos introduzidos nas versões (*Releases*) anteriores do LTE estão sendo aprimorados nas novas versões [4].

### A. Volume de tráfego

A capacidade de tráfego suportado por uma rede móvel pode ser definida considerando três dimensões:

- Ocupação do Espectro;
- Eficiência Espectral;
- Densidade de Elementos por área.

Na figura a seguir, é possível visualizar cada uma das dimensões que compõem o volume de tráfego.

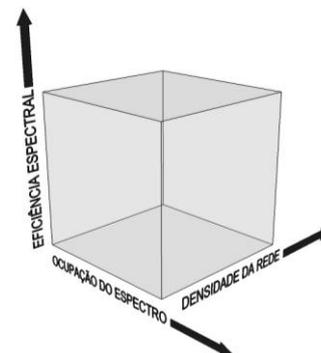


Fig. 2. As três dimensões do volume de tráfego.

Discutiremos a seguir cada dimensão a fim de identificarmos como alcançar o objetivo, ou seja, atingir o aumento da capacidade das redes móveis dando ênfase nas alternativas mais promissoras.

### B. Ocupação do Espectro

Conforme apresentado pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) Future Mobile Summit, será preciso, pelo menos, até 2020 mais de 500 MHz de espectro novo para atendimento da demanda. Onde serão necessárias tecnologias e sistemas que inovem no uso do espectro e, provavelmente, na utilização de frequências acima de 6 GHz [3].

#### 1) Déficit Espectral

Existe um déficit crescente entre o tráfego de dados e a disponibilidade de espectro para este atendimento.

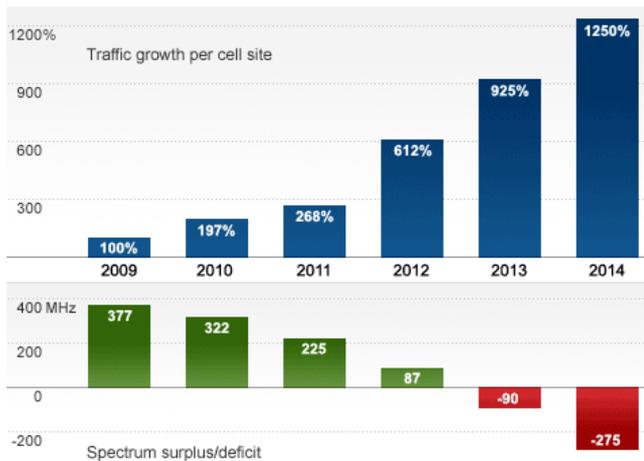


Fig. 3. O déficit de espectro.

Uma alternativa seria reorganizar as bandas existentes para o uso mais eficiente (*re-farming*). Considerando os preços pagos nos leilões das frequências para LTE, a AIRCOM, uma consultoria de planejamento e otimização de redes móveis, recomenda a realocação de 5 MHz dos espectros das redes de segunda geração (2G) e terceira geração (3G) para o LTE a um preço de 0,5% do valor que seria gasto na aquisição de uma nova frequência [1].

Novas bandas licenciadas, incluindo frequências mais altas para as zonas que demandam *hot-spot*, serão introduzidas. Todos estes fatores em combinação com o espectro não licenciado demandarão técnicas para acessar e gerenciar a rede, técnicas estas encontradas na tecnologia de radio cognitivo [4].

O espectro sempre será um recurso limitado, complexo e oneroso. As baixas frequências, que permitem uma maior capacidade de cobertura com menores volumes de investimento, já estão ocupadas com diversos serviços de diferentes setores como rádio, televisão, segurança, entre outros. Nas altas frequências, além da limitação de cobertura, existem ainda desafios técnicos e econômicos a serem superados, apesar de estar sendo evidenciada como uma das soluções para atingir os desafios de capacidade das redes de quinta geração.

## 2) Agregação de Portadora

*Carrier Aggregation* ou agregação de portadora é uma técnica introduzida pelo *Long-Term Evolution Advanced* (LTE-A) que consiste em utilizar várias sub-bandas pertencentes às faixas de frequências distintas ou não com o objetivo de aumentar a largura de faixa disponível e, conseqüentemente, a taxa de transferência entre os elementos de rede.

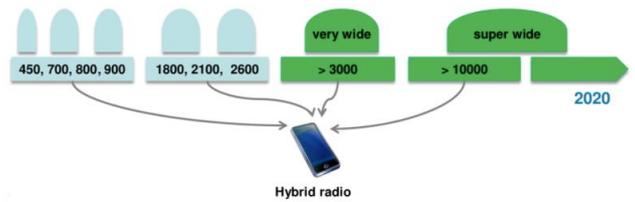


Fig. 4. *Carrier Aggregation*.

## C. Eficiência Espectral

Uma infinidade de tecnologias estão ajudando a aumentar a velocidade e a quantidade de dados transportados por Hz com uma latência reduzida. Modulações de ordens superiores a 256 QAM, coordenação de múltiplos pontos de transmissão e técnicas de gerenciamento de interferência irão melhorar o desempenho da borda da célula [4].

### 1) Limite de Shannon

O aumento da ordem de modulação é uma medida válida para a melhora na eficiência espectral e, conseqüentemente, na taxa de transferência de dados.

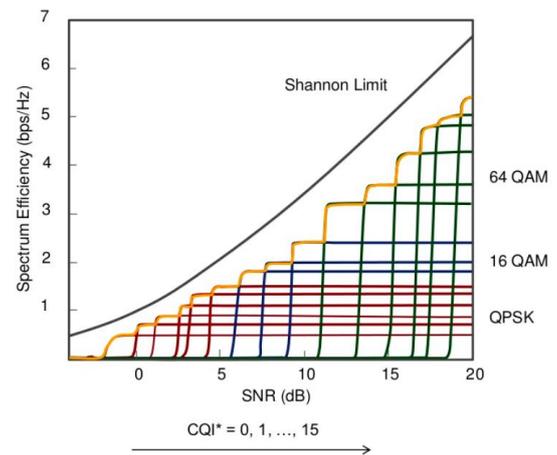


Fig. 5. Limite de Shannon.

No gráfico acima, podemos visualizar os limites impostos por Shannon ao aumento de ordem das modulações. Para cada incremento de ordem, é necessário um aumento na relação sinal/ruído do sinal, ou seja, ou uma elevação de potência ou uma redução de ruído ou ambos. Uma amplificação do sinal emitido pelo transmissor gera o aumento da interferência em sua vizinhança, ou seja, o acréscimo do ruído.

### 2) MU-MIMO

O *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) nada mais é que uma técnica de comunicação à rádio onde um conjunto de antenas transmissoras e receptoras é utilizado a fim de aprimorar o desempenho da transmissão. A premissa do MU-MIMO é aplicar este aprimoramento para o universo de múltiplos usuários. Desta forma é possível reaproveitar

o espectro existente apenas direcionando o sinal para o usuário desejado, ou seja, não se utiliza apenas uma multiplexação no tempo ou na frequência, mas também uma multiplexação espacial, onde os elementos se comunicam utilizando a mesma faixa de frequência, no mesmo tempo e em posições distintas.

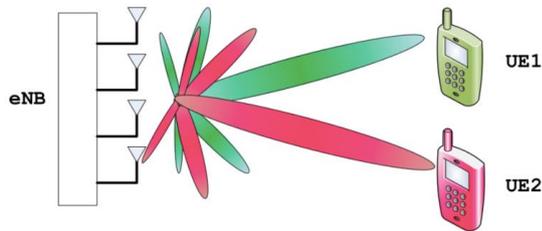


Fig. 6. MU-MIMO e o reaproveitamento espectral.

### 3) NOMA

Na quarta geração (4G) dos sistemas de comunicação móveis como o LTE-A, normatizado pela 3GPP, é adotado o acesso múltiplo ortogonal (OMA) baseado em OFDMA ou FDMA com portadora simples (SC-FDMA). É razoável o uso do OMA para alcançar um bom nível de rendimento em serviços comutado por pacotes utilizando-se de um receptor simplificado. Entretanto, para aprimorarmos ainda mais a eficiência espectral, são necessário receptores mais avançados a fim de mitigarmos interferência intra-célula e/ou inter-célula [2].

Por isso, uma das propostas é o método de acesso múltiplo não-ortogonal (NOMA) onde vários usuários são multiplexados no domínio da potência no lado do transmissor e o sinal multi-usuário é separado no lado do receptor por meio de cancelamento sucessivo de interferência (SIC) [2].

Sob várias configurações e ajustes, os ganhos alcançados pelo NOMA são promissores, na ordem de 30% comparado ao OFDMA, mesmo quando considerações práticas são levadas em conta [2].

### D. Densidade da Rede

A adição de várias células pequenas em configuração de Redes Heterogêneas (HetNet), incluindo macro, micro, pico, femto células, *relay station* e até nuvens de antenas, proverão o maior impulso para o aumento da capacidade através da reutilização extrema de frequências [4].

Melhorias no *backhaul* apoiarão técnicas como *pooling baseband* e coordenação inter-célula que podem efetivamente orquestrar recursos como grande conjunto de antenas que serão implantados em locais de alta demanda. Existem iniciativas para simplificar o gerenciamento das células com sinalização racionalizada e sem perda do controle na camada macro, e introdução de *phantom cells* em camadas de pequenas células de alta densidade [4].

Nos gráficos abaixo, podemos observar o impacto nas redes LTE após alterações como o uso de técnicas de controle de interferência e a adição de *relay stations*.

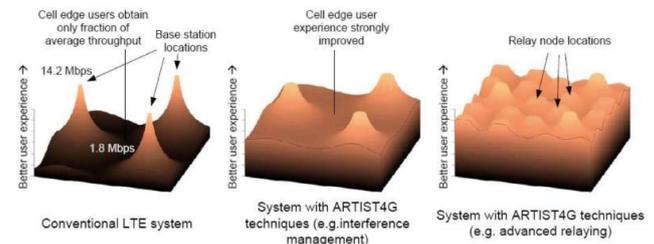


Fig. 7. Comparativo de desempenho do LTE utilizando várias técnicas.

### 1) Redes Heterogêneas

As HetNet baseiam-se em uma rede híbrida com controle unificado e otimizado, uma mistura de tecnologias, frequências, diferentes tamanhos de células e arquiteturas de rede para dar respostas às rápidas mudanças demandadas pelos clientes.

O HetNet é composto por três principais componentes, sendo o primeiro as macro células, desenhadas para prover cobertura e ubiquidade a banda larga móvel. O segundo são redes de grande densidade compostas por *small cells* que proveem altas quantidades de banda e tráfego em áreas de maior necessidade. E por último, o componente final, é a inteligência da rede, que integra todos esses elementos de uma forma cooperativa.

O HetNet será vital para acomodar as crescentes demandas de tráfego de dados, distribuindo de forma ideal as cargas de tráfego, para manter o desempenho e qualidade do serviço nas partes mais distantes, ou seja, nas bordas das células, pelo gerenciamento da interferência de rádio e pelo uso mais eficiente do espectro.

## V. O CAMINHO A SE SEGUIR

Após analisar todas as três dimensões, é possível identificar quais apresentam uma maior chance de serem expandidas, ou seja, onde existe maior espaço para o desenvolvimento e ganho de desempenho. A conclusão que chegou a South Korea Telecom é exibida no gráfico a seguir, onde ela demonstra a contribuição em potencial de cada dimensão para o aumento do volume de tráfego da rede até 2020.

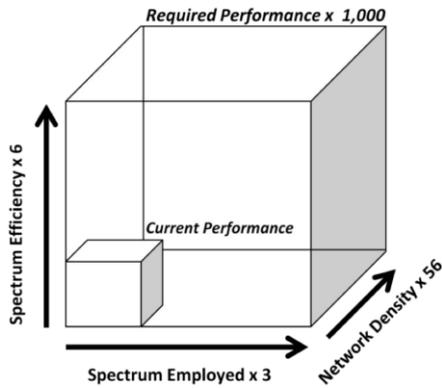


Fig. 8. Previsão de crescimento de tráfego segundo a South Korea Telecom.

Podemos observar que, segundo a operadora asiática, até 2020, será possível amplificar a ocupação do espectro em três vezes. Já para a eficiência espectral, é previsto um aumento de seis vezes. Restando para a densidade de rede um aumento na ordem de cinquenta e seis vezes. Logo,

$$3 \times 6 \times 56 \cong 1000.$$

Fica evidente que o ponto com maior potencial é, sem dúvida, a densidade da rede e que o foco das pesquisas deve ser direcionado para este ponto.

#### A. Viabilidade do aumento da densidade de rede

Já foi evidenciado que, em 70% dos casos em que os usuários se conectam à rede, esta conexão ocorre em ambientes *indoor* tais como: residências, escritórios e pontos comerciais [4]. Este fato apresenta uma oportunidade por serem ambientes munidos de acesso à rede elétrica e banda larga, o que viabiliza ainda mais o atendimento a estes ambientes com células de alta capacidade e baixa cobertura. Foram feitos estudos de desempenho das tecnologias utilizando macro, micro células e Wireless Fidelity (WiFi), onde conclui-se a superioridade da capacidade de atendimento por km<sup>2</sup> nas redes WiFi.

Outro ponto fundamental é a análise do custo de implantação de uma tecnologia e os seus benefícios, ou seja, quanto do investimento será convertido em capacidade para a rede. O gráfico a seguir, analisa a relação de custo-benefício entre macro, micro e femto células em conjunto com o WiFi.

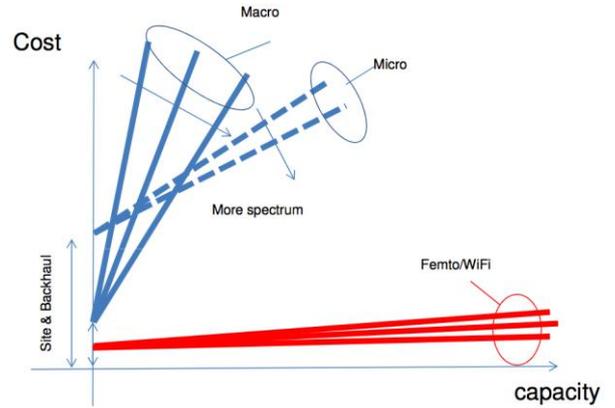


Fig. 9. Relação custo-benefício entre diversas tecnologias.

Podemos observar no gráfico que os custos tanto para macro quanto para micro células são muito superiores aos custos do WiFi e da femto células, mesmo assim, as suas capacidades de tráfego são inferiores, o que parece um contra-senso. Embora o gráfico indique que, um aumento nos espectros para macro e micro células gere um aumento em suas capacidades com um menor custo, pelo uso mais eficiente do espectro adquirido, vemos que não existe uma margem expressiva para o aumento destes espectros, com isso, a redução dos custos e aumento das suas respectivas capacidades seriam pequenas. Tornando evidente a superioridade do WiFi e femto célula em relação ao custo-benefício.

Outra característica que podemos observar no gráfico acima se refere aos custos relativos de *backhaul*. É visível, no caso de macro e, principalmente, micro células, custos mais significativos pelo fato da maior necessidade de capilaridade de acesso às estas células. O mesmo fenômeno não é observado no caso da femto célula e do WiFi, pois, apesar do maior número de células necessárias para a mesma cobertura, grande parte dos custos para implementação são transferidos para o cliente, reduzindo os impactos financeiros no atendimento dessa solução. Esta característica tende a favorecer as operadoras concessionárias (*incumbent*) que já possuem uma alta capilaridade com redes fixas de alta capacidade.

Pela necessidade de utilização da infraestrutura das redes fixas pelas operadoras móveis, um fenômeno interessante que pode ser observado é o surgimento de uma interdependência entre estas redes. Tecnologicamente, as redes fixas sempre estiveram à frente em termos de capacidade, o que pode ser visto no gráfico abaixo, fato este que não poderá ser ignorado com uma das alternativas aos desafios exigidos pelas redes de quinta geração.

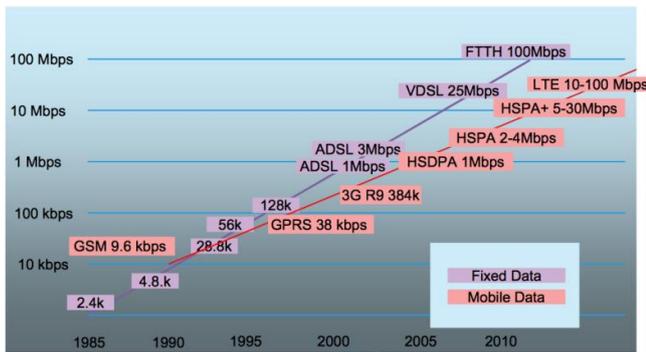


Fig. 10. Comparativo de desempenho entre redes fixas e móveis.

## VI. CONCLUSÃO

Serão grandes os obstáculos no desenvolvimento dos sistemas de telecomunicações sem fio para a sociedade do futuro, desde limitações físicas e técnicas, até restrições econômicas e governamentais. Embora as pesquisas apontem para as células de curta distância como a solução mais viável para atingir o objetivo das redes de quinta geração, todas as alternativas deverão ser levadas em conta. Neste sentido, é fundamental o acompanhamento das mais recentes publicações e artigos de entidades como o 3GPP, o METIS e o ITU.

Não será nada fácil implementar uma rede móvel que forneça ao usuário uma percepção de velocidade e desempenho infinita. Mas é justamente neste desafio que se esconde uma grande oportunidade, a chance de unirmos a indústria com a academia brasileira e colocarmos, definitivamente, o nosso país como uma referência em termos de tecnologia móvel.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] AIRCOM. **Spectrum Refarming**. Disponível em: <<http://www.aircominternational.com/Services/ManagedServices/SpectrumRefarming/SpectrumRefarmingSavings.aspx>>. Acesso em: 4 mar. 2014.
- [2] BENJEBBOUR, A. et al. **Concept and Practical Considerations of Non-orthogonal Multiple Access (NOMA) for Future Radio Access**. In: International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2013), Naha, nov. 2013.
- [3] CAMPOLARGO, M. **5G, the way forward!**. In: ETSI Future Mobile Summit, Mandelieu, nov. 2013.
- [4] MALLINSON, K. **2020 Vision for LTE**. Disponível em: <<http://www.wiseharbor.com/publications.html>>. Acesso em: 16 jun. 2014.
- [5] METIS. **METIS Project Presentation**. Disponível em: <<https://www.metis2020.com/documents/presentations/>> Acesso em: 05 jan. 2014.
- [6] ZANDER, J. **Spectrum for 5G – a big deal?**. In: ETSI Future Mobile Summit, Mandelieu, nov. 2013.