

Levantamento dos cenários de utilização das redes 5G no Brasil

Mário Henrique Pereira Alves e Luciano Leonel Mendes

Resumo—Este artigo traz um estudo sobre os possíveis cenários de utilização das redes de quinta geração (5G) no Brasil. Os cenários são definidos de acordo com o que vem sendo pesquisado ao redor do mundo por projetos como o METIS (*Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society*) e iniciativas como a NGMN (*Next Generation Mobile Networks*), entre outros, mas focando na sociedade brasileira e nas suas necessidades. O principal objetivo do levantamento destes cenários é a definição de uma referência sólida para especificar os esquemas de comunicação digital que venham a atender os requisitos impostos pelas futuras aplicações desenvolvidas para o mercado.

Palavras-Chave—5G, Internet banda larga móvel, comunicação entre máquinas, Internet das coisas, WRAN.

Abstract—This article presents a study about possible scenarios for the fifth generation (5G) networks in Brazil. The scenarios are defined according with the latest researches around the world by projects such as METIS (*Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society*) and initiatives such as NGMN (*Next Generation Mobile Networks*) among others, however, focusing on the special needs of the Brazilian society. The main goal of these scenarios definitions is to have a solid background to specify the digital communication schemes that can meet the requirements imposed by the future applications developed for the Brazilian market.

Keywords—5G, mobile broadband Internet, machine-type communication, Internet of things, WRAN.

I. INTRODUÇÃO

A história da telefonia móvel celular mostra que os avanços tecnológicos introduzidos em novas gerações proporcionam serviços inovadores que viabilizam diferentes fontes de negócios. A primeira geração (1G) [1] foi concebida para permitir a comunicação de voz empregando técnicas de modulação analógica. A segunda geração (2G) [2] introduziu a digitalização da voz para aumentar a capacidade do sistema e melhorar a eficiência energética, permitindo maior autonomia das baterias. A digitalização possibilitou o serviço de mensagens de texto (SMS - *Short Message Service*), que se tornou uma aplicação de grande impacto social, sendo largamente utilizada atualmente. A chamada 2,5G integrou a navegação na Internet ao serviço de comunicação móvel, funcionalidade que foi aperfeiçoada com o advento da terceira geração (3G) [3], onde o uso de técnicas de comunicação mais recentes, como o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [4], permitiram o acesso móvel com taxas superiores a 1

Mbps. Atualmente, telefones celulares e *tablets* com elevada capacidade de processamento e armazenamento, juntamente com as redes sociais e serviços de compartilhamento de vídeo, estão impulsionando a quarta geração (4G) [5] para taxas superiores a 100 Mbps. No entanto, os novos cenários previstos para a quinta geração (5G) [6] trazem desafios que não poderão ser superados apenas com o aumento da vazão de dados. Grandes esforços estão sendo tomados em várias vertentes das telecomunicações em prol da realização das redes 5G [7]–[9]. Em resumo, as futuras redes de telecomunicações deverão contemplar os seguintes cenários:

- *Alta capacidade*: tem como objetivo suprir a demanda por uma elevada densidade de tráfego de dados. Essa densidade de tráfego é dada pelo produto da crescente densidade de usuários conectados à uma rede móvel e a taxa de transmissão, cada vez maior, demandada;
- *Acesso em áreas remotas*: Visa prover conexão de dados banda larga de baixo custo para usuários localizados em regiões rurais de baixa densidade populacional e de pequena receita por meio de células com alcance de algumas dezenas de quilômetros;
- *Super Tempo Real*: este cenário representa a procura por comunicação em tempo real com requisitos de latência cada vez mais baixas. A especificação rigorosa deste requisito se faz necessária para prover soluções que envolvem segurança e também atender ao crescimento do uso de aplicações executadas na nuvem;
- *Comunicação entre máquinas em massa*: procura prover um gerenciamento eficiente de inúmeros dispositivos autônomos conectados à rede visando atender a uma grande diversidade de aplicações que possuem conjuntos de requisitos de comunicação distintos.

Uma série de casos de uso compõem as aplicações previstas para o 5G e são associadas a pelo menos um destes cenários. Este trabalho visa apresentar os cenários que podem ser os mais interessantes para a realidade brasileira. Estes são agrupados em quatro cenários, discutidos na Seção II, onde também são apresentados os casos de uso e suas especificações. Essa caracterização dos cenários serve como base para o estudo e implementação de novas técnicas de transmissão, apresentadas na Seção III, que compõem a continuidade deste estudo.

II. CENÁRIOS

Os cenários e seus casos de uso mais interessantes para a realidade brasileira estão representados na Figura 1 e serão discutidos a seguir. O APÊNDICE I contém tabelas com os valores de frequência de operação e os perfis de canal [10]–[12] considerados nas especificações dos casos de uso.

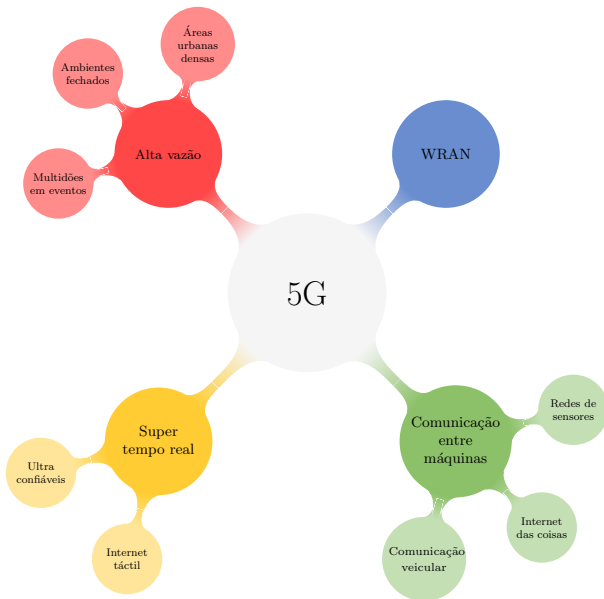


Fig. 1. Cenários que irão compor as redes 5G no Brasil.

A. Alta vazão

Serviços de distribuição de vídeos como IPTV e 3DTV, além do compartilhamento em redes sociais de imagens e vídeos de alta definição capturados por dispositivos móveis, demandam por um constante aumento da vazão de dados em redes móveis celulares. Locais densamente populados demandam altas taxas de transmissão e elevado volume de tráfego. O uso eficiente do espectro de frequências fragmentado, o compartilhamento do espectro e o uso oportunista de faixas de frequências ociosas são tecnologias fundamentais para se obter as altas vazões para um elevado número de usuários.

1) *Multidões em eventos*: Este caso representa eventos esportivos em estádios, festivais a céu aberto, manifestações públicas, entre outros, onde há uma grande aglomeração de pessoas num local que normalmente é pouco povoado. A especificação deste caso é apresentada na Tabela I.

TABELA I
ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO “MULTIDÕES EM EVENTOS”.

Multidões em eventos	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	Down-link: 25 [Mbps] Up-link: 50 [Mbps]
Latência fim-a-fim	10 [ms]
Tipo de usuário	Majoritariamente humano
Mobilidade do usuário	0 ~ 3 [km/h]
Tamanho da célula	<1 [km]
Banda de operação	B / C
Perfil de atraso do canal	ETU
Banda de coerência	20 [kHz]
Máximo desvio Doppler	B: 2 [Hz] C: 10 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	B: 250 [ms] C: 50 [ms]

2) *Ambientes fechados*: Nestes casos o uso em massa de pico células (células com alcance de até 200 metros) e femto células (com alcance similar a sistemas Wi-Fi) será necessário. Essa densificação dos pontos de acesso em escritórios, shop-

ping centers, aeroportos e afins permite que um grande número de usuários seja atendido sem que haja demasiados bloqueios nem diminuição da qualidade do serviço. Porém, para mitigar a interferência entre as células vizinhas, a 5G deverá ser capaz de fazer uso de sistemas cooperativos para cancelamento de interferências como por exemplo a técnica apresentada em [13]. A especificação deste caso é mostrada na Tabela II.

TABELA II
ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO “AMBIENTES FECHADOS”.

Ambientes fechados	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	Down-link: >1 [Gbps] Up-link: 500 [Mbps]
Latência fim-a-fim	10 [ms]
Tipo de usuário	Majoritariamente humano
Mobilidade do usuário	0 ~ 3 [km/h]
Tamanho da célula	<200 [m]
Banda de operação	B / C
Perfil de atraso do canal	Indoor Office A
Banda de coerência	571 [kHz]
Máximo desvio Doppler	B: 2 [Hz] C: 10 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	B: 250 [ms] C: 50 [ms]

3) *Acesso banda larga em áreas densas*: O cotidiano no centro de grandes cidades apresenta elevadas densidades de conexão e de tráfego de dados. A comunicação utilizando serviços de vídeo, que requer altas taxas de transmissão, tende a se tornar universal assim como o número de dispositivos simultaneamente conectados. A especificação deste caso é apresentada na Tabela III.

TABELA III
ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO “ÁREAS DENSAS”.

Acesso banda larga em áreas densas	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	Down-link: 300 [Mbps] Up-link: 50 [Mbps]
Latência fim-a-fim	10 [ms]
Tipo de usuário	Majoritariamente humano
Mobilidade do usuário	0 ~ 80 [km/h]
Tamanho da célula	0,2 ~ 3 [km]
Banda de operação	B / C
Perfil de atraso do canal	ETU
Banda de coerência	20 [kHz]
Máximo desvio Doppler	B: 60 [Hz] C: 200 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	B: 8 [ms] C: 2,5 [ms]

B. WRAN

Áreas de baixa densidade populacional e de baixa receita por usuário não são rentáveis o suficiente para justificar a implantação e manter a operação das infraestruturas de rede. É necessário que a 5G apresente soluções para oferecer acesso à Internet nessas áreas sob a restrição de um baixo custo de implantação. Portanto, a 5G deve prover um modo de operação com alcance superior a 50 km, permitindo alcançar um número suficiente de potenciais assinantes com uma única célula. O padrão IEEE 802.22 WRAN (*Wireless Regional Area Network*), em que Rádios Cognitivos utilizam lacunas

espectrais nas faixas de TV para transmitir, é uma solução atrativa para esta demanda. A especificação desse caso é apresentada na Tabela IV.

TABELA IV
ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO "WRAN".

WRAN	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	Down-link: 10 [Mbps] Up-link: 10 [Mbps]
Latência fim-a-fim	100 [ms]
Tipo de usuário	Majoritariamente humano
Mobilidade do usuário	0 ~ 3 [km/h]
Tamanho da célula	>50 [km]
Banda de operação	A
Perfil de atraso do canal	WRAN
Banda de coerência	WRAN C: 3,5 [kHz] WRAN D(+): 23 [kHz] WRAN D(-): 670 [Hz]
Máximo desvio Doppler	A: 2 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	A: 250 [ms]

C. Comunicação entre máquinas

As redes elétricas inteligentes e cidades inteligentes são exemplos de tendências que estarão presentes em todo o mundo, conectando inúmeros novos dispositivos autônomos à Internet. Comunicações entre máquinas (M2M - *Machine-to-machine*), ou MTC (*Machine-Type Communication*), como as redes de sensores e atuadores, levarão a um incontável número de dispositivos por célula. O principal desafio é lidar com uma multitude de dispositivos conectados simultaneamente, um número que pode chegar a casa das centenas de milhares por célula, pelo menos uma ordem de grandeza acima da capacidade das redes 4G.

1) *Redes de sensores*: Serviços de medição e monitoração estarão onipresentes em áreas urbanas e tendem a crescer significativamente em áreas suburbanas e rurais. Medições de consumo de água e energia elétrica, por exemplo, se tornarão processos automáticos. A monitoração de características ambientais como temperatura, umidade, ruído, poluição, luminosidade e velocidade do vento podem fornecer informações precisas sobre o meio ambiente, permitindo até mesmo a previsão de desastres naturais. Muitas dessas aplicações não possuem requisitos rigorosos de taxa de dados ou latência na comunicação. No entanto, os dispositivos utilizados para esse fim deverão apresentar uma vida útil de bateria de pelo menos 10 anos e baixo custo para viabilizar a implantação de tais redes. O tráfego de característica esporádica obriga as redes 5G a permitir que os dispositivos se conectem e transmitam seus dados sem a necessidade de um procedimento complexo de sincronismo, uma vez que a energia consumida neste processo compromete a premissa de vida útil estendida. A especificação deste caso é apresentada na Tabela V.

2) *Internet das coisas*: Este caso contempla aplicações como redes elétricas e cidades inteligentes, dispositivos autônomos conectados à Redes Pessoais (PAN - *Personal Area Network*) e equipamentos com finalidade de automatizar tarefas tanto de uso pessoal quanto de uso industrial. Um dos principais desafios é gerenciar a integração de tantos

TABELA V
ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO "REDES DE SENSORES".

Redes de sensores	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	10 ~ 100 [kbps]
Latência fim-a-fim	<100 [ms]
Tipo de usuário	Máquina
Mobilidade do usuário	Baixa
Tamanho da célula	0,2 ~ 3 [km]
Banda de operação	A / B
Perfil de atraso do canal	EPA
Banda de coerência	440 [kHz]
Máximo desvio Doppler	A: 1 [Hz] B: 1 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	A: 500 [ms] B: 500 [ms]

dispositivos e a grande quantidade de sinalização gerada. A especificação deste caso é apresentada na Tabela VI.

TABELA VI
ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO "INTERNET DAS COISAS".

Internet das coisas	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	de alguns kbps a 10 [Mbps]
Latência fim-a-fim	<100 [ms]
Tipo de usuário	Máquina
Mobilidade do usuário	0 ~ 3 [km/h]
Tamanho da célula	0,2 ~ 3 [km]
Banda de operação	A / B / C
Perfil de atraso do canal	EPA
Banda de coerência	440 [kHz]
Máximo desvio Doppler	A: 1,5 [Hz] B: 2 [Hz] C: 10 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	A: 350 [ms] B: 250 [ms] C: 50 [ms]

3) *Comunicação veicular*: Este tipo de comunicação tem levado indústrias do setor automobilístico a contribuir com as pesquisas sobre 5G. São previstas aplicações que utilizem comunicação com outros veículos (V2V - *Vehicle-to-Vehicle*) e também com a infraestrutura da estrada (V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*). Neste caso específico o foco é a troca de dados para informação e entretenimento. As aplicações de segurança serão tratadas no próximo cenário. As especificações deste caso são apresentadas na Tabela VII.

D. Super tempo real

Os casos neste cenário requerem respostas praticamente instantâneas às solicitações geradas por um terminal da rede. Isso significa que a 5G deve apresentar um modo de operação de latência extremamente baixa. Estudos mostram que para atender a este requisito, a camada física deve introduzir uma latência máxima da ordem de 100 μ s [14], ou seja, ao menos uma ordem de grandeza abaixo da obtida no LTE-Advanced, que tem um TTI (*Transmission Time Interval*) de 1ms.

1) *Internet tátil*: Atualmente, todos os *tablets* e *smartphones* possuem tela sensível ao toque como principal interface para entrada de dados, de forma que os dedos consistem na única forma de manipulação da informação nesses dispositivos móveis. Em aplicações como jogos *on-line*, a latência inerente

TABELA VII

ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO “COMUNICAÇÃO VEICULAR”.

Comunicação veicular	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	de alguns kbps a 27 [Mbps]
Latência fim-a-fim	10 ~ 100 [ms]
Tipo de usuário	Máquina e humano
Mobilidade do usuário	0 ~ 110 [km/h]
Tamanho da célula	<1 [km]
Banda de operação	A / B / C
Perfil de atraso do canal	EVA
Banda de coerência	56 [kHz]
Máximo desvio Doppler	A: 45 [Hz]
	B: 80 [Hz]
	C: 265 [Hz]
Tempo de coerência mínimo	A: 11 [ms]
	B: 6 [ms]
	C: 1,8 [ms]

TABELA IX

ESPECIFICAÇÃO DO CASO “COMUNICAÇÕES ULTRA-CONFIÁVEIS”.

Comunicações ultra-confiáveis	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	<100 [kbps]
Latência fim-a-fim	<1 [ms]
Tipo de usuário	Humano e máquina
Mobilidade do usuário	0 ~ 80 [km/h]
Tamanho da célula	0,2 ~ 3 [km]
Banda de operação	B / C
Perfil de atraso do canal	EVA
Banda de coerência	56 [kHz]
Máximo desvio Doppler	B: 60 [Hz]
	C: 200 [Hz]
	B: 8 [ms]
Tempo de coerência mínimo	C: 2,5 [ms]

ao sistema de comunicação deve ser inferior aos 10 ms oferecidos atualmente pelas redes 4G para viabilizar uma qualidade de experiência satisfatória. Além disso, um número cada vez maior de aplicativos está sendo executado na nuvem, mas os usuários, ao utilizarem estas aplicações, demandam uma resposta equivalente àquela experimentada ao executar uma aplicação armazenada localmente. As especificações deste caso são apresentadas na Tabela VIII.

TABELA VIII

ESPECIFICAÇÃO DO CASO DE USO “INTERNET TÁCTIL”.

Internet tátil	
Parâmetro	Valor
Taxa de dados	<100 [kbps]
Latência fim-a-fim	<1 [ms]
Tipo de usuário	Humano
Mobilidade do usuário	0 ~ 1 [km/h]
Tamanho da célula	<1 [km]
Banda de operação	B / C
Perfil de atraso do canal	EPA
Banda de coerência	440 [kHz]
Máximo desvio Doppler	B: 1 [Hz]
	C: 3 [Hz]
	B: 500 [ms]
Tempo de coerência mínimo	C: 170 [ms]

2) *Comunicações ultra-confiáveis*: Este caso se aplica tanto para aplicações controladas por pessoas quanto para comunicações exclusivamente entre máquinas. De um lado, a manipulação remota de objetos, como em procedimentos cirúrgicos realizados remotamente, ou robôs utilizados em operações de resgate em zonas de risco exigem que os comandos enviados pelo operador sejam executados instantaneamente. Do outro lado, as aplicações voltadas a controle e segurança no trânsito e direção autônoma de veículos tendem a estar cada vez mais presente como uma forma de reduzir acidentes no trânsito e melhorar a eficiência do tráfego. Redes elétricas inteligentes também requerem conexão em tempo real para reagir aos eventuais alertas gerados pelos equipamentos de medição e que necessitam de atuação instantânea para fins de proteção da infraestrutura destas redes. Além da baixa latência, estes casos necessitam que o serviço apresente uma confiabilidade de no mínimo 99,999% [14]. As especificações deste caso são apresentadas na Tabela IX.

III. EVOLUÇÃO DA CAMADA FÍSICA

Até o momento, os principais padrões de comunicação banda larga empregam o OFDM na camada física em função da sua robustez frente a canais seletivos em frequência e implementação simples com a utilização de algoritmos para o cômputo da FFT (*Fast Fourier Transform*). No entanto, o OFDM apresenta uma série de limitações que não o torna a tecnologia mais adequada para atender as demandas dos cenários previstos para a 5G:

- *Alta Vazão*: A elevada emissão fora da faixa prejudica o uso de pico e femto células devido ao elevado nível de interferência gerada. Este fator também dificulta a agregação dinâmica de espectro de forma não contínua, o que é necessário para se atingir a vazão objetivada.
- *WRAN*: A emissão fora da faixa também atrapalha o uso de rádios cognitivos que poderiam transmitir oportunamente em lacunas espectrais e em faixas não contínuas. Os longos atrasos dos percursos em áreas de grande cobertura demandam Prefixos Cíclicos (PC) longos, o que prejudica consideravelmente a eficiência da comunicação.
- *Comunicação entre Máquinas*: A necessidade de sincronismo para manter a ortogonalidade entre os usuários requer um consumo elevado e proibitivo de energia. A emissão fora da faixa também é prejudicial pois causa demasiada interferência entre os dispositivos.
- *Super Tempo Real*: O OFDM utiliza um PC por símbolo para garantir que não haja interferência intersimbólica. Ao reduzir o tempo de símbolo para atender ao requisito de baixa latência, a perda de vazão em função da introdução do PC inviabiliza a comunicação.

As limitações do OFDM estão motivando a pesquisa e o desenvolvimento de novas técnicas de modulação multiportadoras. Dentre as mais recentes, três estão se destacando por não utilizarem o princípio da ortogonalidade e, em função disto, possuírem maior flexibilidade para a geração da forma de onda. O FBMC (*Filter Bank Multicarrier*) [15] utiliza filtros digitais por subportadora que reduzem sensivelmente a emissão fora da faixa. O UFMC (*Universal Frequency Multicarrier*) [16] emprega o mesmo princípio, porém agrupando as subportadoras em subconjuntos que são filtrados individualmente, resultando em um compromisso entre emissão fora da faixa e comprimento da resposta ao impulso dos

filtros de transmissão. Já o GFDM (*Generalized Frequency Division Multiplexing*) [17] utiliza uma estrutura de bloco onde K subportadoras são empregadas para transmitir MK símbolos. Cada subportadora é filtrada individualmente utilizando convolução circular, de modo que o sinal gerado possui comprimento limitado em MK amostras.

As mudanças inerentes trazidas por estas novas tecnologias impactam em outros subsistemas, como codificação de canal, múltiplo acesso, sensoriamento espectral e alocação de recursos. Portanto, o conhecimento acerca destas novas soluções torna-se estratégico para aqueles que objetivam colaborar com a concepção de novos padrões e com o desenvolvimento de novos produtos. Além disso, esquemas de cancelamento de interferência entre células dependem fortemente das características dos sinais transmitidos e requerem um elevado fluxo de dados e processamento de informações do sistema e dos usuários praticamente em tempo real. Assim, a definição dos esquemas de modulações voltados para atender as demandas dos cenários da 5G irão trazer grande impacto para as camadas superiores das futuras redes móveis. A concepção de uma camada física flexível e que procure atender de forma harmoniosa os diversos requisitos é fundamental para o sucesso da 5G.

IV. CONCLUSÕES

Foram apresentados os cenários que devem ser atendidos pelas redes 5G no Brasil. É possível perceber que estes possuem requisitos conflitantes como densidade de pontos de acesso, área de cobertura e padrão de tráfego. Isto mostra que os padrões 5G devem ser flexíveis o suficiente para atender a essas diferentes condições. Portanto, as técnicas de transmissão utilizadas deverão possibilitar a reconfiguração de seus parâmetros para que sejam capazes de atender a esses diferentes requisitos. Sem a flexibilidade necessária para atender as futuras aplicações, modelos de negócios podem ser inviabilizados, reduzindo o impacto social e econômico das futuras redes. Desta forma, a concepção de uma camada física flexível, que se adapte às diferentes demandas das aplicações, é essencial para o estabelecimento de uma nova rede de comunicação móvel.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi subsidiado pelo Finep/Funttel convênio nº 01.14.0231.00, sob o projeto CRR (Centro de Referência em Radiocomunicações).

REFERÊNCIAS

[1] Lee, William CY. *Mobile cellular telecommunications: analog and digital systems*. McGraw-Hill Professional, 1995.
 [2] Halonen, Timo, Javier Romero, and Juan Melero, eds. *GSM, GPRS and EDGE performance: evolution towards 3G/UMTS*. John Wiley & Sons, 2004.
 [3] Holma, Harri, and Antti Toskala. *WCDMA for UMTS*. Vol. 2006. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.
 [4] Kuhn, Volker. *Wireless communications over MIMO channels: applications to CDMA and multiple antenna systems*. John Wiley & Sons, 2006.
 [5] *LTE: the UMTS long term evolution*. New York: John Wiley & Sons, 2009.
 [6] Andrews, J.G.; Buzzi, S.; Wan Choi; Hanly, S.V.; Lozano, A.; Soong, A.C.K.; Zhang, J.C., "What Will 5G Be?," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.32, nº.6, pp.1065,1082, Junho 2014

[7] Pirinen, P., "A brief overview of 5G research activities," 1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), Novembro 2014
 [8] FP7 Integrating Project METIS - ICT 317669. www.metis2020.com
 [9] NGMN Alliance - www.ngmn.org
 [10] ETSI UMTS Technical Report TR 101 112 V3.1.0 (UMTS 30.03)
 [11] ETSI 3GPP Technical Specification TS 36.521-1 version 11.2.0 Rel. 11
 [12] *WRAN Channel Modeling*, IEEE802.22-05/0055r7, Aug. 2005.
 [13] Irmer, R.; Droste, H.; Marsch, P.; Grieger, M.; Fettweis, G.; Brueck, S.; Mayer, H.-P.; Thiele, L.; Jungnickel, V., "Coordinated multipoint: Concepts, performance, and field trial results," IEEE Communications Magazine, vol.49, no.2, pp.102,111, Fevereiro 2011
 [14] ICT-317669 METIS Project, "Scenarios, Requirements and KPIs for 5G Mobile and Wireless System," Del. D1.1, May 2013, https://www.metis2020.com/documents/deliverables/
 [15] Farhang-Boroujeny, B., "OFDM Versus Filter Bank Multicarrier," IEEE Signal Processing Magazine, vol.28, no.3, pp.92,112, Maio 2011
 [16] Yejian Chen; Schaich, F.; Wild, T., "Multiple Access and Waveforms for 5G: IDMA and Universal Filtered Multi-Carrier," IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Maio 2014
 [17] Michailow, N.; Matthe, M.; Gaspar, I.S.; Caldevilla, A.N.; Mendes, L.L.; Festag, A.; Fettweis, G., "Generalized Frequency Division Multiplexing for 5th Generation Cellular Networks," IEEE Transactions on Communications, vol.62, no.9, pp.3045,3061, Setembro 2014

APÊNDICE I

TABELA X

FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO CONSIDERADAS PARA AS REDES 5G.

Grupo	Freqüência [MHz]	Canalização [MHz]	
A	450 ~ 470	7	Até 100 MHz utilizando agregação de portadoras intra e inter bandas
B	698 ~ 806	10/20	
C	2500 ~ 2690	10/20	

TABELA XI

PERFIL DE ATRASO DOS CANAIS *Extended Pedestrian A (EPA)*, *Extended Vehicular A (EVA)*, *Extended Typical Urban (ETU)*, *Indoor A* E *WRAN*.

EPA	Percurso	1	2	3	4	5	6	7	-	
	τ [ns]	10	300	70	90	110	190	410		
	Nível [dB]	0	-1	-2	-3	-8	-17,2	-20,8		
	τ_{rms} [ns]	45								
EVA	Percurso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	τ [ns]	0	30	150	310	370	710	1090	1730	2510
	Nível [dB]	0	-1,5	-1,4	-3,6	-0,6	-9,1	-7,0	-12,0	-16,9
	τ_{rms} [ns]	357								
ETU	Percurso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	τ [ns]	0	50	120	200	230	500	1600	2300	5000
	Nível [dB]	-1	-1	-1	0	0	0	-3	-5	-7
	τ_{rms} [ns]	990								
Indoor A	Percurso	1	2	3	4	5	6	-		
	τ [ns]	0	50	110	170	290	310			
	Nível [dB]	0	-1	-2	-3	-8	-17,2			
	τ_{rms} [ns]	35								
WRAN C	Percurso	1	2	3	4	5	6	-		
	τ [μ s]	-2	0	5	16	24	33			
	Nível [dB]	-9	0	-19,0	14,0	-24,0	-16,0			
	τ_{rms}	5,7 [μ s]								
WRAN D+	Percurso	1	2	3	4	5	6	-		
	τ [μ s]	2	0	5	16	22	0			
	Nível [dB]	-10,0	0	-22,0	-18,0	-21,0	+10,0			
	τ_{rms}	0,871 [μ s]								
WRAN D-	Percurso	1	2	3	4	5	6	-		
	τ [μ s]	2	0	5	16	22	60			
	Nível [dB]	-10,0	0	-22,0	-18,0	-21,0	0			
	τ_{rms}	30,0 [μ s]								