

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DA INTERFERÊNCIA ENTRE SISTEMAS LTE E DE TV
DIGITAL EM CANAL ADJACENTE NA FAIXA DOS 700 MHz**

DÉRCIO MANUEL MATHE

DM 11 / 2014

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário Do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DA INTERFERÊNCIA ENTRE SISTEMAS LTE E DE TV
DIGITAL EM CANAL ADJACENTE NA FAIXA DOS 700 MHz**

DÉRCIO MANUEL MATHE

DM 11 / 2014

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário Do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DÉRCIO MANUEL MATHE

**ESTUDO DA INTERFERÊNCIA ENTRE SISTEMAS LTE E DE TV
DIGITAL EM CANAL ADJACENTE NA FAIXA DOS 700 MHz**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Pará para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Telecomunicações.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário Do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Mathe, Dêrcio Manuel, 1987-

Estudo da interferência entre sistemas lte e de tv digital em canal adjacente na faixa dos 700 mhz / Dêrcio Manuel Mathe. - 2014.

Orientador: João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2014.

1. Televisão digital - modelos matemáticos.
2. Interferência elétrica. 3. Monte Carlo, método de. I. Título.

CDD 22. ed. 621.38807

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DA INTERFERÊNCIA ENTRE SISTEMAS LTE E DE TV
DIGITAL EM CANAL ADJACENTE NA FAIXA DOS 700 MHz**

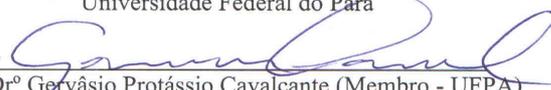
AUTOR: DÉRCIO MANUEL MATHE.

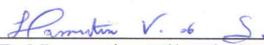
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.

APROVADA EM ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Drº João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa (Orientador)
Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações
Universidade Federal do Pará


Prof. Drº Gervásio Protássio Cavalcante (Membro - UFPA)
Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações
Universidade Federal do Pará


Prof. Drº Lamartine Vilar de Souza (Membro Externo - UFPA)
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Universidade Federal do Pará

VISTO:

Prof. Drº Evaldo Gonçalves Pelaes
(COORDENADOR DO PPGEE/CT/UFPA)
UFPA / CT / PPGEE

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me guiar e iluminar os meus caminhos. Especialmente, agradeço aos meus pais, minha família, que sempre me apoiou de forma incondicional e mesmo com dificuldades investiram na minha formação. Gostaria de agradecer também ao meu orientador pela oportunidade que me concedeu para que cursasse uma Pós-graduação. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Ministério da Ciência e Tecnologia de Moçambique (MCT) que através do programa “**PEC-PG - CAPES/CNPq – Brasil**” prestaram o apoio financeiro total à esta pesquisa. À todos os colegas do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEA), meus amigos, e todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, vai a minha gratidão.

Obrigado!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto da interferência mútua entre os sistemas de Televisão Digital (DTV) e *Long Term Evolution* (LTE) em canal adjacente na faixa dos 700 MHz. Durante a análise, são determinadas mínimas distâncias de separação e bandas de guarda adequadas para garantir a coexistência dos sistemas nesta faixa de frequências. O impacto da interferência é avaliado em um cenário onde a Televisão digital e o LTE operam nos canais 51 e 52 respectivamente. Para obtenção dos resultados, este trabalho foi feito através de simulações de Monte Carlo. Quatro classes de Televisão Digital foram consideradas durante as simulações: classe Especial, classe A, classe B e classe C. Os resultados mostram que, as classes Especial, A e B causam interferência no LTE e que o impacto desta interferência depende da banda de guarda e também da distância de separação entre os dois sistemas. Além disso, os resultados mostram também que o aumento da largura de banda do sistema LTE só tem maior impacto se o LTE for o sistema interferido. Entretanto, os resultados mostraram que é possível a coexistência dos sistemas LTE e TVD nesta faixa desde que distâncias de isolamento e bandas de guarda adequadas sejam respeitadas.

Palavras chave: Televisão Digital; LTE; Dividendo Digital; Canal Adjacente; Coexistência; Interferência.

ABSTRACT

This work aims to analyze the impact of mutual interference between digital television (DTV) and Long Term Evolution (LTE) systems in adjacent channels in the 700 MHz band. During the analysis, minimum separation distances and adequate guard bands between the systems are determined to ensure their coexistence in this band. The interference impact is evaluated in a scenario where the DTV and LTE operate on channels 51 and 52 respectively. In order to obtain the results, this study was made through Monte Carlo simulations. Four classes of Digital Television were considered during the simulations: Special class, class A, class B and class C. The results show that the classes Special, A and B cause interference with the LTE, and the impact of such interference depends on the guard band and also the separation distance between the systems. Furthermore, the results also show that increasing the LTE bandwidth only has a greater impact if the LTE is the victim system. However, the coexistence of LTE and DTV systems in this band is possible once isolation distances and adequate guard bands respected.

Keywords: Digital Television, LTE, Digital Dividend, Adjacent Channel, Coexistence, Interference.

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos e estruturado da seguinte forma:

Capítulo I: neste capítulo é feita a apresentação do trabalho, e são apresentados as justificativas, trabalhos relacionados e os objetivos do mesmo.

Capítulo II: Apresenta a base teórica que fundamenta a pesquisa. É neste capítulo onde são encontrados os conceitos relacionados a TVD, LTE, DD, assim como os conceitos relacionados a interferência.

Capítulo III: é feita a apresentação do cenário para o qual foi feito o estudo, a metodologia de análise da interferência, assim como a modelagem matemática do problema.

Capítulo IV: neste capítulo é feita a apresentação da ferramenta de simulação SEAMCAT, que auxilia no estudo da interferência.

Capítulo V: este capítulo apresenta os resultados alcançados neste trabalho e a sua respectiva análise.

Capítulo VI: é feita a conclusão do trabalho e são apresentadas as propostas para trabalhos futuros.

LISTA DE ABREVIATURAS

2G	Tecnologia de segunda geração
3G	Tecnologia de terceira geração
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
AAC	<i>Advanced Audio Coding</i>
AC	<i>Audio coding</i>
ACIR	<i>Adjacent Channel Interference Ratio</i>
ACLR	<i>Adjacent Channel Leakage Power Ratio</i>
ACS	<i>Adjacent Channel Selectivity</i>
ATSC	<i>Advanced Television System Committee</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BS	<i>Base Station</i>
CH	<i>Channel (canal)</i>
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
DD	<i>Dividendo Digital</i>
DTMB	<i>Digital Terrestrial Multimedia Broadcast</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
ENodeB	<i>Enhanced Node B</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
ERP	<i>Effective Radiated Power</i>
EUTRAN	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplex</i>
FM	<i>Modulação de Frequência</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i>
HNMT	<i>Altura do Nível Médio do Terreno</i>
HSDPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
IMT	<i>International Mobile Telecomunicações</i>
ISDB-T	<i>Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial</i>
ISDTV	<i>International Standard for Digital Television</i>
LDPC	<i>Low Density Parity Check Code</i>
LDTV	<i>Low Definition Television</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MCM	<i>Multiple Carrier Modulation</i>
MFN	<i>Multiple Frequency Network</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>

MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
NTSC	<i>National Television System Committee</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PAL	<i>Phase Alternating Line</i>
PARP	<i>Peak-to-Average power ratio</i>
PSNR	<i>Peak signal-to-noise ratio</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RLC	<i>Radio Link Control</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
SC-FDMA	<i>Single Carrier - Frequency Division Multiple Access</i>
SCM	<i>Single Carrier Modulation</i>
SDTV	<i>Standard definition Television</i>
SFN	<i>Single Frequency Network</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TV	<i>Televisão</i>
TVD	<i>Televisão Digital</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VSB	<i>Vestigial Side Band</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Padrão básico de transmissão da TV digital	22
Figura 2.2: Esquema de funcionamento do padrão ATSC	25
Figura 2.3: Esquema do padrão DVB-T	26
Figura 2.4: Esquema do padrão ISDB-T	28
Figura 2.5: Esquema do padrão ISDTV	29
Figura 2.6: Esquema do padrão DTMB	30
Figura 2.7: Arquitetura geral da interface aérea (EUTRAN) do LTE	36
Figura 2.8: Tecnologias de múltiplo acesso do LTE no domínio da frequência	38
Figura 2.9: Arquitetura de uma rede LTE	40
Figura 2.10: Células co-canal	44
Figura 2.11: Dividendo digital na faixa de UHF	46
Figura 3.1: Representação de sistema de televisão	52
Figura 3.2: representação de um sistema celular	53
Figura 3.3: Cenário de Análise	54
Figura 3.4: cenário de interferência entre a TVD e o LTE	55
Figura 4.1 Interface gráfica do SEAMCAT	62
Figura 4.2. Arquitetura do SEAMCAT	64
Figura 5.1: Probabilidade de interferência do LTE na TVD para 2 MHz de banda de guarda	68
Figura 5.2: Probabilidade de interferência do LTE na TVD para 3 MHz de banda de guarda	69
Figura 5.3: Probabilidade de interferência do LTE na TVD para 4 MHz de banda de guarda	70
Figura 5.4: Perda de capacidade para LTE operando com 5 MHz de largura de banda	72
Figura 5.5: Perda de capacidade para LTE operando com 5 MHz de largura de banda	72
Figura 5.6: Perda de capacidade para LTE operando com 10 MHz de largura de banda	73
Figura 5.7: Perda de capacidade para LTE operando com 10 MHz de largura de banda	74
Figura 5.8: Perda de capacidade para LTE operando com 20 MHz de largura de banda	75
Figura 5.9: Perda de capacidade para LTE operando com 20 MHz de largura de banda	75
Figura 5.10: Perda de capacidade do sistema LTE provocada pela TVD da Classe B	76
Figura 5.11: Perda de capacidade do sistema LTE provocada pela TVD da Classe C	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: comparação das classes da TV digital	23
Tabela 2.2: Especificações de transmissão terrestre da TV Digital	24
Tabela 2.3: Frequência dos canais de TV (faixa de VHF e UHF)	32
Tabela 2.4. Espectro do sistema LTE em modo FDD	42
Tabela 2.5. Espectro do sistema LTE em modo TDD	43
Tabela 2.6: Contorno de proteção para a TV analógica e digital	50
Tabela 2.7: Relação D/U para proteção da TV analógica e digital	50
Tabela 3.1: Parâmetros de simulação para o LTE	56
Tabela 3.2: Parâmetros de simulação para a TVD	56
Tabela 3.3: Capacidade do canal e limiares de perda do LTE	60
Tabela 5.1: Resumo dos resultados	78

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	17
INTRODUÇÃO	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	19
1.4 OBJETIVOS.....	20
CAPÍTULO II.....	21
CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DA TVD E LTE.....	21
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 SISTEMAS DE TELEVISÃO DIGITAL	21
2.2.1 <i>Motivação para digitalização da TV</i>	23
2.2.2 <i>Padrões da Televisão Digital</i>	23
2.2.3 <i>Espectro Eletromagnético</i>	30
2.3 LONG TERM EVOLUTION – LTE.....	35
2.3.1 <i>Função das eNodeBs</i>	36
2.3.2 <i>Tecnologias empregadas no sistema LTE</i>	37
2.3.3 <i>Arquitetura do sistema LTE</i>	40
2.3.4 <i>Espectro do sistema LTE</i>	42
2.4 DIVIDENDO DIGITAL.....	46
2.4.1 <i>Disponibilidade do dividendo digital</i>	47
2.4.2 <i>Tamanho do dividendo digital</i>	47
2.4.3 <i>Importância do dividendo digital</i>	47
2.5 RECOMENDAÇÕES DO FCC PARA O USO DA FAIXA DE TV	48
2.5.1 <i>Proteção dos serviços de televisão</i>	49
2.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	51
CAPÍTULO III	52
3.1 CENÁRIO DE ANÁLISE.....	52
3.2 MODELAGEM MATEMÁTICA	57
3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE	59

CAPÍTULO IV	61
FERRAMENTA DE ANÁLISE	61
4.1 INTRODUÇÃO	61
4.1.1 METODOLOGIA DE FUNCIONAMENTO	61
4.1.1.1 MÉTODO DE MONTE CARLO NO SEAMCAT	63
4.2 ARQUITETURA DO SEAMCAT	64
4.2 APLICAÇÕES DO SEAMCAT	65
4.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	66
CAPÍTULO V	67
RESULTADOS DA PESQUISA	67
5.1 INTRODUÇÃO	67
<i>Primeiro caso</i>	67
<i>Conclusão da análise do primeiro cenário</i>	70
<i>Segundo caso</i>	71
<i>Conclusão da análise do segundo cenário</i>	77
5.2 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	79
CAPÍTULO VI	80
6.1 CONCLUSÃO DO TRABALHO	80
6.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS	82
ANEXOS	85

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Com a digitalização dos serviços de radiodifusão, uma ampla faixa de frequência em *Ultra High Frequency*¹ (UHF) será liberada nos próximos anos para uso comercial em vários países. Tal faixa de frequências é designada por Dividendo Digital (DD) [1]. Vários países no mundo, como são os casos do Japão, Estados Unidos e alguns países da Europa já alocaram uma parte do (DD) para os serviços de comunicações móveis [2], porém, diversos países ainda estão em processo de regulamentação para o uso desta faixa [3-4]. Uma vez que o cronograma e as definições para a digitalização da TV terrestre estão sendo conduzidos por cada país de modo independente, a grande maioria dos países, incluindo o Brasil, encontra-se na fase de convívio entre os sistemas analógico e digital e planeja desativar a transmissão analógica até o ano de 2016. Segundo [5], resolução elaborada no WRC-07² do ITU³, que trata das faixas de frequência para Telecomunicações Móveis Internacionais (IMT) operando abaixo de 1 GHz, o uso do dividendo digital pelos serviços móveis é importante, pela menor necessidade de estações rádio base, sendo de especial interesse para os países em desenvolvimento que possuem grandes áreas com baixa densidade populacional.

Atualmente, operadoras de televisão defendem que o dividendo digital deve ser reservado para a transmissão da TV em alta definição (HDTV). Porém, as operadoras de telefonia móvel sugerem que esta faixa de frequências deve ser destinada à alocação dos serviços móveis de banda larga, tais como LTE. Devido as suas características de propagação a faixa de frequências do dividendo digital é considerada atrativa para alocação de serviços como LTE, pois as ondas eletromagnéticas nesta faixa de frequências possibilitam maior raio de cobertura do sinal, quando comparado com as frequências acima de 1 GHz. Além disso, as frequências na faixa que corresponde ao DD apresentam um grau de imunidade a degradação do sinal bem maior em comparação com outras frequências acima da faixa de UHF [6-7].

¹ Frequência Ultra Alta

² *World radiocommunication conference*, conferência realizada em Genebra - Suíça no ano de 2007.

³ *International Telecommunication Union*, agência especializada das Nações Unidas, que é responsável por questões referentes às tecnologias de informação e comunicação.

Além da disponibilização da faixa correspondente ao dividendo digital para uso, pelos serviços móveis, a transição tecnológica da televisão, do analógico para digital, traz várias vantagens não só para os usuários finais (telespectadores), mas também para os provedores dos serviços. “A transição da televisão terrestre analógica para a digital traz para os telespectadores maior número de programas, uma melhor qualidade e novos serviços, como é o caso da TV de alta definição (HDTV). Portanto, esta transição representa uma evolução para este tipo de radiodifusão. Além disso, a transmissão de televisão no formato digital é muito mais eficiente na utilização do espectro de frequências do que a analógica” [8]. Como base de comparação, onde um único programa de TV analógica é transmitido, em um canal de transmissão de 6 MHz a 8 MHz de largura de banda, poderia ser transmitido no mesmo canal até 20 programas no formato digital, de qualidade equivalente. Por outro lado, a maioria dos padrões de TV Digital permite a implementação de redes de frequência única (*Single Frequency Networks - SFN*), permitindo assim a reutilização do mesmo espectro em áreas maiores, aumentando ainda mais a eficiência do espectro em comparação com as redes analógicas.

Entretanto, a alocação de serviços móveis como o LTE, na faixa do dividendo digital, poderá ocasionar o surgimento de um “conflito tecnológico”, devido à interferência que poderá surgir entre estes mesmos serviços e a televisão digital. Assim sendo, o presente trabalho estuda o impacto que a interferência de um sistema poderá causar no outro, isto é, este estudo analisa a interferência que a TV digital poderá provocar no LTE e vice-versa.

1.2 JUSTIFICATIVA

O espectro eletromagnético constitui um recurso escasso. Isto se deve ao crescimento atual das tecnologias de redes de acesso sem fio, que necessitam de um espaço no espectro para o seu funcionamento. Com a introdução da digitalização dos serviços da radiodifusão, uma parte do espectro eletromagnético (DD) que estava totalmente reservado para transmissão da rádio e TV, passou a ser considerada uma alternativa atrativa para a alocação de serviços móveis de banda larga comerciais. Esta alocação constitui uma grande preocupação para os provedores dos serviços de televisão, pois, existe a possibilidade de “conflito” entre estas tecnologias devido o surgimento da interferência de radio frequência (RFI). Esta possibilidade de interferência surge devido ao fato de a TVD e o LTE operarem em canais adjacentes. Assim sendo, o estudo da interferência mútua

entre o LTE e a TVD justifica-se pelo fato de o tema em questão ser bastante atual, relevante e constituir um desafio para a engenharia do espectro eletromagnético. Este estudo poderá ainda contribuir para o melhor planejamento da faixa do dividendo digital, assim como poderá contribuir para garantia da coexistência da TVD e LTE na faixa dos 700 MHz.

1.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Vários estudos são feitos sobre a coexistência entre os sistemas da televisão digital e o LTE na faixa do DD. Em [2], os autores analisam a interferência causada pela TV digital no LTE. Os resultados deste trabalho demonstram que o LTE sofre interferência da TVD e que esta interferência é mais severa no *uplink*⁴ do sistema interferido.

No trabalho apresentado em [9], os autores estudam o desempenho do sistema LTE em canal adjacente à TV digital, no entanto, nesse trabalho é considerado que ambos os sistemas se localizam em diferentes regiões geográficas, separados por distâncias de cerca de 50 km a 150 km. Assim como no caso do trabalho citado anteriormente, os resultados apresentados nesse trabalho mostraram também que a interferência poderá existir e será mais severa no *uplink* do LTE em relação ao *downlink*⁵.

No trabalho apresentado em [10], foi analisada a interferência co-canal (interferência que surge devido a reutilização de frequências, considerando longas distâncias de separação entre ambos os sistemas). O objetivo desse trabalho foi de avaliar a interferência mútua comparando os efeitos entre os dois links de rádio e assim identificar os casos mais críticos.

Outro trabalho realizado sobre a coexistência da TVD e LTE na faixa do DD foi apresentado em [11]. Os resultados deste trabalho mostram que, distâncias de separação suficientes entre os sistemas devem ser mantidas para isolar o LTE da TV digital. Nesse trabalho, os autores concluem que ao se implantar o sistema LTE em um canal adjacente a TV digital, devem ser consideradas algumas medidas para proteger os receptores da TV digital contra interferências de ambos sentidos do tráfego do sinal, *downlink* e *uplink* do LTE, porém, mais atenção deve ser tomada para o isolamento do *downlink* em ambiente urbano.

Diferente dos trabalhos citados, este trabalho analisa a interferência entre os sistemas TVD e LTE operando em canal adjacente, na mesma região geográfica, sendo que durante a

⁴ Tráfego do sinal no sentido do usuário para a estação radio base.

⁵ Tráfego do sinal no sentido da estação rádio base para o usuário.

análise são consideradas diferentes classes da TV digital. Para esta análise, foi considerada uma emissora de TV digital, operando no canal 51 (CH 51 – 692 MHz à 698 MHz), e o LTE operando no canal 52 (CH 52 – 698 MHz à 704 MHz). Por fim, são determinadas as mínimas distâncias físicas de separação, assim como as bandas de guarda necessárias entre os sistemas LTE e TVD, para permitir a sua coexistência nesta faixa de frequências.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é de analisar o impacto da interferência mútua entre a televisão digital e o sistema móvel de banda larga LTE, quando ambos estiverem operando em canais adjacentes (51 e 52) na faixa de UHF e na mesma região geográfica.

Como objetivo específico, este trabalho visa determinar distâncias mínimas de separação, assim como as bandas de guarda necessárias entre a TVD e o LTE, visando garantir o funcionamento destes sistemas sem interferir um no outro, ou que o nível de interferência seja o mínimo possível, para que os sistemas LTE e TVD funcionem com níveis aceitáveis de desempenho.

Para o alcance dos objetivos deste trabalho, o mesmo foi feito através de simulações de Monte Carlo, com auxílio da ferramenta de simulação: SEAMCAT (*Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool*).

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DA TVD E LTE

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as principais características dos sistemas de televisão digital e LTE. Serão apresentados também, os aspectos relacionados ao dividendo digital, que corresponde à faixa de frequências para qual será estudada a interferência entre os sistemas.

2.2 SISTEMAS DE TELEVISÃO DIGITAL

A Televisão Digital (TVD) está sendo implantada em substituição da analógica, consiste na produção, edição, transmissão e recepção de conteúdos digitais e digitalizados. Essa substituição acontece devido às inúmeras vantagens que a televisão digital oferece, comparando com a analógica.

A televisão digital oferece grande número de vantagens sobre a “velha” tecnologia analógica. Traz serviços em alta definição que possibilitam uma resolução muito maior do que a definição padrão da TV convencional, uma vez que é como uma “embalagem” de vários programas em definição padrão na mesma largura de banda do canal de uma televisão analógica. Porém, os usuários serão obrigados a adquirir novos equipamentos, tais como, aparelhos digitais ou decodificadores para conversão do sinal digital em analógico para que possa ser visualizado mesmo em receptores analógicos [12].

Além da boa qualidade dos sinais de áudio e de vídeo, na televisão digital, a codificação desses sinais, permite um uso mais eficiente do espectro eletromagnético, devido ao aumento da taxa de transmissão de dados na banda disponível [13].

O sistema de televisão digital é composto por um conjunto de padrões que identificam os componentes básicos, como é o caso do áudio e do vídeo, que representam o serviço essencial transmitido na televisão, alguns serviços novos como é o caso da interatividade (que consiste na interação do usuário com o provedor dos serviços através de um canal de retorno), assim como, o comércio eletrônico, o acesso à internet e serviços adicionados no sistema através do

*middleware*⁶. Dado o fato de na televisão digital os telespectadores poderem interagir com os provedores dos serviços, estes serão renomeados usuários [13].

A digitalização total da radiodifusão é um processo que leva determinado tempo para se concretizar, poucos são os países que já finalizaram a digitalização. Assim sendo, atualmente vive-se uma fase designada por *simulcast*⁷ enquanto se espera pelo *switch-off*⁸. Um esquema do padrão de transmissão da TV digital terrestre é apresentado na figura 2.1.

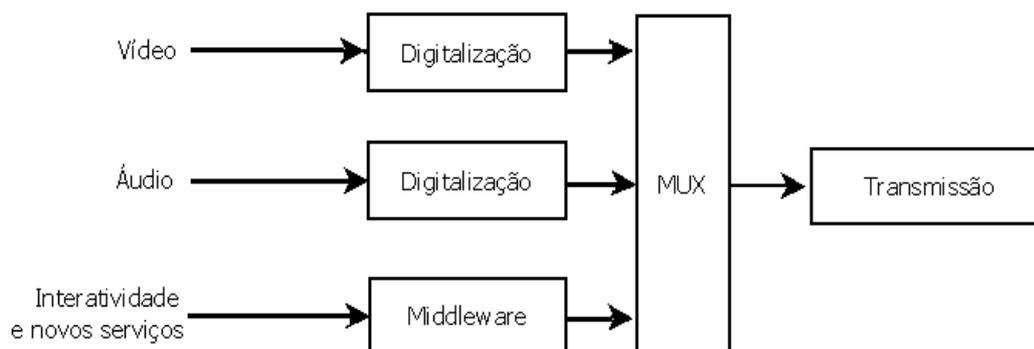


Figura 2.1: Padrão básico de transmissão da TV digital [13]

Segundo a norma apresentada em [10], as estações digitais são enquadradas em quatro classes designadas por: Classe Especial, classe A, classe B e classe C. A Classe Especial é utilizada somente para as estações do Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens (TV). Em UHF, a classe Especial permite transmitir a uma potência máxima de 80 kW, nos canais 14 ao 46 e 100 kW nos canais 47 ao 68, com uma distância máxima de contorno de serviço de 57 Km . Por outro lado, as classes A, B e C na faixa de UHF permitem a função RTV⁹ e transmitem a uma potência máxima de 8 kW, 0.8 kW e 0.08 kW, respectivamente, com distâncias de contorno de serviço de 42 km, 29 km e 18 km, respectivamente, conforme ilustra a tabela comparativa 2.1 [14].

⁶ Camada de software que ajuda a conectar as diversas camadas e componentes de um sistema distribuído.

⁷ *Simulcast* consiste na transmissão simultânea da televisão analógica e digital antes da desativação total da TV analógica.

⁸ *Switch-off* é o termo empregado no setor para designar o processo de desligamento das transmissões de TV aberta analógica, após um período de transmissão simultânea das emissoras com seus canais digitais. Ao final do processo de *switch-off* restarão no país, para a radiodifusão da TV aberta, apenas as transmissões no padrão digital.

⁹ Retransmissão de Televisão, serviço destinado a retransmitir, de forma simultânea, os sinais de estação geradora de televisão, para a recepção livre e gratuita pelo público em geral.

Tabela 2.1: Comparação das classes da TV digital [14].

Classe	Canais	Máxima Potência de transmissão (ERP)	Altura de Antena - HNMT ¹⁰ (m)	Distância Máxima ao contorno de serviço ¹¹ (km)
Especial	14 até 46	80 kW	150	57
	47 até 68	100 kW		
A	14 até 68	8 kW		42
B	14 até 68	0.8 kW		29
C	14 até 68	0.08 kW		18

2.2.1 Motivação para digitalização da TV

A primeira motivação para a migração da televisão analógica para digital foi a necessidade da conversão dos padrões de transmissão (NTSC de 525 linhas para PAL de 625 linhas) que é um processo extremamente complexo no domínio analógico. Além deste, outros motivos para a digitalização são: a possibilidade de transmissão de vários programas digitalizados na mesma largura de banda alocada para um único canal analógico, a possibilidade de transmissão em alta definição em um único canal e a integração de serviços de interatividade na transmissão. Para além de a TV ser visualizada apenas em aparelhos convencionais, a TVD oferece a possibilidade de recepção em vários dispositivos, tais como telefones celulares, computadores e outros dispositivos em veículos automóveis.

A televisão digital apresenta um grau considerável de imunidade ao ruído, portanto, técnicas simples de correção de erros permitem a reconstituição do sinal afetado. Outra grande vantagem da digitalização é a estabilidade dos componentes digitais o fato de serem de baixo custo [11].

2.2.2 Padrões da Televisão Digital

Para os padrões da televisão digital a técnica de modulação usada na transmissão é a principal característica. No geral são usadas duas técnicas: a modulação de portadora única (SCM) e a modulação por multi-portadoras (MCM). Dessa forma, cada técnica de modulação causa diferentes comportamentos do sinal no canal, considerando também as diferenças no

¹⁰ Altura da antena de transmissão sobre o nível médio do terreno.

¹¹ Área de proteção onde a estação da TV deverá operar livre de interferências.

processo de codificação do sinal. Existem em operação cinco principais padrões de TV digital no mundo [13]:

- Advanced Television System Committee (ATSC);
- Digital Video Broadcasting Terrestrial (DVB-T);
- Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (ISDB-T);
- International Standard for Digital Television (ISDTV);
- Digital Terrestrial Multimedia Broadcast (DTMB).

Os padrões acima apresentados referem-se à TV digital terrestre, portanto, existem outras variedades destes padrões para TV digital transmitida via cabo e por satélite. A Tabela 2.2 apresenta as especificações dos padrões de transmissão terrestre da TV digital.

Tabela 2.2: Especificações de transmissão terrestre da TV Digital [13]

	ATSC	DVB-T	ISDB-T	ISDTV	DTMB
Digitalização do Vídeo	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	H.264	MPEG-2
Digitalização Do Áudio	Dolby AC-3	MPEG-2 ACC	MPEG-2 AAC	H.264	MPEG-2
Multiplexação do sinal	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2
Modulação	8-VSB	COFDM	COFDM	COFDM	SCM e MCM
Middleware	DASE	MHP	ARIB	GINGA	IMP

2.2.2.1 Advanced Television System Committee – ATSC

O padrão ATSC, também conhecido como padrão americano, foi introduzido nos Estados Unidos em 1998, e tem como principal característica usar portadora única, com modulação de amplitude de 8 níveis na versão *8 Vestigial Sideband* (8-VSB) e ocupa a mesma faixa de 6 MHz utilizada pela televisão analógica [12].

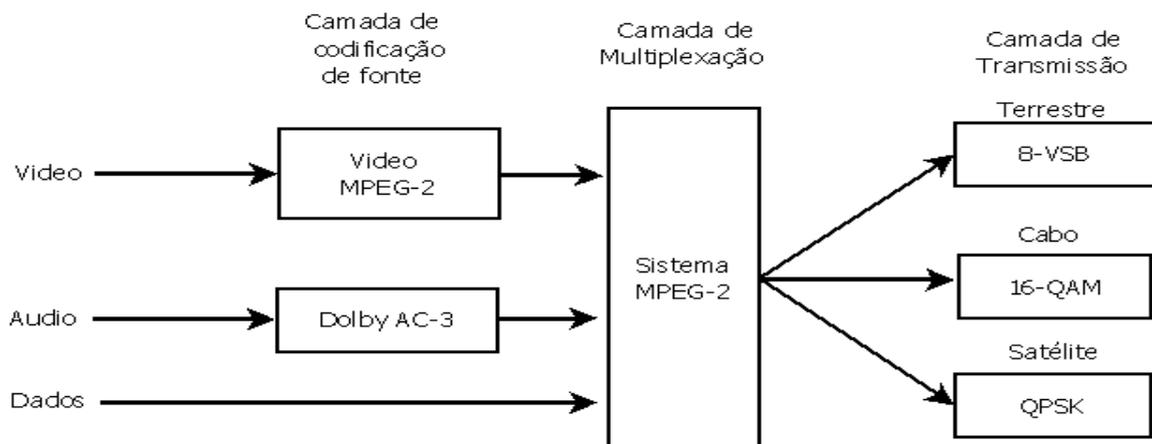


Figura 2.2: Esquema de funcionamento do padrão ATSC [13].

A Figura 2.3 apresenta o esquema de funcionamento do padrão ATSC. Conforme mostra a figura, o sistema é dividido em três camadas que são: a camada de codificação de fonte, onde ocorre a digitalização dos sinais de áudio e do vídeo; a camada de multiplexação, onde é feita a multiplexagem de todos os sinais que serão transmitidos e por último a camada de transmissão que inclui todo processo e técnicas para o transporte da informação da emissora para o receptor.

Além de 6 MHz de largura de banda do canal de transmissão, o padrão americano opera com 7 e 8 MHz. A informação original (informação que se pretende transmitir), com cerca da 1 Gbps de taxa, passa por processo de compressão para 19,3 Mbps e é codificada através do codificador Reed-Solomon (o mesmo usado em DVD), para proteção contra erros. O sinal resultante é modulado em 8-VSB usando SCM. Além disso, o padrão ATSC apresenta uma resolução da imagem de 1920 x 1080 com varredura entrelaçada, assim como 1280 x 720 em varredura progressiva.

O sistema ATSC foi desenvolvido para operar em canais com várias características de atenuação, desde o ruído branco ao multipercurso, ruídos impulsivo e de fase, assim como em faixas sobrecarregadas, com ótima eficiência espectral [13].

2.2.2.2 Digital Video Broadcasting Terrestrial - DVB-T

O padrão Europeu de televisão digital, DVB-T, diferencia-se fundamentalmente do padrão Americano ATSC no método de modulação utilizado. O método usado pelo ATSC é o de portadora única, modulada em amplitude com banda lateral vestigial (8-VSB), enquanto que o método usado pelo DVB-T é o de multi-portadoras (várias portadoras), moduladas em QPSK

(modulação por deslocamento de fase em quadratura), 16-QAM ou 64-QAM e multiplexadas por divisão de frequência (FDM). Este método de modulação é conhecido por *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM). Neste método, o sinal digital antes de ingressar no modulador OFDM é codificado por código corretor de erro que aumenta significativamente a robustez do sinal digital contra interferências providas do meio de transmissão [12]. A figura 2.4 apresenta o esquema do sistema DVB-T.

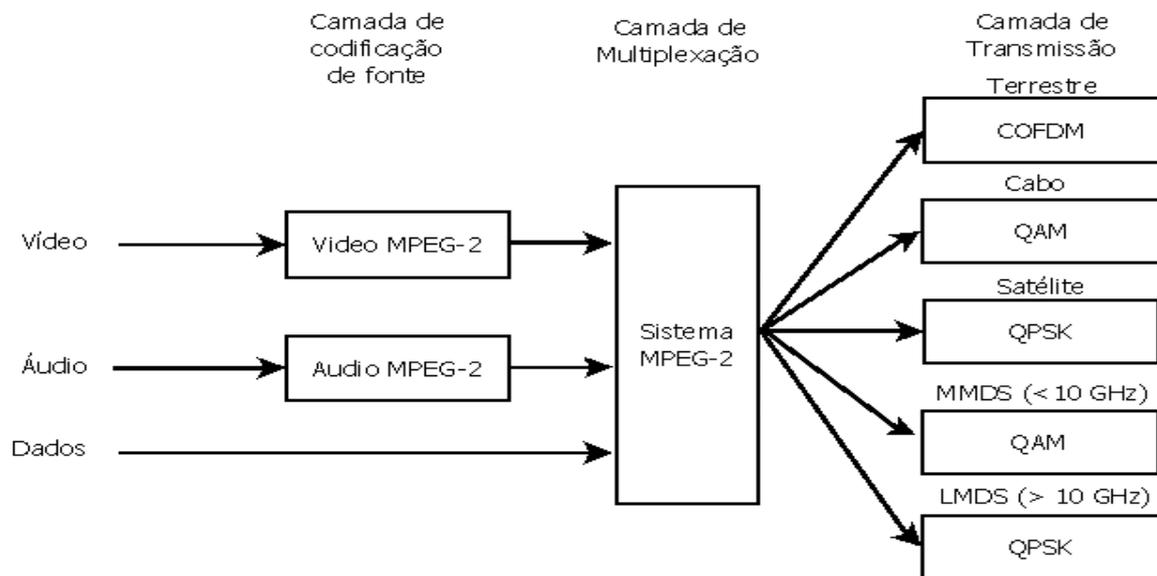


Figura 2.3: Esquema do padrão DVB-T [13].

O DVB-T foi desenvolvido para atender diferentes necessidades de diversos países, desta forma, o DVB-T é um padrão flexível em relação aos modos de configuração. O sistema de transmissão opera em canais de 6, 7 e 8 MHz de largura de banda e a taxa de dados varia entre 5 a 31,5 Mbps. Assim sendo, em definição padrão, o sistema DVB-T permite a transmissão simultânea de até 6 programas em um único canal destinado a TV analógica. Para proteção contra erros, DVB-T usa o código Reed-Solomon combinado com o código convolucional, o mesmo que se usa em comunicações móveis com supressão de alguns bits. Para garantir uma robustez contra interferência inter-simbólica, emprega-se o uso de intervalos de guarda entre os símbolos [13].

O sistema de codificação e compressão de som utilizado pelo padrão europeu é denominado *Masking Pattern Universal Sub-band Integrated Coding and Multiplexing* (Musicam). Musicam emprega técnicas de codificação especificadas pelo padrão MPEG-2 Audio

Layer II. É um sistema de compressão digital que aproveita as características de mascaramento do ouvido para o som de nível mais baixo e de frequências próximas a um certo som proeminente. Pode oferecer canais na configuração mono, estéreo e multicanal para taxas de bits de até 384 Kbps (ou mais) [12].

2.2.2.3 *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial - ISDB-T*

O Padrão Japonês de TV digital ISDB-T é tido como uma evolução do padrão Europeu DVB-T, usa o mesmo sistema de multi-portadoras, modulação OFDM e inserção de intervalo de guarda. Desta forma, o padrão ISDB possui três modos de multi-portadoras: 2K, 4K e 8K. Este padrão traz a inovação, que é a segmentação de banda, sistema *band segmented transmission* (BST-OFDM), que divide a largura do canal de transmissão em 13 segmentos e, conforme o tipo de transmissão escolhida, o padrão utiliza um ou mais segmentos para cada camada [12]. O ISDB-T pode transmitir sinais de áudio, vídeo e dados ou a combinação dos três, uma vez que este padrão apresenta uma alta flexibilidade de configurações. As principais características do padrão ISDB-T são:

- Transmissão em HDTV, SDTV, LDTV;
- Transmissão de múltiplos programas;
- Serviços de interatividade e multimídia de alta qualidade para receptores convencionais e móveis;
- Transmissão hierárquica, que aceita definições singulares para vários receptores, inclusive a recepção parcial.

Assim como o ATSC e o DVB-T, o ISDB-T opera com canais de 6, 7 e 8 MHz de largura de banda. A correção de erros é feita através do codificador Reed-Solomon combinado com código convolucional. No sistema ISDB-T a taxa de transmissão varia entre 3,65 Mbps e 23,23 Mbps [13]. O esquema do padrão ISDB-T é apresentado na figura 2.5.

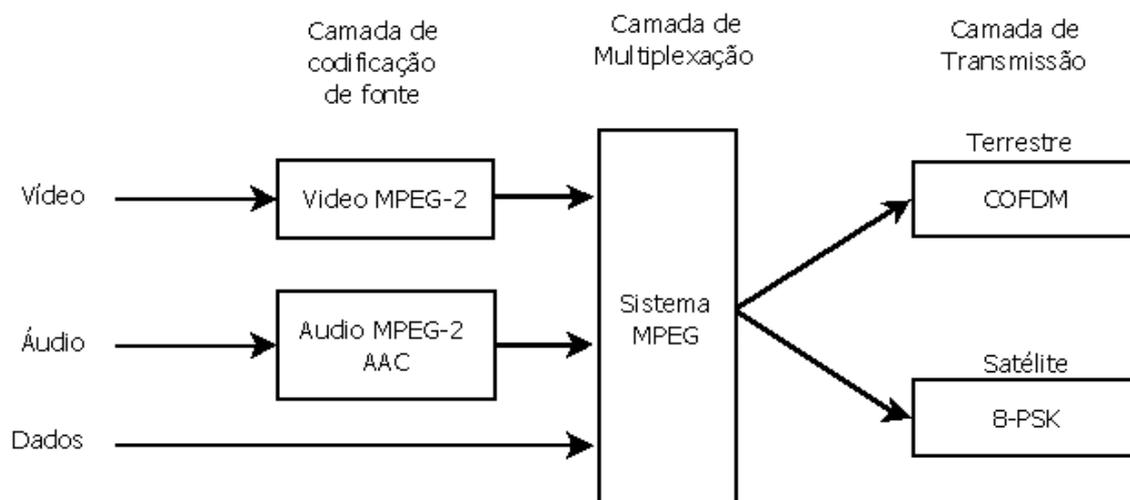


Figura 2.4: Esquema do padrão ISDB-T [13].

2.2.2.4 International Standard for Digital Television – ISDTV

O sistema Brasileiro de televisão digital (SBTVD), hoje designado por Padrão Internacional para Televisão Digital, com sigla em inglês ISDTV, foi desenvolvido a partir do padrão Japonês ISDB e lançado em novembro de 2003.

Assim como no padrão Japonês ISDB, no padrão ISDTV os sinais são transmitidos usando a técnica de banda segmentada (BST) e a multiplexação por divisão ortogonal de frequências (OFDM). Para a compreensão do vídeo, o sistema ISDTV optou pelo padrão H.264, (padrão para compressão de vídeo, baseado no MPEG-4), que é usado para codificação do vídeo em definição padrão (SD), alta definição (HD), assim como em resolução reduzida para dispositivos móveis / portáteis [13]. A figura 2.6 apresenta o esquema do funcionamento do padrão ISDTV.

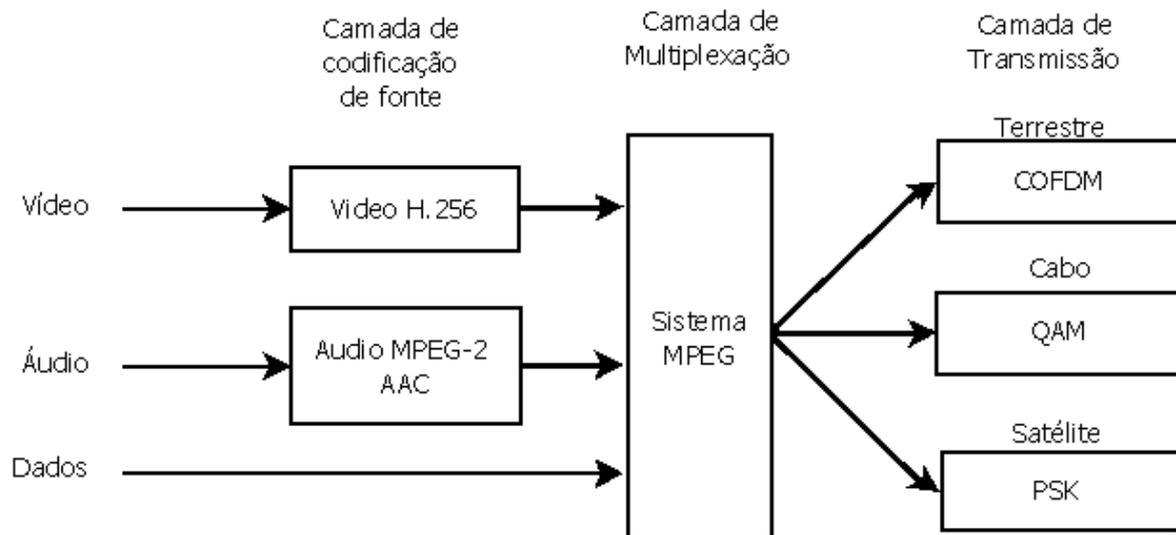


Figura 2.5: Esquema do padrão ISDTV [13].

Alguns dos benefícios esperados com o desenvolvimento de um padrão Brasileiro de Televisão digital são:

- Redução da dependência tecnológica;
- Incentivo à produção de softwares, conteúdo local e novas oportunidades de negócios;
- Promoção da Cultura Digital;
- Inserção mais efetiva da ciência e tecnologia brasileiras nos consórcios Internacionais.

2.2.2.5 Digital Terrestrial Multimedia Broadcast – DTMB

Digital Terrestrial Multimedia Broadcast (DTMB) é o padrão Chinês para televisão digital, destinado para recepção em terminais fixos e/ou móveis. Este padrão usa a técnica de transmissão de dados denominada por *Time Domain Synchronous-OFDM* (TDS-OFDM), que é basicamente uma tecnologia de modulação de várias portadoras, suportando tanto esquemas de modulação de portadora única, assim como de multi-portadoras. Além disso, o padrão DTMB aprimorou o seu desempenho através das tecnologias de proteção dos *frames*¹² (quadros) e adoção dos LDPC (*Low Density Parity Check Code*), que são códigos corretores de erro lineares [13]. O esquema de funcionamento do padrão chinês de TV digital é apresentado na figura 2.7

O padrão DTMB é capaz de transmitir o sinal de TV para o Receptor HDTV movendo-se a 200 km/h de velocidade. Este padrão também suporta serviço de TV digital móvel em computadores de mão, o que não se verifica nos padrões da Europa e América. Além disso, com o

¹² Imagens individuais que compõem um vídeo.

raio de cobertura do sinal utilizando o padrão de DTMB espera-se que seja 10 km mais longo do que o do padrão europeu, DVB-T [15].

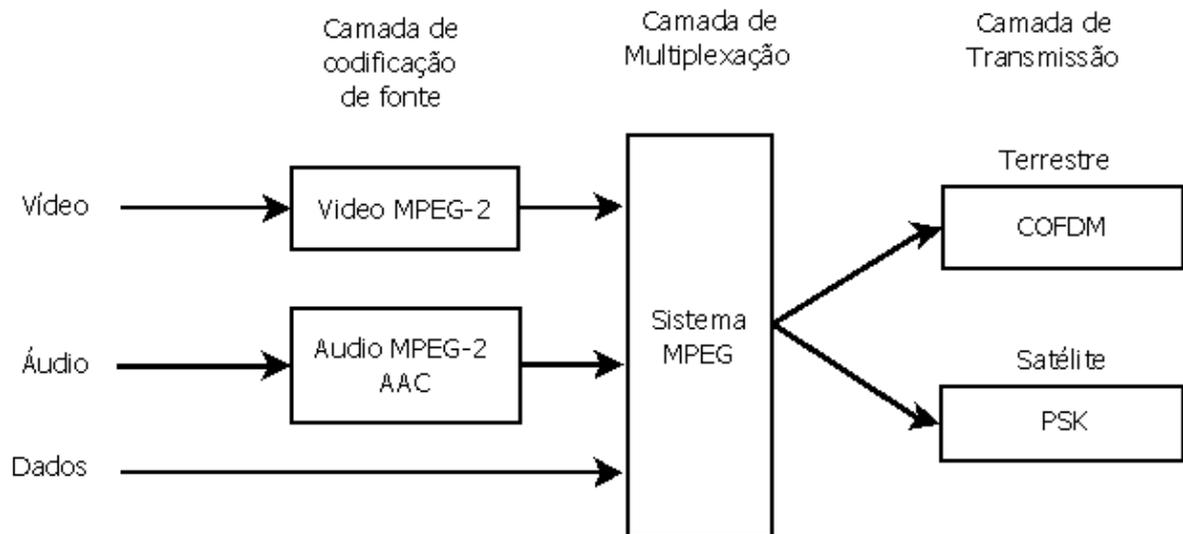


Figura 2.6: Esquema do padrão DTMB [13].

Em contrapartida, o padrão DTMB é tecnicamente o mais complexo nos esquemas de modulação em relação aos outros padrões, esse padrão pode ainda ser implementado em redes de frequência única (SFN), assim como em redes de múltiplas frequências (MFN) [15].

2.2.3 Espectro Eletromagnético

Espectro eletromagnético é o termo designado para a classificação do conjunto de frequências, com os seus respectivos comprimentos de onda que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas. Existem várias formas de ondas eletromagnéticas, estas ondas podem ser descritas em termos de campos elétricos e magnéticos. Porém, apesar de terem a mesma velocidade de propagação, as ondas eletromagnéticas diferem-se através da sua frequência e seu comprimento. No espectro eletromagnético não existem vazios, isto é, todas as regiões que compõem o espectro eletromagnético são reservadas para algum serviço específico [16].

2.2.3.1 Espectro da Televisão

O espectro destinado para transmissão da televisão terrestre abrange duas faixas, designadas por VHF (*very high frequency*), que são as frequências muito altas e UHF (*ultra high frequency*), que são as frequências ultra-altas. Na faixa de VHF (30 – 300 MHz), a televisão é transmitida nas frequências de 54 MHz até 216 MHz, o que corresponde aos canais de 2 até 13 no espectro. Ainda nesta faixa, opera o serviço de transmissão de rádio em FM, que ocupa uma faixa de 88 MHz até 108 MHz.

O alcance (raio de cobertura) de um sistema depende de fatores como: potência do transmissor, qualidade das antenas, da instalação assim como da sensibilidade do receptor.

A faixa de UHF (300 MHz – 3 GHz) abrange os canais 14 até 83 da televisão, o que corresponde a uma faixa de entre 470 MHz até 890 MHz. Além da transmissão da televisão, são transmitidos nesta faixa outros serviços, como é o caso da radioastronomia e segurança pública. Além disso, é nesta faixa de frequências destinada para TV que se encontra o dividendo digital, que resulta da transição tecnológica da radiodifusão, do analógico para digital. A Tabela 2.3 mostra detalhadamente o espectro alocado para televisão. A faixa de frequências que compreende os canais 2 ao 13, correspondem a faixa de VHF, enquanto que, a faixa que compreende os canais 14 ao 83 corresponde a faixa de UHF.

2.2.3.2 Interferência em sistemas de Televisão

2.2.3.2.1 Interferência eletromagnética

A interferência eletromagnética (EMI) ocorre quando duas ou mais ondas eletromagnéticas coincidem no tempo e no espaço. Esta interferência pode ser construtiva, quando existe um reforço máximo entre os movimentos ondulatórios envolvidos, assim como pode ser destrutiva, quando ocorre uma atenuação máxima entre os movimentos ondulatórios [17]. A interferência eletromagnética pode ser provocada por diversas fontes que podem ser naturais (quando ocorre devido o ruído cósmico, bem como relâmpago e outros tipos de ruídos atmosféricos), assim como as fontes provocadas pelo homem (circuitos eletrônicos).

A maioria dos equipamentos elétricos ou eletrônicos podem produzir EMI. As fontes mais comuns incluem componentes como fontes chaveadas, relés, motores, triacs¹³, e equipamentos,

¹³ O TRIAC é um componente formado basicamente por dois SCRs (diodo com três terminais: anodo, catodo e gate) internos ligados em paralelo.

tais como, impressoras eletrônicas, instrumentação médica, controles industriais, computadores pessoais e jogos eletrônicos.

Tabela 2.3: Frequência dos canais de TV (faixa de VHF e UHF).

CANAL	LARGURA DE FAIXA	PORTADORA DE VIDEO	PORTADORA DE SOM	OSCILADOR LOCAL	CANAL	LARGURA DE FAIXA	PORTADORA DE VIDEO	PORTADORA DE SOM	OSCILADOR LOCAL
2	54-60	55.25	59.75	101	43	644-650	645.25	649.75	691
3	60-66	61.25	65.75	107	44	650-656	651.25	655.75	697
4	66-72	67.25	71.75	113	45	656-662	657.25	661.75	703
5	76-82	77.25	81.75	123	46	662-668	663.25	667.75	709
6	82-88	83.25	87.75	129	47	668-674	669.25	673.75	715
7	174-180	175.25	179.75	221	48	674-680	675.25	679.75	721
8	180-186	181.25	185.75	227	49	680-686	681.25	685.75	727
9	186-192	187.25	191.75	233	50	686-692	687.25	691.75	733
10	192-198	193.25	197.75	239	51	692-698	693.25	697.75	739
11	198-204	199.25	203.75	245	52	698-704	699.25	703.75	745
12	204-210	205.25	209.75	251	53	704-710	705.25	709.75	751
13	210-216	211.25	215.75	257	54	710-716	711.25	715.75	757
14	470-476	471.25	475.75	517	55	716-722	717.25	721.75	763
15	476-482	477.25	481.75	523	56	722-728	723.25	727.75	769
16	482-488	483.25	487.75	529	57	728-734	729.25	733.75	775
17	488-494	489.25	493.75	535	58	734-740	735.25	739.75	781
18	494-500	495.25	499.75	541	59	740-746	741.25	745.75	787
19	500-506	501.25	505.75	547	60	746-752	747.25	751.75	793
20	506-512	507.25	511.75	553	61	752-758	753.25	757.75	799
21	512-518	513.25	517.75	559	62	758-764	759.25	763.75	805
22	518-524	519.25	523.75	565	63	764-770	765.25	769.75	811
23	524-530	525.25	529.75	571	64	770-776	771.25	775.75	817
24	530-536	531.25	535.75	577	65	776-782	777.25	781.75	823
25	536-542	537.25	541.75	583	66	782-788	783.25	787.75	829
26	542-548	543.25	547.75	589	67	788-794	789.25	793.75	835
27	548-554	549.25	553.75	595	68	794-800	795.25	799.75	841
28	554-560	555.25	559.75	601	69	800-806	801.25	805.75	847
29	560-566	561.25	565.75	607	70	806-812	807.25	811.75	853
30	566-572	567.25	571.75	613	71	812-818	813.25	817.75	859
31	572-578	573.25	577.75	619	72	818-824	819.25	823.75	865
32	578-584	579.25	583.75	625	73	824-830	825.25	829.75	871
33	584-590	585.25	589.75	631	74	830-836	831.25	835.75	877
34	590-596	591.25	595.75	637	75	836-842	837.25	841.75	883
35	596-602	597.25	601.75	643	76	842-848	843.25	847.75	889
36	602-608	603.25	607.75	649	77	848-854	849.25	853.75	895
37	608-614	609.25	613.75	655	78	854-860	855.25	859.75	901
38	614-620	615.25	619.75	661	79	860-866	861.25	865.75	907
39	620-626	621.25	625.75	667	80	866-872	867.25	871.75	913
40	626-632	627.25	631.75	673	81	872-878	873.25	877.75	919
41	632-638	633.25	637.75	679	82	878-884	879.25	883.75	925
42	638-644	639.25	643.75	685	83	884-890	885.25	889.75	931

Fonte: <http://www.teleondas.com.br/frequencias.html>.

Alguns dispositivos de uso doméstico tendem a emitir ondas eletromagnéticas de baixa frequência, enquanto que outros dispositivos, como é o caso dos computadores e outros dispositivos eletrônicos com circuitos integrados tendem a emitir ondas eletromagnéticas de alta

frequência. Assim sendo, se estas emissões tiverem energia suficiente e estiverem próximos de outros dispositivos, como por exemplo, os receptores da TV, poderão causar interferência e se essa interferência não for devidamente controlada, poderá afetar o funcionamento de outros sistemas.

A interferência pode ser emitida diretamente em um ambiente, a partir do próprio equipamento, assim como pode ser conduzida e liberada a partir de componentes e equipamentos por meio da linha de distribuição de energia. Essa interferência conduzida pode afetar o desempenho de qualquer dispositivo conectado na mesma rede.

A interferência eletromagnética é um fator ambiental que afeta significativamente o desempenho e a confiabilidade de qualquer sistema eletrônico [18].

2.2.3.2.2 Interferência de Radio-frequência

Interferência de rádio frequência (IRF) é a radiação ou condução de frequência de rádio energia ou ruído eletrônico produzido por aparelhos elétricos e eletrônicos em níveis que interferem com o funcionamento do equipamento adjacente.

Os sinais interferentes, também designados por espúrios, são sinais de outras comunicações que invadem o canal em uso, atrapalhando e dificultando as comunicações em andamento. Esses sinais podem ocorrer de forma ocasional assim como proposital e um exemplo desses sinais é a linha cruzada na ligação telefônica [19].

A IRF é qualquer emissão, radiação ou indução que comprometa o funcionamento ou que prejudique seriamente, obstrua ou interrompa repetidamente um sistema de comunicação, como um serviço de rádio navegação, serviços de telecomunicações, serviço de comunicações de rádio, pesquisa e serviço de resgate, ou serviço de meteorologia, operando de acordo com os procedimentos, normas e regulamentos aprovados. Para ser considerada prejudicial, a interferência deve provocar efeitos prejudiciais graves, tais como falhas do circuito e perda de mensagens no sinal transmitido.

Nos sistemas de televisão, a interferência pode ser de natureza co-canal ou de canal adjacente.

A interferência co-canal ocorre quando duas ou mais emissoras de televisão operam na mesma faixa de frequência, porém, em diferentes áreas de cobertura. Essa interferência

geralmente surge quando, na instalação dos transmissores de TV não se respeitam as distâncias adequadas para o seu isolamento.

A interferência de canal adjacente ocorre quando duas emissoras de TV adjacentes em frequência transmitem sinais, uma para a faixa de frequências da outra. Este tipo de interferência geralmente ocorre devido à imperfeição dos filtros nos receptores, que permitem a recepção de sinais indesejados, provenientes de faixas de frequências próximas.

A IRF, nos sistemas de TV, resulta na degradação do sinal transmitido, que se traduz em distorções da imagem, assim como no ruído que pode ser perceptível no áudio. As causas da interferência nos sistemas de televisão podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Deficiência na instalação - devido à deterioração causada por agentes atmosféricos, tais como sol, vento, chuva, os acessórios instalados para a TV que são as antenas, cabos e outros, podem eles próprios causar interferência na recepção;
- Condições Anormais de Propagação Radioelétrica - neste caso, a interferência ocorre devido às reflexões que o sinal sofre. Estas reflexões podem ser causadas pela imperfeição do terreno, edifícios etc. Assim sendo, é possível que vários sinais de televisão cheguem simultaneamente na antena de recepção, através de multipercursos. Além disso, pode acontecer que o mesmo sinal transmitido chegue à antena do receptor através de caminhos de propagação diferentes e, com desfasamento no tempo, resultando, por exemplo, na superposição de imagens;
- Funcionamento de aparelhos elétricos e eletrônicos - Este tipo de interferência ocorre, com alguma frequência, durante a utilização de eletrodomésticos e geralmente ocorre em intervalos de tempo regulares;
- Outras causas - essas causas podem ser sinais provenientes de outras estações emissoras, onde o sinal interferente superpõe-se ao sinal desejado. Este caso ocorre, quer por avaria dos componentes amplificadores do sistema de recepção, quer por defeitos de blindagem dos próprios receptores, ou até porque o sinal interferente é mais forte do que o sinal que se pretende receber. Além disso, os próprios receptores podem provocar interferências em outros receptores instalados nas proximidades, devido a radiações anormais dos seus osciladores.

2.3 LONG TERM EVOLUTION – LTE

Long Term Evolution (LTE) é a evolução da tecnologia de terceira geração (3G), que melhora o tráfego de dados do usuário final e eleva a experiência deste através da total mobilidade. O desenvolvimento do LTE, também conhecido como E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*), foi iniciado pelo consórcio 3GPP com objetivo de desenvolver um *framework* para a evolução da tecnologia de acesso rádio 3GPP possibilitando uma maior largura de banda, menor latência e tecnologia de rádio acesso otimizado de pacotes com capacidade de taxa de dados de pico de até 100 Mbps [20].

As redes LTE, são baseadas na tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), em combinação com modulações de ordem superior (até 64QAM), grandes larguras de banda (até 20 MHz) e multiplexação espacial no downlink (até 4x4). Por conseguinte, altas taxas de dados podem ser alcançadas nas redes LTE. Nessas redes, não existe um controlador inteligente centralizado, os eNodeBs (hardware conectado à rede de telefonia móvel e que se comunica diretamente com aparelhos móveis) são normalmente interconectados por meio de uma interface (X2) e para o núcleo de rede através da interface (S1), como ilustra a Figura 2.8. A razão para a distribuição de inteligência entre as estações bases nas redes LTE é de acelerar o estabelecimento da conexão e reduzir o tempo necessário para o *handover* (transição de um terminal móvel de uma célula para outra de forma transparente ao usuário). Por outro lado, na rede LTE a camada do protocolo MAC (camada que estabelece a lógica para o uso do meio de transmissão, evitando colisões entre os dados) está representada apenas no equipamento do usuário (EU) e na estação base, levando assim à comunicação e decisões mais rápidas entre o eNodeB e o EU [21].

Dentre várias vantagens que o sistema LTE oferece para os usuários e operadores destacam-se [21]:

- **Desempenho e capacidade:** fornecer taxas de pico *downlink* de pelo menos 100 Mbps e latência inferior a 10 ms;
- **Simplicidade:** o LTE suporta portadoras com largura de banda flexível, de menos de 5 MHz até 20 MHz em FDD e TDD. Uma operadora de telefonia móvel pode introduzir o LTE em diversas faixas, onde for mais fácil posicionar portadoras de 10 MHz ou 20 MHz de largura de banda. Por outro lado, o LTE apresenta diversos aspectos que simplificam a

construção e gerenciamento das redes de próxima geração, como é caso da instalação *plug-and-play*¹⁴, autoconfiguração e auto-otimização. Estes aspectos simplificarão e reduzirão o custo de implantação e gerenciamento da rede. Além disso, o LTE está sendo implementado em paralelo com redes de transporte e núcleo baseado em IP simplificados, nos quais a construção, manutenção e introdução de serviços são mais fáceis.

- **Variedade de terminais:** além dos telefones celulares, fazem parte dos terminais LTE dispositivos como computadores e vários outros dispositivos eletrônicos. Dado o fato de que o LTE também suporta o *handover* e *roaming*¹⁵, os terminais LTE podem ter cobertura de banda larga a todo o momento. A Figura 2.7 mostra a arquitetura da interface aérea do LTE.

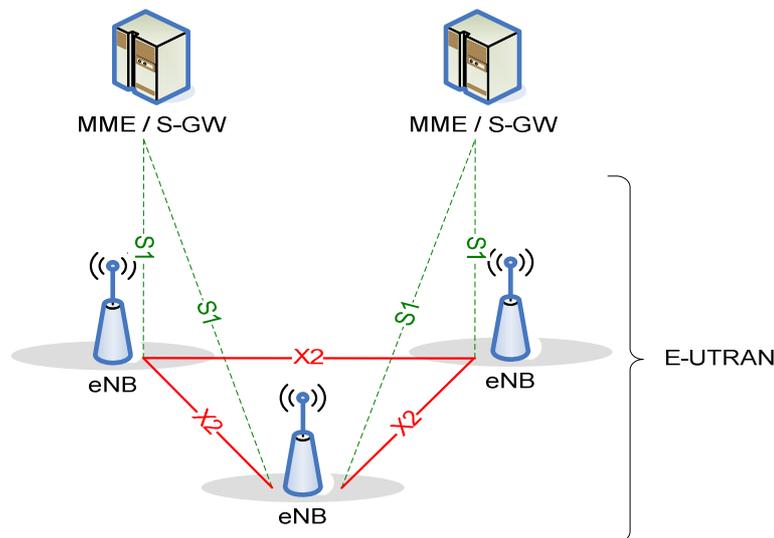


Figura 2.7: Arquitetura geral da interface aérea (E-UTRAN) do LTE [20].

Nesta arquitetura pode-se verificar os eNodeBs que estão interligados uns com os outros através da interface X2. Cada eNodeB está ligado à rede EPC (*Evolved Packet Core*), composta pelos módulos MME/S-GW, através da interface S1. No plano do usuário, a interface S1 termina no módulo S-GW (*Serving Gateway*), e no Plano de Sinalização, a interface S1 termina no módulo MME (*Mobility Management Entity*). Os eNodeBs são pontos terminais de controle e plano dos usuários para as EUs na rede.

2.3.1 Função das eNodeBs

¹⁴ Termo na língua inglesa que significa conectar e usar.

¹⁵ Capacidade de os usuários de uma rede obterem conectividade através de uma outra rede, em um local geográfico visitado.

Numa rede LTE os eNodeBs, ou simplesmente eNBs têm a função de [22]:

- Gestão de recursos rádio, como é o caso de: controle de mobilidade, alocação dinâmica de recursos aos usuários, tanto no *uplink* assim como no *downlink* (agendamento), etc...;
- Compactação do cabeçalho IP (Protocolo de Internet) e criptografia de fluxo de dados do usuário;
- Seleção de módulos MME (Entidades de Gerenciamento da Mobilidade) quando nenhum encaminhamento pode ser determinado a partir da informação fornecida pelo EU;
- Encaminhamento de dados dos usuários para os Gateways (S-GW);
- Agendamento e transmissão de mensagens de *paging*¹⁶ e informações de *broadcast* (provenientes do MME);
- Medição e configuração de relatórios de medição para mobilidade e agendamento.

2.3.2 Tecnologias empregadas no sistema LTE

No LTE podem ser destacadas três tecnologias como fundamentais para o projeto da interface de rádio. Estas tecnologias são: a tecnologia de portadoras múltiplas, os sistemas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), assim como a aplicação da comutação de pacotes para a interface de rádio.

2.3.2.1 Tecnologia de portadoras múltiplas

Uma das inovações das redes LTE é o uso de sistemas OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) para transmissão do sinal e os esquemas de acesso associados, OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) no *downlink* e SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*) no *uplink*. Os sistemas OFDM apresentam muitas vantagens, desde a sua robustez ao desvanecimento por multipercurso assim como à interferência.

O OFDMA, usado no *downlink* do LTE, estende a tecnologia OFDM para fornecer um esquema de múltiplo acesso muito flexível. OFDM subdivide a largura de banda disponível para a transmissão do sinal num grande número de sub-portadoras de banda estreita, dispostas de forma mutuamente ortogonal, que, de uma maneira individual ou em grupos de sub-portadoras

¹⁶ Processo usado pela rede para solicitar o estabelecimento de uma ligação de sinalização NAS (protocolo usado no plano de controlo entre o usuário e o núcleo da rede) para o usuário.

podem transportar informação, enquanto que em OFDMA, esta subdivisão da largura de banda disponível é explorada, compartilhando as sub-portadoras entre vários usuários [22]. Como resultado desta flexibilidade do OFDMA destaca-se:

- Diferentes larguras de banda no espectro podem ser utilizadas sem alteração fundamental dos parâmetros do sistema ou projeto do equipamento;
- Recursos de transmissão de largura de banda variável podem ser atribuídos a diferentes usuários e agendados livremente no domínio da frequência;
- Reutilização da frequência e controle da interferência entre as células são facilitados.

Para o *uplink* o LTE usa uma técnica de acesso designada por SC-FDMA. A razão da escolha do SC-FDMA reside no fato de existir uma necessidade de se assegurar que os dispositivos móveis operam com o menor consumo possível de energia e este fato pode ser afetado pela forma de modulação utilizada. O OFDM apresenta uma elevada relação pico/média, *Peak-to-Average power ratio* (PARP), o que resulta num consumo elevado de energia. Assim sendo, a implementação do OFDMA no *uplink* do LTE seria inviável, sob ponto de vista de eficiência energética. Além disso, o SC-FDMA apresenta uma forma híbrida, combinando uma baixa relação pico/média (PARP) com a boa eficiência contra multipercursos e alocação flexível de sub-portadoras do OFDM. A Figura 2.9 ilustra graficamente o funcionamento das técnicas de acesso múltiplo OFDMA e SC-FDMA.

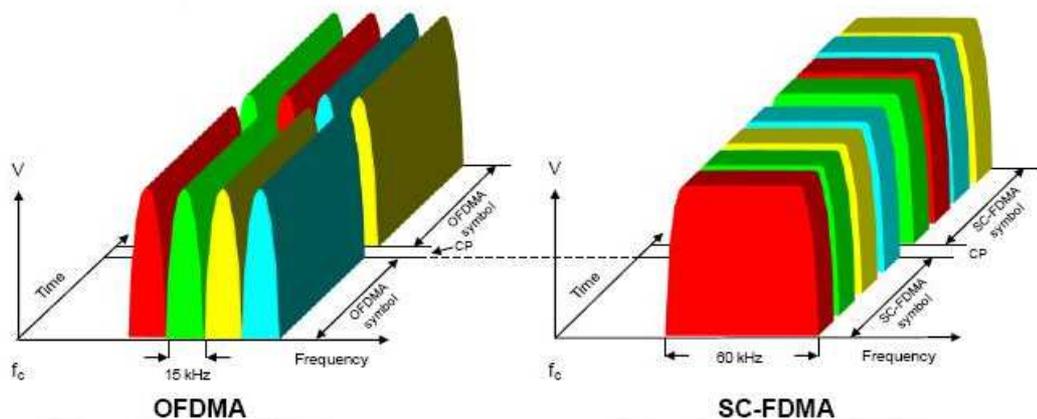


Figura 2.8: Tecnologias de múltiplo acesso do LTE no domínio da frequência.
 Fonte: <http://www.freescalc.org/html/08-06/40840.shtml>.

Nesta ilustração, o OFDMA transmite quatro símbolos de dados, em paralelo, um por cada subportadora, ocupando 15 kHz de largura de banda, enquanto que, o SC-FDMA transmite

os símbolos de dados em série em quatro vezes a taxa, com cada símbolo de dados que ocupa a largura de banda $N \times 15$ kHz. Conforme mostra a Figura 2.9, o sinal OFDMA é claramente de multi-portadoras, enquanto que, o sinal SC-FDMA mais parece de compartimento único, razão pela qual aparece o "SC" (*single carrier*) em sua designação.

2.3.2.2 Sistemas MIMO

Os sistemas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) oferecem grande confiabilidade e capacidade para os serviços de banda larga móvel. MIMO é uma técnica que confere ao sistema, a capacidade de comunicação através de vários canais, uma vez que o mesmo suporta várias antenas tanto no emissor, assim como no receptor do sistema. Como consequência da possibilidade de usar vários canais, o sistema de comunicação consegue exceder o limite da sua capacidade imposto pela Lei de Shannon. Múltiplas antenas podem ser utilizadas em uma variedade de formas, com base, principalmente, em três princípios fundamentais que são [22]:

- Ganho de diversidade, que consiste na utilização da diversidade do espaço fornecido pelas múltiplas antenas para melhorar a robustez da transmissão contra desvanecimento por multipercurso;
- Ganho do arranjo, que é a concentração de energia em uma ou mais direções. Isso também permite que múltiplos usuários localizados em diferentes direções sejam atendidos simultaneamente (chamado MIMO multiusuário);
- Ganho de multiplexação espacial, transmissão do sinal de vários fluxos para um único usuário em múltiplas camadas espaciais criadas por combinações das antenas disponíveis.

2.3.2.3 Comutação de pacotes para a interface de rádio

No LTE, como forma de se melhorar a latência do sistema, a duração do pacote foi reduzida a partir de 2 ms utilizados na tecnologia HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) para apenas 1 ms. Este curto intervalo de transmissão, juntamente com as novas dimensões de espaço e frequência, ampliou o domínio das técnicas de cross-layer¹⁷ entre o as camadas MAC e física para incluir no LTE técnicas como [22]:

- Agendamento adaptativo em ambas as dimensões, espacial e de frequência;

¹⁷ Técnica de protocolos baseados em interações entre as diferentes camadas da pilha protocolar da rede.

- Adaptação da configuração MIMO, incluindo a seleção do número de camadas espaciais transmitidos simultaneamente;
- Vários modos de relatório rápido sobre o estado do canal.

2.3.3 Arquitetura do sistema LTE

O LTE apresenta uma arquitetura que permite a compatibilidade com as tecnologias que o antecedem, como é caso do UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e HSPA (*High Speed Packet Access*). Isso permite uma facilidade na transição tecnológica. Segundo [23] as principais diferenças na arquitetura LTE em comparação com os *releases* (lançamentos) anteriores estão na supressão do RNC (*Radio Network Controller*) e no sistema baseado em IP. A Figura 2.10 apresenta a arquitetura de uma rede LTE.

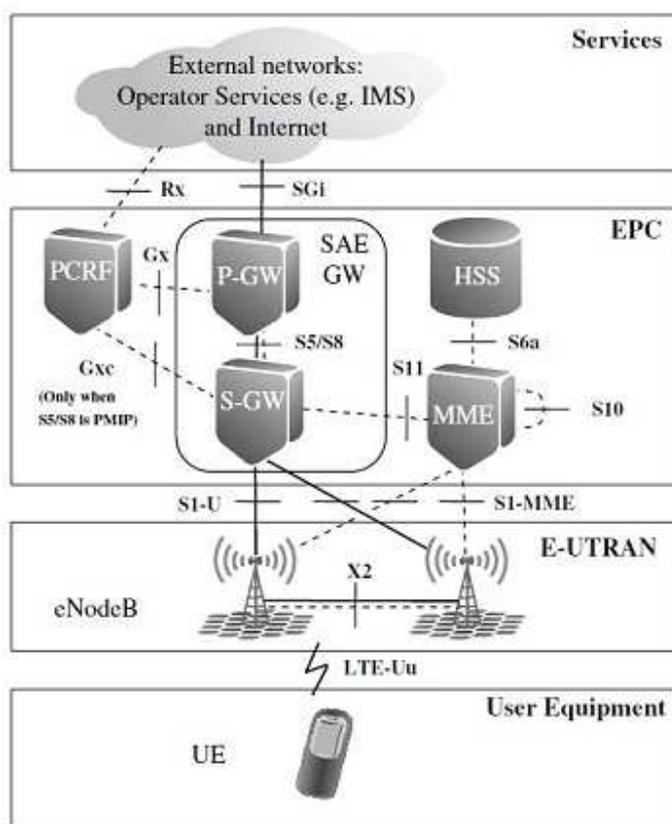


Figura 2.9: Arquitetura de uma rede LTE [23]

Nesta figura, a arquitetura do LTE está dividida em quatro blocos que são: Services (Serviços); EPC (*Evolved packet core*); E-UTRAN e EU (Equipamento do usuário). Abaixo, será apresentada uma descrição sobre a função de cada bloco que compõe a arquitetura do LTE [23].

- *Services* – este bloco garante a ligação da rede LTE com outras redes de serviços, como a internet;
- EPC – o EPC é composto por vários elementos que desempenham as principais funções da rede LTE, estes elementos são:
 - MME (*Mobility Management Entity*) - principal elemento de controle no EPC e desempenha as funções de autenticação, segurança, gerenciamento de mobilidade, gerenciamento de perfil do usuário, conexão e autorização de serviços;
 - S-GW (*serving Gateway*) - este elemento é responsável pelo roteamento e encaminhamento dos pacotes de dados do usuário entre a rede LTE e outras tecnologias como o 2G e 3G;
 - P-GW (*Packet Data Network Gateway*) - pode ser considerado um portal da rede, isto é, é o ponto de entrada e saída de dados da rede. Este elemento realiza a filtragem e controle de pacotes requeridos para os serviços em questão. O P-GW aloca endereços IP para os equipamentos dos usuários para que eles possam se comunicar com outros dispositivos localizados em redes externas;
 - PCRF (*Policy and Charging Resource Function*) - é responsável pela política e Controle de Carga (PCC). Provê o QoS (*quality of services*) adequado para que os serviços solicitados possam utilizar os recursos apropriados;
 - HSS (*Home Subscriber Server*) - compõe o banco de dados de registro do usuário.
- E-UTRAN – este bloco é composto pela interligação das eNodeBs que se comunicam através da interface X2. A eNodeB contém as camadas física (PHY), *Medium Access Control (MAC)*, *Radio Link Control (RLC)* e o protocolo de controle de pacotes de dados. Ainda inclui a funcionalidade de compressão de cabeçalho, criptografia, gestão de recursos do rádio, controle de admissão, negociação de QoS no *uplink* e broadcast contendo informações da célula. O E-UTRAN é responsável por todas as funções relacionadas com o rádio, que são [22]:
 - Gerenciamento dos recursos rádio;
 - Compressão de cabeçalhos;
 - Segurança;
 - Conectividade com o EPC.
- EU – representa os dispositivos de acesso dos usuários da rede LTE.

2.3.4 Espectro do sistema LTE

As redes do sistema LTE podem ser implantadas em modos FDD (*Frequency Division Duplex*), onde utilizam um par de canais para transmissão e recepção do sinal (*uplink* e *downlink* do sistema em faixas de frequências diferentes), assim como em modo TDD (*Time Division Duplex*). No modo TDD, o sistema LTE compartilha o mesmo canal para transmitir e receber sinais (*uplink* e *downlink* do sistema na mesma faixa de frequências). As Tabelas 2.4 e 2.5 apresentam o espectro de operação do sistema LTE em modo FDD e TDD respectivamente.

Tabela 2.4. Espectro do sistema LTE em modo FDD.

LTE FDD			
Banda LTE	<i>Uplink</i> (MHz)	<i>Downlink</i> (MHz)	Largura de Banda (MHz)
1	1920 – 1980	2110-2170	60
2	1850 – 1910	1930-1990	60
3	1710 – 1785	1805-1880	75
4	1710 – 1755	2110-2155	45
5	824 – 849	869-894	25
6	830 – 840	875-885	10
7	2500 – 2570	2620-2690	70
8	880 – 915	925-960	35
9	1749,9 – 1784,9	1844,9-1879,9	35
10	1710 – 1770	2110-2170	60
11	1427,9 - 1452,9	1475,9-1500,9	20
12	698 - 716	728-746	18
13	777 - 787	746-756	10
14	788 - 798	758-768	10
15	1900 - 1920	2600-2620	20
16	2010 - 2025	2585-2600	15
17	704 - 716	734-746	12
18	815 - 830	860-875	15
19	830 - 845	875-890	15
20	832 - 862	791-821	30
21	1447,9 - 1462,9	1495,5-1510,9	15
22	3410 - 3500	3510-3600	90
23	2000 - 2020	2180-2200	20

24	1625,5 - 1660,5	1525-1559	34
25	1850 - 1915	1930-1995	65

Tabela 2.5. Espectro do sistema LTE em modo TDD.

LTE TDD		
Banda LTE	Alocação (MHz)	Largura de Banda (MHz)
33	1900 - 1920	20
34	2010 – 2015	15
35	1850 – 1910	60
36	1930 – 1990	60
37	1910 – 1930	20
38	2570 – 2620	50
39	1880 – 1920	40
40	2300 – 2400	100
41	2496 – 2690	194
42	3400 – 3600	200
43	3600 – 3800	200

2.3.4.1 Interferência nos sistemas de telefonia móvel

Nos sistemas de telefonia móvel, a interferência é considerada o maior fator limitador do desempenho dos mesmos. Essa interferência pode ser provocada por uma fonte intracelular, isto é, através de uma estação móvel da mesma célula, chamadas em andamento nas células vizinhas, estações bases operando na mesma faixa de frequência (reuso de frequências no sistema), assim como a interferência pode ser provocada por um sistema externo que de uma forma indevida, irradie energia para a faixa de frequências destinada para a telefonia [24], como por exemplo, o caso da televisão. Em canais de voz, a interferência pode provocar efeitos de ligação cruzada, também conhecida como *crosstalk* enquanto que, em canais de controle, essa interferência pode causar a perda e o bloqueio de ligações devido a erros na sinalização digital. Assim como nos sistemas de TV, na telefonia móvel também existem dois tipos de interferência, que podem ou não, ser gerados pelo próprio sistema: a interferência de cocanal e a interferência de canal adjacente.

2.3.4.1.1 Interferência de cocanal

Este tipo de interferência surge devido à reutilização das frequências no sistema celular, que consiste na possibilidade de vários usuários do mesmo sistema, em diferentes regiões geográficas, utilizarem as mesmas frequências. A técnica do reuso de frequências aumenta consideravelmente a eficiência espectral do sistema e conseqüentemente a sua capacidade. As células que resultam do reuso de frequências são designadas por células de cocanal e por esta razão, a interferência entre estas células é também designada por interferência de cocanal. Para a minimização da interferência cocanal, uma distância (D) adequada de separação deverá ser adotada entre as células conforme mostra a figura 2.12.

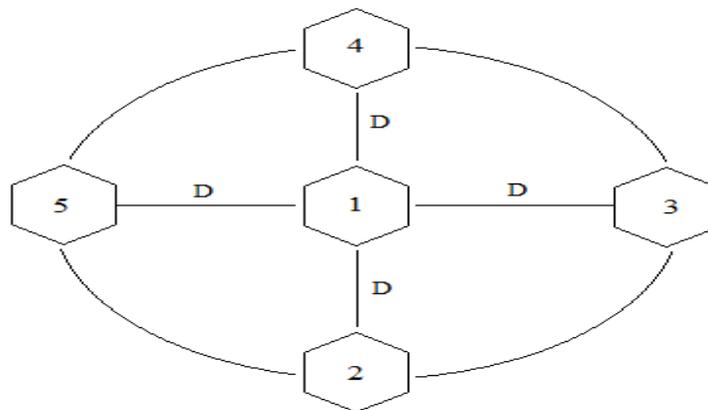


Figura 2.10: Células cocanal.

Nesta figura, as células de número 2 até 5 constituem o primeiro anel de células co-canal em relação a célula de número 1. Isso significa que no mesmo sistema, poderão existir vários anéis de células operando com as mesmas frequências umas com as outras, desde que controlada a interferência entre os usuários.

2.3.4.1.2 Interferência de canal adjacente

A interferência de canal adjacente ocorre devido à imperfeição de filtros nos receptores, que permitem que frequências indesejadas vazem para a banda de passagem.

Para a minimização deste tipo de interferência devem ser feitas boas filtragens no sistema assim como atribuições do canal. Assim sendo, para redução considerável da interferência de canal adjacente, a atribuição de canais nas células do sistema deverá ser feita mantendo-se a separação de frequências em cada canal a maior possível. Desta forma, em vez de atribuir canais que formam uma banda contínua de frequências dentro de determinada célula, os canais deverão

ser alocados de tal forma que a separação de frequência entre os canais em determinada célula seja maximizada.

No caso dos sistemas WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), a interferência entre canais adjacentes pode ser caracterizada através de três parâmetros que são: ACLR; ACS e ACIR [25].

ACLR (*Adjacent Channel Leakage Power Ratio*) – este parâmetro corresponde à relação entre a potência total transmitida e a potência medida no canal adjacente;

ACS (*Adjacent Channel Selectivity*) – o ACS é definido em função da seletividade do filtro do receptor como medida de capacidade de receber um sinal na frequência do canal atribuído em presença de um sinal de canal adjacente. Pode também ser interpretada como a relação entre a atenuação do filtro de recepção na frequência do canal atribuído e a atenuação do filtro do receptor no canal adjacente;

ACIR (*Adjacent Channel Interference Ratio*) – métrica utilizada para analisar a interferência no canal adjacente em relação à algum outro parâmetro, como por exemplo a capacidade com a queda de conexão. O ACIR é definido através da combinação do ACLR e do ACS que é dada pela equação (1).

$$\frac{1}{ACIR} = \frac{1}{ACS} + \frac{1}{ACLR} \quad (1)$$

2.4 DIVIDENDO DIGITAL

O dividendo digital pode ser definido como sendo a faixa de frequência não mais necessária para a radiodifusão após a transição para a tecnologia digital, consideradas as operações existentes e as necessidades futuras da TV aberta. Não há uma definição oficial de dividendo digital. A Comissão Europeia define como dividendo digital “o espectro além das frequências necessárias para atender os serviços de radiodifusão em um ambiente totalmente digitalizado” [26].

Inicialmente, o dividendo digital foi definido como sendo o espectro disponibilizado para além daquilo que era necessário para acomodar os serviços de televisão analógicos existentes. Entretanto, esta definição não considerava que, para a obtenção de qualquer dividendo digital, as transmissões analógicas precisavam ser desligadas, o que exigia uma transição bem sucedida para a TV digital, e por sua vez que, a radiodifusão digital terrestre seria capaz de atrair os espectadores da TV analógica em números suficientemente grandes para tornar isso possível. O dividendo digital é a porção de espectro disponibilizado pela transição da radiodifusão terrestre analógica para a digital.

O dividendo digital pode ser utilizado pelos serviços de radiodifusão, como por exemplo, o fornecimento de mais programas de alta definição, 3D ou televisão móvel. Pode também ser usado para outros serviços dentro do mesmo espectro de radiodifusão, assim como pode ser usado em uma atribuição harmonizada de frequências, para permitir a prestação de serviços ubíquos, equipamentos universalmente compatíveis e *roaming* internacional (por exemplo, *International Mobile Telecomunicações*, IMT) [8].

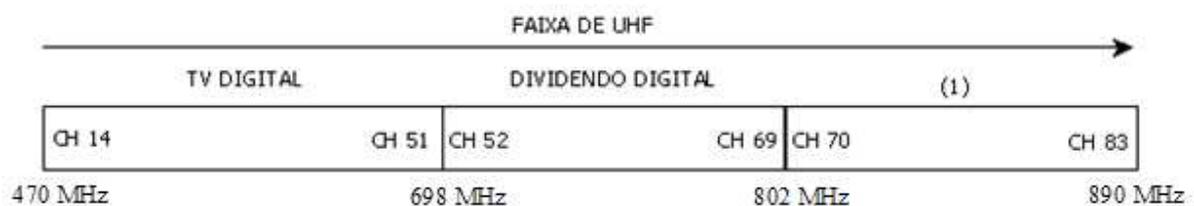


Figura 2.11: Dividendo digital na faixa de UHF.

A Figura 2.13 ilustra o posicionamento do dividendo digital na faixa de UHF no espectro. Nota-se que a partir da faixa de 470 MHz até 698 MHz, entre os canais (CH) 14 e 51, será utilizada somente pela TV digital. A faixa de 698 MHz aos 802 MHz, entre os canais 52 e 69, corresponde ao dividendo digital, para o qual será alocado o sistema LTE 700 MHz, conforme as

chamadas públicas da ANATEL [3]. Por último, na Figura 2.11, está representada a faixa de 802 MHz à 890 MHz, que também corresponde a faixa de UHF, sendo que esta faixa é destinada para o uso da TV e diversos serviços, dependendo da regulamentação de cada país.

2.4.1 Disponibilidade do dividendo digital

Como forma de se evitar a interferência entre os serviços de radiodifusão e o serviço de telefonia móvel, o dividendo digital só poderá ser disponibilizado após o fim da transmissão analógica. Além disso, é também necessário que a faixa de frequência correspondente ao DD seja liberada de radiodifusão digital e de outros serviços para os quais possam ser alocados, a fim de se dispensar as limitações resultantes das interferências transfronteiriças. Para os países que possuem um número menor de serviços de TV analógica, os que transmitem na faixa de VHF principalmente, o dividendo digital poderá ser disponibilizado com mais facilidade, dependendo das suas políticas locais de transição do analógico para digital [8].

2.4.2 Tamanho do dividendo digital

O tamanho do dividendo digital pode variar de um país para outro. Ele também pode ser afetado pela situação dos países limítrofes, como resultado da necessidade de se evitar, ou limitar a interferência. Este tamanho deverá ser determinado pelas necessidades subjacentes à escolha dos parâmetros básicos de transmissões digitais, em particular o tipo de recepção de TV digital, a percentagem da população a ser coberta, a qualidade exigida, a tecnologia utilizada, o respectivo uso dos sistemas MFN e SFN [8].

2.4.3 Importância do dividendo digital

O dividendo digital tem uma grande importância uma vez que o mesmo abre a possibilidade de reatribuição de uma grande parte do espectro de rádio. Qualquer decisão de alocação de espectro é sobre a alocação de recursos escassos. O dividendo digital tem algumas especificidades que o tornam uma das decisões mais importantes sobre o espectro [8].

O uso do dividendo digital proporcionará maior cobertura, maior velocidade e melhor qualidade para acesso às aplicações via *internet*. Devido às características de melhor propagação do sinal em na faixa dos 700 MHz, permitirá também a implantação de redes de banda larga em

zonas rurais, com um conseqüente impacto social positivo. Além disso, a faixa de 700 MHz permite melhorar a recepção do sinal dentro de edifícios em áreas urbanas.

2.5 RECOMENDAÇÕES DO FCC PARA O USO DA FAIXA DE TV

Atualmente, um grande problema relacionado à área das telecomunicações reside na gestão para o uso do espectro de frequências. O surgimento de novas tecnologias de redes de acesso sem fio, que demandam por um espaço no espectro de frequências para a sua aplicação, representa um desafio para as entidades reguladoras do espectro eletromagnético. Um desses desafios é a regulamentação da faixa da TV para o uso pelos diversos serviços.

A FCC (*Federal Communications Commission*), órgão Norte Americano que se encarrega pela regulamentação das telecomunicações, tem apresentado várias recomendações com o objetivo de possibilitar a coexistência de diversos serviços, inclusive na faixa da TV, dentro do espectro de frequências.

Dado o fato de a faixa de frequências da TV apresentar características de propagação consideradas atrativas para alocação de novos serviços de telecomunicações, parte desta faixa está sendo destinada para uso pelos serviços móveis de banda larga em vários países [2]. Desta forma, as novas tecnologias, quando alocadas na faixa de frequências da TV, poderão oferecer um serviço mais eficaz com coberturas maiores em relação às outras tecnologias que operam em faixas de frequência mais elevadas, acima de 1 GHz, por exemplo. Segundo o FCC, os novos dispositivos que acessam o espectro de TV, sem causar interferência, poderiam fornecer novos serviços, como um caminho de retorno para serviços de radiodifusão interativos ou distribuição de vídeo sem fio, doméstica, etc.

Por outro lado, as emissoras de TV expressam a sua preocupação de que, permitindo a operação dos dispositivos não licenciados, por exemplo, nas faixas da TV representaria um risco de interferência nos serviços de televisão e poderia afetar negativamente a transição dos sistemas de TV analógica para TV digital. A recomendação do FCC para o loteamento de canais de TV digital especifica as distâncias mínimas de separação entre as estações de TV, para prevenir a interferência cocanal, que vão de 196,3 à 273,6 quilômetros. Enquanto que, para prevenção da interferência de canais adjacentes, a distância mínima recomendada é de cerca de 110 quilômetros. Estas distâncias mínimas de separação necessárias entre estações de TV digital são baseados no pressuposto de que as mesmas estejam operando com a sua potência máxima de

transmissão. No entanto, para outro tipo de transmissor, que não seja da TV, por exemplo, operando num canal de televisão não utilizado e com um nível de potência muito mais baixa do que o de uma estação de TV, não seria necessária uma grande distância de separação, para se evitar interferências de co-canal e de canal adjacente [27].

Desta forma, a FCC acredita que seria apropriado permitir que dispositivos de baixa potência operem na faixa de TV, em locais onde os canais de TV não são usados desde que seja considerada uma banda de guarda apropriada. Além disso, segundo o FCC, a largura de banda de 6 MHz de um canal de TV aberta, livre, é geralmente grande o suficiente para suportar a operação de banda larga e que, muitas vezes múltiplos canais vagos podem estar disponíveis em uma área para fornecer largura de banda adicional. Assim sendo, permitir dispositivos sem licença para operar nos canais de TV que não estão sendo usados em uma determinada área pode permitir uma utilização mais eficiente do espectro de frequências [27].

Sobre a possibilidade de causar interferência, a FCC acredita que com as devidas bandas de guarda seria possível permitir a operação de outros serviços na faixa de TV, sem causar interferência prejudicial aos serviços de televisão. Atualmente, existem opções técnicas disponíveis que tornam viável para outros serviços compartilhar o espectro na faixa de TV, sem comprometer os serviços de televisão.

2.5.1 Proteção dos serviços de televisão

As estações de TV analógica e digital são geralmente protegidas contra interferência através de contornos de proteção. O nível de sinal que define o contorno de proteção das estações de TV varia dependendo, do tipo de estação, se é uma TV analógica ou digital, a banda em que esta estação opera. Diferentes valores de contornos protegidos são especificados para ambas as estações analógicas e digitais que operam na faixa do baixo VHF (canais 2-6), alto VHF (canais 7-13) e da faixa de UHF (canais 14-69), conforme mostra a Tabela 2.4 [27].

O contorno de proteção é a área de proteção onde a estação da TV deverá operar livre de interferências e corresponde ao espaço geométrico onde o seu sinal tem valores definidos para cada faixa de canal.

Para determinação dos contornos do sinal são usadas as curvas do FCC: F(50,10), F(50,50) ou F(50,90) em relação ao HNMT. Estas curvas fornecem os valores médios da

intensidade de campo atendidos ou excedidos em 50% dos locais receptores, durante 10%, 50% e 90% do tempo.

Tabela 2.6: Contorno de proteção para a TV analógica e digital

Tipo de estação	Canal	Contorno (dBU)	Curva de propagação
TV analógica	Baixo VHF (2-6)	47	F(50,50)
	VHF alto (7-13)	56	F(50,50)
	UHF (14-69)	64	F(50,50)
Analógica Classe A, TV de baixa potência,	Baixo VHF (2-6)	62	F(50,50)
	VHF alto (7-13)	68	F(50,50)
	UHF (14-69)	74	F(50,50)
TV digital	Baixo VHF (2-6)	28	F(50,90)
	VHF alto (7-13)	36	F(50,90)
	UHF (14-51)	41	F(50,90)
Digital Classe A	Baixo VHF (2-6)	43	F(50,90)
	VHF alto (7-13)	48	F(50,90)
	UHF (14-51)	51	F(50,90)

A ocorrência ou não da interferência depende da relação sinal desejado pelo sinal não desejado (D/U), que varia de acordo com o tipo de estação e com a natureza do sinal indesejado. Por isso, o FCC, propõe também a utilização dos critérios apresentados na Tabela 2.5 para garantir que os dispositivos que operarem nessa faixa não causem interferência prejudicial ao serviço de TV.

Tabela 2.7: Relação D/U para proteção da TV analógica e digital

Tipo de estação	Separação do canal	Relação D/U (dB)	Curva de propagação
TV analógica, Classe A, TV de baixa potência	Co-canal	34	F(50,10)
	Adjacente superior	-17	F(50,50)
	Adjacente inferior	-14	F(50,50)
TV digital e Classe A	Co-canal	23	F(50,10)
	Adjacente superior	-26	F(50,50)
	Adjacente inferior	-28	F(50,50)

As curvas de propagação usadas para o cálculo dos contornos apresentados nas tabelas acima, são apresentadas em anexo neste trabalho. Mais detalhes sobre os critérios de proteção dos serviços da TVD poderão ser encontrados em [8] e [27].

2.6. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma abordagem teórica sobre as tecnologias para as quais será feito o estudo da interferência. Foi feita uma abordagem sobre as características dos sistemas de televisão digital e do LTE. Além da TVD e LTE, foram trazidas neste capítulo, questões relacionadas ao espectro eletromagnético, com enfoque na faixa de TV (UHF), assim como a sua regulamentação por parte de alguns órgãos responsáveis.

CAPÍTULO III

3.1 CENÁRIO DE ANÁLISE

Neste capítulo é apresentado o cenário para o qual é feito o estudo da interferência. É apresentado nesta mesma secção, o espaço geográfico, assim como as configurações de ambas as tecnologias para as quais é feito o estudo (localização do transmissor da televisão, localização das estações base do LTE, assim como dos receptores e usuários da TV e LTE respetivamente).

Para este estudo, foi considerada uma área geográfica de 1000 km², para permitir a cobertura pelo sinal da TVD de todas as classes. Na prática, esta área representa uma cidade de médio porte. Portanto, foi assumido que uma emissora de televisão esteja em funcionamento nesta área e que, a torre de transmissão dessa emissora se encontra instalada num ponto, que se localiza no centro da cidade, conforme mostra a Figura 3.1.

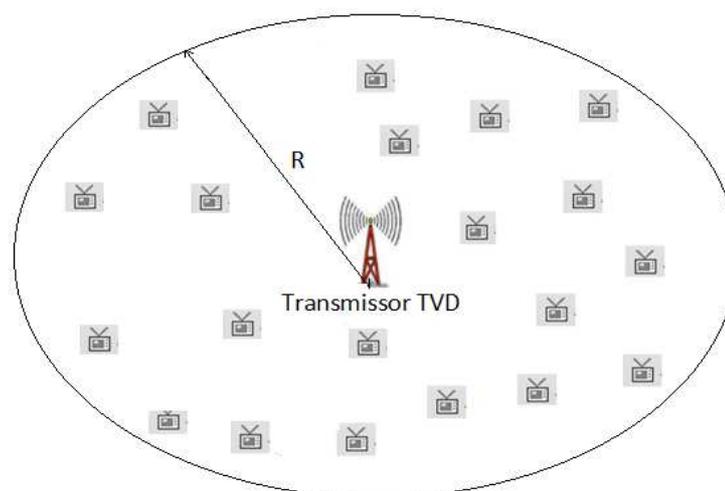


Figura 3.1: Representação de um sistema de televisão.

O raio (R) de cobertura da televisão varia de acordo com a classe da TVD instalada na área em estudo. Conforme mostra a Figura 3.1, os receptores da televisão estão aleatoriamente distribuídos ao longo da área de cobertura do transmissor da televisão. Na prática, estes receptores encontram-se instalados nas residências e diversos locais dentro da cidade.

Além da televisão digital, encontra-se instalada na mesma área, uma rede de telefonia móvel (sistema celular) de banda larga que é o LTE. Este sistema é constituído por um grupo de

células, sendo que cada uma delas é alimentada por uma estação base, que fornece cobertura para os respectivos usuários. A Figura 3.2 mostra um exemplo do sistema celular descrito acima.

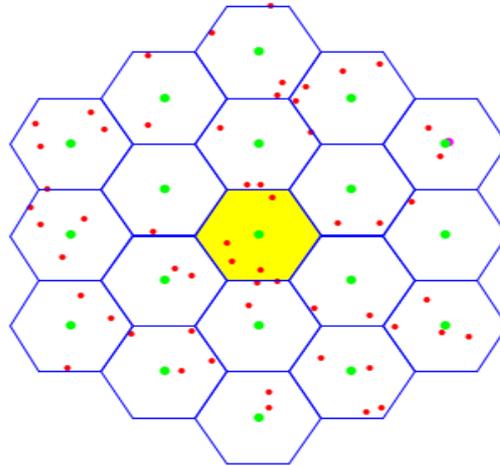


Figura 3.2: representação de um sistema celular.

Nesta figura encontra-se representado um sistema celular composto por dezenove (19) células com formato hexagonal. No centro destas células, estão instaladas as estações base, representadas pelos pontos da cor verde. Ao longo da figura, é possível verificar os pontos da cor vermelha que representam uma amostra dos usuários do sistema. Estes usuários encontram-se aleatoriamente distribuídos entre as células, conforme mostra a figura. Assim sendo, cada usuário está alocado a uma célula específica através da qual terá acesso aos serviços do provedor. Numa situação prática, as células suportam vários usuários, dependendo da capacidade do sistema, porém, na Figura 3.2 estão representados apenas alguns usuários ativos no sistema, isto é, que estão em comunicação durante um determinado intervalo de tempo. Por outro lado, a célula da cor amarela representa a célula central do sistema e pode ser usada como célula de referência para se efetuar qualquer tipo de análise.

Uma vez que o estudo visa analisar o desempenho da TVD e do LTE diante da interferência mútua e quando ambos os sistemas estão operando na mesma área geográfica, o cenário para a análise foi configurado conforme ilustra a Figura 3.3.

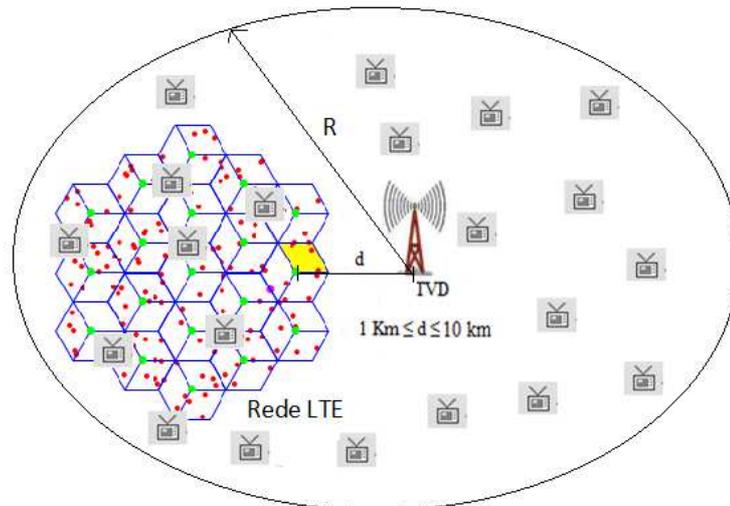


Figura 3.3: Cenário de Análise

A distância (d) de separação entre o transmissor da TV digital e a célula de referência (célula da cor amarela), onde se encontra a estação base do LTE mais próxima do transmissor de TV, varia entre 1 km a 10 km, conforme ilustra a Figura 3.3. Esta variação da distância garante que ambos os sistemas permaneçam na mesma área de cobertura. Assim sendo, o sistema LTE permanece instalado ao longo do raio (R) de cobertura da TV digital. Esse raio de cobertura da TVD varia entre 18 km, 29 km, 42 km e 57 km, de acordo com a classe da TVD considerada na análise, conforme apresentado na Tabela 2.1. No sistema LTE, cada ponto da cor verde representa três estações bases (sistema de tri-setorização que garante cobertura por todas as direções da célula). Os pontos da cor vermelha representam os usuários (MS) do LTE, distribuídos aleatoriamente ao longo das células. Por outro lado, o desempenho do sistema LTE foi analisado para três diferentes valores de largura de banda: 5 MHz, 10 MHz e 20 MHz, suportando um máximo de 200 usuários por cada célula.

A Figura 3.4 ilustra o cenário detalhado da interferência mútua entre os sistemas da TVD e LTE. Nesta figura, as setas da cor azul representam os sinais desejados para ambos os sistemas e as setas da cor vermelha representam os sinais interferentes.

Para o caso onde o LTE sofre interferência da TV digital, este estudo focou no *uplink* do sistema LTE por ser o sentido que mais sofre interferência, quando comparado com o *downlink*. Isto ocorre devido o fato de que o sistema LTE utiliza um esquema de modulação mais robusto contra interferências no *downlink* (OFDMA), enquanto que no *uplink*, o sistema utiliza um esquema mais simples que é o SC-FDMA para garantir a eficiência energética no equipamento do

usuário. Além disso, as estações bases (BS) do sistema LTE, encontram-se numa altura consideravelmente mais alta do que os terminais móveis, o que faz com que as mesmas sejam mais susceptíveis à interferência provocada pelo transmissor da televisão [2-9].

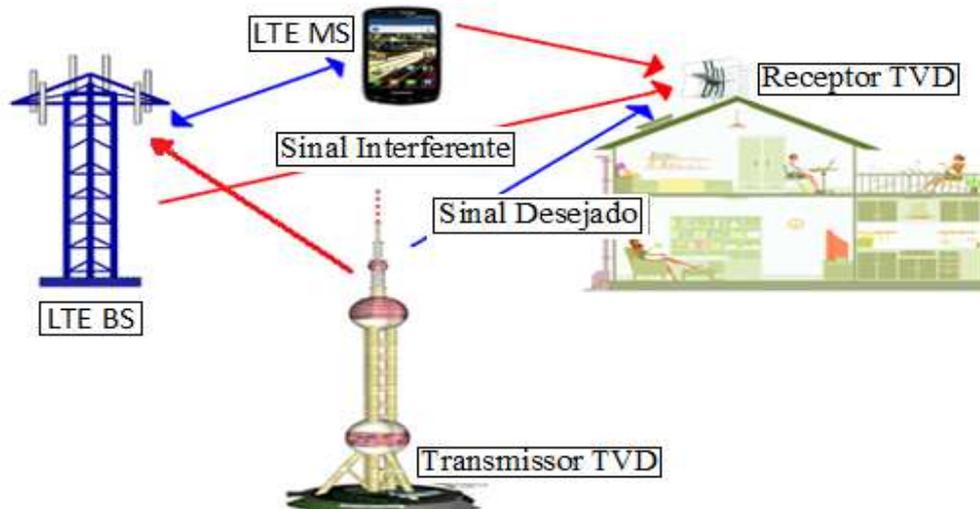


Figura 3.4: cenário de interferência entre a TVD e o LTE [30]

Nesta figura é possível verificar um transmissor da TV digital que transmite o sinal para uma residência onde se encontra um receptor da TV, essa transmissão é ilustrada pela reta unidirecional da cor azul, representando o sinal desejado do sistema da TV. Por outro lado, pode se verificar uma estação base do LTE (*LTE BS*) que transmite e recebe o sinal do terminal móvel (*LTE MS*) e essa transmissão e recepção estão representadas pela reta bidirecional, também da cor azul, que representa o sinal desejado no sistema LTE. Entretanto, na mesma figura, é possível se verificar também retas da cor vermelha, que representam os sinais interferentes no sistema todo. Desta forma, a figura mostra o transmissor da TV digital interferindo na estação base do LTE (no sentido do *uplink*), assim como mostra a estação base e o terminal móvel do LTE interferindo no receptor da TV digital. Note-se que o receptor da TVD é o único elemento que não causa interferência no sistema, pois este funciona como um elemento passivo, isto é, só serve para receber o sinal da TV digital e não transmite o mesmo.

Tabela 3.1: Parâmetros de simulação para o LTE.

Parâmetros do Sistema LTE	
Raio da Célula	3 km
Frequência de Operação	700 MHz (canal 52)
Número de Estações Base	57
Tamanho do Cluster	3
Altura da Antenna (BS)	30 m
Ganho de Recepção (BS)	15 dBi
MS gerados em cada simulação	200
Altura do MS	1,5 m
Potência de Transmissão	23 dBm
Perda por Acoplamento	70 dB
Largura de Banda	5 MHz, 10 MHz, 20 MHz
Figura de Ruído	4 dB
Modelo de Propagação	Hata Extendido
Esquema de Modulação	SC-FDMA (<i>uplink</i>)

Tabela 3.2: Parâmetros de simulação para a TVD.

Parâmetros da TVD	
Ganho de transmissão	15 dBi
Potência de transmissão (ERP)	Classe Especial (80 kW)
	Classe A (8 kW)
	Classe B (0.8 kW)
	Classe C (0.08 kW)
Altura da antena	150 m
Diagrama de radiação	Omnidirecional
Frequência central	695 MHz (canal 51)
Distância máxima de contorno	Classe Especial (57 km)
	Classe A (42 km)
	Classe A (29 km)
	Classe B (18 km)
Largura de banda	6 MHz
Modelo de propagação	ITU-RP. 1546 LAND
Esquema de Modulação	COFDM

As Tabelas 3.1 e 3.2 descrevem os parâmetros usados na configuração dos sistemas LTE e TVD. Nestas Tabelas podem ser encontrados parâmetros como: o raio de cobertura das células do LTE, as frequências de operação de ambos os sistemas, as respectivas potências de transmissão e as larguras de banda.

3.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Esta seção apresenta os modelos usados para o cálculo dos parâmetros de análise do desempenho dos sistemas LTE e TV digital diante da interferência mútua. Esses parâmetros incluem a probabilidade de interferência provocada pelo LTE na TV digital, a relação sinal interferência e ruído (SINR) no usuário do LTE e a capacidade do canal (C) do LTE.

No primeiro caso, onde o sistema LTE interfere na TVD, a probabilidade de interferência é calculada com a condição de que a intensidade do sinal recebido (dRss) no receptor da TV digital seja maior que a sua sensibilidade (sens) [28].

$$dRss > sens \quad (2)$$

Assim sendo, a probabilidade de interferência no receptor da TV digital é calculada através da equação (3):

$$P_I = 1 - P_{NI} \quad (3)$$

Onde: P_I é a probabilidade de o LTE interferir na TV digital e P_{NI} é a probabilidade de o sistema LTE não interferir na TV digital. A probabilidade P_{NI} é calculada através da equação (4).

$$P_{NI} = \frac{P\left(\frac{dRss}{iRss_{comp} + N} > \frac{C_m}{I + N}, dRss > sens\right)}{P(dRss > sens)} \quad (4)$$

A equação (4) representa uma probabilidade condicional e pode ser interpretada como sendo a probabilidade de a relação sinal desejado no receptor da TVD (dRss) e Interferência mais ruído ser maior que a relação sinal interferente, do LTE e interferência mais ruído, dado que, a intensidade do sinal desejado no receptor da TVD é maior que a sua sensibilidade.

Sendo C_m a potência transmitida pelo terminal móvel do LTE; I é a interferência que afeta o receptor da TV digital; N é o ruído no canal. $iRss_{comp}$ é a potência total dos sinais interferentes [28].

$$iR_{ss_comp} = \sum_{j=1}^P iR_{ss_j} \quad (5)$$

Para o segundo caso, onde o sistema da TVD interfere no LTE, é necessário que se calcule a capacidade do canal do LTE, considerando a interferência da TVD. A capacidade do canal do sistema LTE é determinada através da fórmula de Shannon que impõe um limite para a máxima taxa de transmissão do canal, conforme Equação (6):

$$C_c = B * \log_2(1 + SINR) \quad (6)$$

Onde C_c é a capacidade de canal (*throughput*) do LTE em Mbps e B é a largura de banda do LTE em MHz. Por outro lado, o SINR é a relação sinal interferência e ruído e é calculado através das equações (7):

$$SINR = \frac{P}{I} \quad (7)$$

Onde: P é a potência recebida pela estação base (BS) do LTE; I é a potência de interferência total que afeta o *uplink* do LTE, sendo que o P é definido pela Equação (8).

$$P = P_T * P_L \quad (8)$$

Onde P_T é potência transmitida pelo equipamento do usuário (MS) para estação base (BS) e P_L é a perda de propagação entre o MS e a BS e é calculada através modelo de propagação (Modelo de Hata Estendido).

Desta forma, a interferência total no sistema LTE é dada pela Equação 8.

$$I = I_{inter} + I_{ext} + N_t \quad (9)$$

A I_{inter} corresponde à potência de interferência interna entre os usuários do sistema LTE [28],

$$I_{inter} = \sum_{1-1,1-j}^{N_{cell}} P_{T(l,k)} * P_{L(UE, BS)} \quad (10)$$

Assumindo que o sistema é totalmente ortogonal (OFDMA) e sem interferência causada pelo reuso de frequências, esta interferência pode ser considerada nula. A I_{ext} é a potência de interferência externa, provocada neste caso pelo sistema interferente externo que é a TV digital e é dada pela Equação (11).

$$I_{ext} = \sum_{m-1}^{N_{ext}} iR_{ss_blocking} * iR_{SS_unwanted} \quad (11)$$

Onde os valores de $iRSS_{unwanted}$ e $iRSS_{blocking}$ representam a potência de interferência recebida pelo sistema interferido (devido às emissões espúrias e ao bloqueio de sinal respectivamente). N_{ext} , representa o número de sistemas externos que interferem no LTE.

N_t corresponde ao ruído térmico no canal e é calculado através da Equação 12:

$$N_t = 10^{\left[\frac{-174 + 10 \log_{10}(N * RBs) + NF}{10}\right]} \quad (12)$$

Onde: N é o número de blocos de recurso (sub-portadoras) por usuário; RBs é a largura de banda de cada bloco de recurso; e NF é a figura de ruído do receptor do LTE (MS) [29].

Tendo a capacidade do canal do LTE, pode-se calcular a perda da capacidade do canal através da Equação 13:

$$C_1 = 1 - \frac{C_c}{C_{max}} \quad (13)$$

Onde: C é a capacidade do canal (*throughput*) do LTE considerando a interferência da TV digital e C_{max} é a capacidade do canal do LTE sem sofrer interferência de nenhum sistema externo.

3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE

No primeiro caso, onde foi estudado o impacto da interferência do sistema LTE na TVD, a metodologia adotada consiste na análise da probabilidade de ocorrência da interferência em relação ao valor do limiar da probabilidade de interferência no receptor da TVD que é de 5 %. Este valor encontra-se definido em [30]. Desta forma, quando a probabilidade de ocorrência da interferência provocada pelo sistema LTE na TVD apresentar um valor acima do limiar, essa interferência é sempre considerada prejudicial para o funcionamento da TVD, enquanto que, quando essa probabilidade de interferência apresentar valores abaixo do limiar, o sistema vítima (TVD) poderá funcionar com um desempenho satisfatório.

Para o segundo caso, onde foi estudada a interferência que a TVD poderá causar no LTE, foi adotada uma metodologia que consiste na obtenção dos valores da capacidade do sistema LTE, para posterior cálculo da perda dessa mesma capacidade devido à interferência externa. Assim como no primeiro caso, os resultados obtidos são analisados em relação a um valor de limiar.

O limiar da perda de capacidade do sistema LTE é determinado em relação ao valor de 50 Mbps, que corresponde ao valor da taxa de dados para do sistema LTE operando com 20 MHz de largura de banda [31]. Este valor teórico corresponde a 56,8 % do valor da taxa de dados encontrado durante as simulações (C_{\max}) que é de 88,0428 Mbps para o sistema LTE operando com o mesmo valor da largura de banda, 20 MHz. Nessas simulações, foi considerado que o sistema LTE operava em condições ideais, isto é, o sistema operava sem sofrer nenhum tipo de interferência. Assim sendo, o valor da taxa de dados de 50 Mbps corresponde a 56,8 % do valor da taxa de dados do sistema LTE em condições ideais. Isso implica uma perda de 43,2% da capacidade do canal do sistema LTE devido à interferência externa. Dessa forma, 43,2 % foi afixado como limiar de perda da capacidade do canal do LTE e corresponde a diferentes valores de taxas de dados, dependendo da largura de banda do sistema LTE considerada em cada análise. A Tabela 3.3 apresenta os valores de taxas de dados do LTE em condições ideais (C_{\max}) para as três larguras de banda analisadas. A Tabela 3.3 apresenta também os valores correspondentes às taxas de dados do limiar da perda para cada largura de banda do LTE.

Tabela 3.3: Capacidade do canal e limiares de perda do LTE.

LTE Bandwidth	C_{\max} (Mbps)	Limiar (%)	Limiar (Mbps)
5 MHz	22,0107	43,2	12,5
10 MHz	44,0214	43,2	25,5
20 MHz	88,0428	43,2	50

Assim como no primeiro caso, todos os valores da perda da capacidade do canal do sistema LTE que se encontram abaixo do limiar da perda são considerados aceitáveis, enquanto que, com os valores acima do limiar de perda, o desempenho do LTE será considerado insatisfatório.

CAPÍTULO IV

FERRAMENTA DE ANÁLISE

4.1 INTRODUÇÃO

SEAMCAT (*Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool*) é um software livre, baseado no método de simulação de Monte Carlo e que foi desenvolvido dentro do quadro da Conferência Europeia das Administrações Postais e Telecomunicações (CEPT). Essa ferramenta permite a modelagem estatística de diferentes cenários de rádio interferência para realização de estudos de partilha e compatibilidade entre sistemas de radiocomunicações nas mesmas frequências ou em bandas adjacentes. SEAMCAT permite a avaliação das máscaras de transmissão e recepção de diferentes sistemas, assim como permite a avaliação dos limites das emissões indesejadas, níveis de bloqueio e de intermodulação [29].

4.1.1 METODOLOGIA DE FUNCIONAMENTO

SEAMCAT foi concebido para aplicar o método de Monte Carlo, de modo a gerar os níveis dos sinais, desejado e de interferência no receptor do sistema interferido (vítima). Depois que esses sinais são gerados, pode ser calculada a probabilidade de interferência entre os sistemas. Para tal, o usuário da ferramenta define os parâmetros dos sistemas de rádio para os quais deseja fazer a análise. Esses parâmetros podem ser: a posição de uma estação rádio base, a posição do receptor (que pode ser móvel ou fixa), as potências de transmissão e frequências de operação. No caso da posição do receptor móvel, por exemplo, SEAMCAT executa um processo de Monte Carlo e a posição do móvel irá variar de forma aleatória dentro de sua curva de distribuição e todas as variáveis que irão mudar em função dessa variação da posição, tais como a perda de propagação serão novamente calculados para cada nova posição.

Nesta ferramenta podem ser modeladas até 20 funções de sistemas de rádio (todas com uma gama de variáveis). Assim sendo, resultados confiáveis poderão ser obtidos através da aplicação de um grande número de amostras / eventos e esse número deverá ser maior do que vinte mil amostras (número de amostras > 20.000). A Figura 4.1 mostra a interface gráfica da ferramenta SEAMCAT.

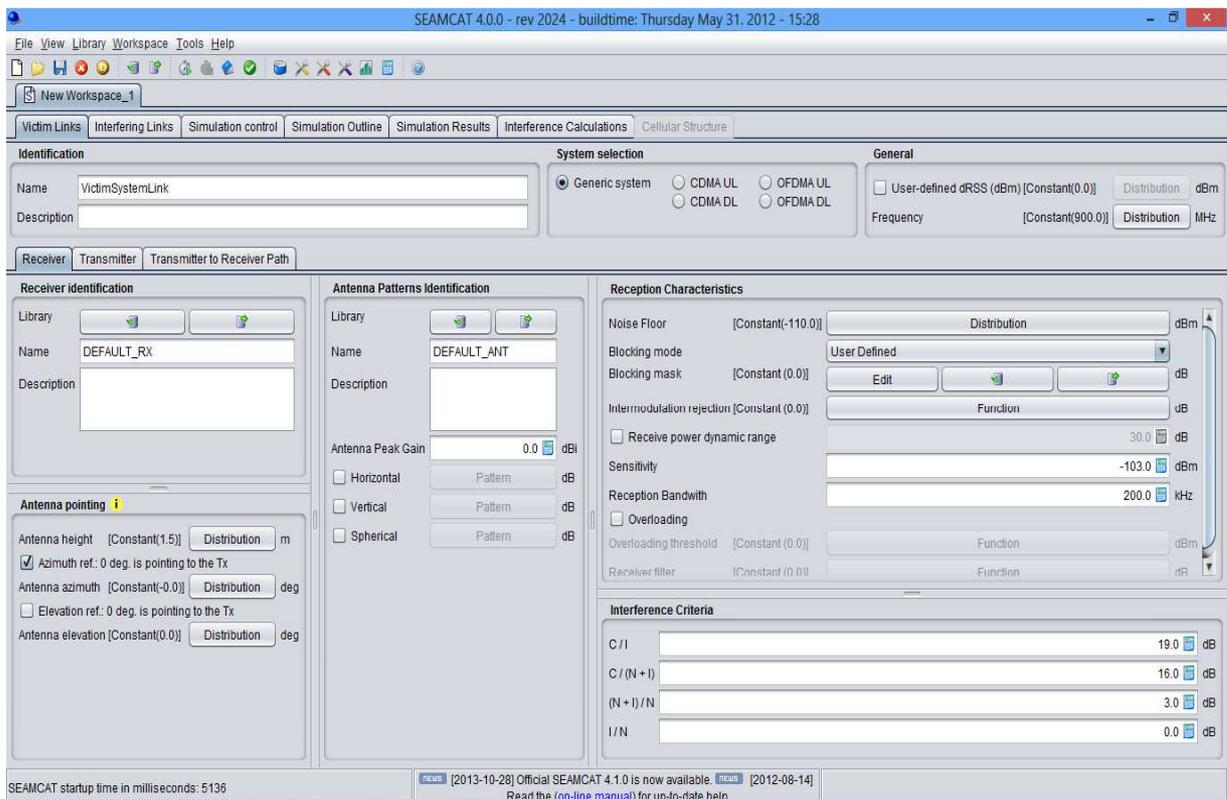


Figura 4.1 Interface gráfica do SEAMCAT (tela inicial).

A Figura 4.1 mostra a tela inicial do SEAMCAT onde se podem efetuar várias configurações para diferentes sistemas de rádio, para os quais se pretende fazer a análise. Dentre várias configurações, SEAMCAT permite selecionar se o sistema escolhido é genérico (caso da televisão, por exemplo), CDMA (*Code Division Multiple Access*) ou OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*). Além disso, esta ferramenta permite a configuração de outros elementos do sistema, tais como os tipos de antenas, seus respectivos ganhos e diagramas de radiação, assim como permite definir as máscaras de bloqueio dos sistemas e os modelos de propagação do sinal.

A interface do usuário do SEAMCAT permite o acesso ao uso eficiente de todas as funcionalidades da ferramenta. Uma explicação mais detalhada sobre o funcionamento dessa ferramenta pode ser encontrada em [29].

4.1.1.1 MÉTODO DE MONTE CARLO NO SEAMCAT

Monte-Carlo (MC) é uma técnica matemática computadorizada que possibilita analisar quantitativamente os riscos de tomadas de decisão. Este método fornece vários resultados possíveis e as probabilidades de ocorrências desses resultados de acordo com a ação escolhida como decisão. O Método de Monte-Carlo é usado em diversas áreas de atuação: finanças, gerenciamento de projetos, energia, indústrias, engenharia, pesquisa e desenvolvimento, seguros, petróleo e gás, transportes e meio ambiente.

A técnica de Monte Carlo é o método estatístico usado como base pelo *software* SEAMCAT. Os métodos de simulação estatística diferenciam-se dos métodos analíticos convencionais, que são normalmente aplicados a equações diferenciais ordinárias ou parciais que descrevem algum sistema físico ou matemático. Em muitas aplicações da técnica de Monte Carlo, o processo físico é simulado diretamente, e não há necessidade de se escrever ainda as equações diferenciais que descrevem o comportamento do sistema. Dessa forma, o único requisito para o uso da técnica de Monte Carlo é que o sistema físico ou matemático seja descrito pelas funções de densidade de probabilidade. O método de Monte Carlo (MMC) pode ser descrito como um método estatístico, no qual se utiliza uma sequência de números aleatórios para a realização de uma simulação.

No SEAMCAT, o método de Monte Carlo funciona seguindo cinco etapas básicas que são apresentadas abaixo:

- Determinar a pseudo-população que representa a verdadeira população de interesse.
- Aplicar uma técnica de amostragem para obter uma amostra da pseudo-população.
- Calcular o valor da estatística de interesse e armazenar o mesmo.
- Repetir as etapas 2 e 3 M vezes.
- Usar os M valores obtidos na etapa 3 para estudar a distribuição da estatística.

A técnica de Monte Carlo trabalha considerando diversos instantes independentes no tempo ou no espaço. Assim sendo, para cada instante ou simulação, um cenário é construído usando um número de variáveis aleatórias diferentes. Este número pode representar, por exemplo: a localização do sistema interferente em relação ao sistema interferido, o quão forte é o sinal desejado, quais os canais do sistema vítima e interferente estão sendo usados etc. Assim sendo, se um número suficiente de ensaios de simulação for considerado, a probabilidade de um determinado evento ocorrer pode ser calculada com um nível elevado de precisão.

4.2 ARQUITETURA DO SEAMCAT

Conforme mostra a Figura 4.2 a ferramenta SEAMCAT é composta por três principais módulos de funcionamento EGE, ICE e CDMAE. Cada um destes módulos executa uma tarefa específica para o funcionamento do SEAMCAT. As funções de cada um dos módulos são descritas abaixo:

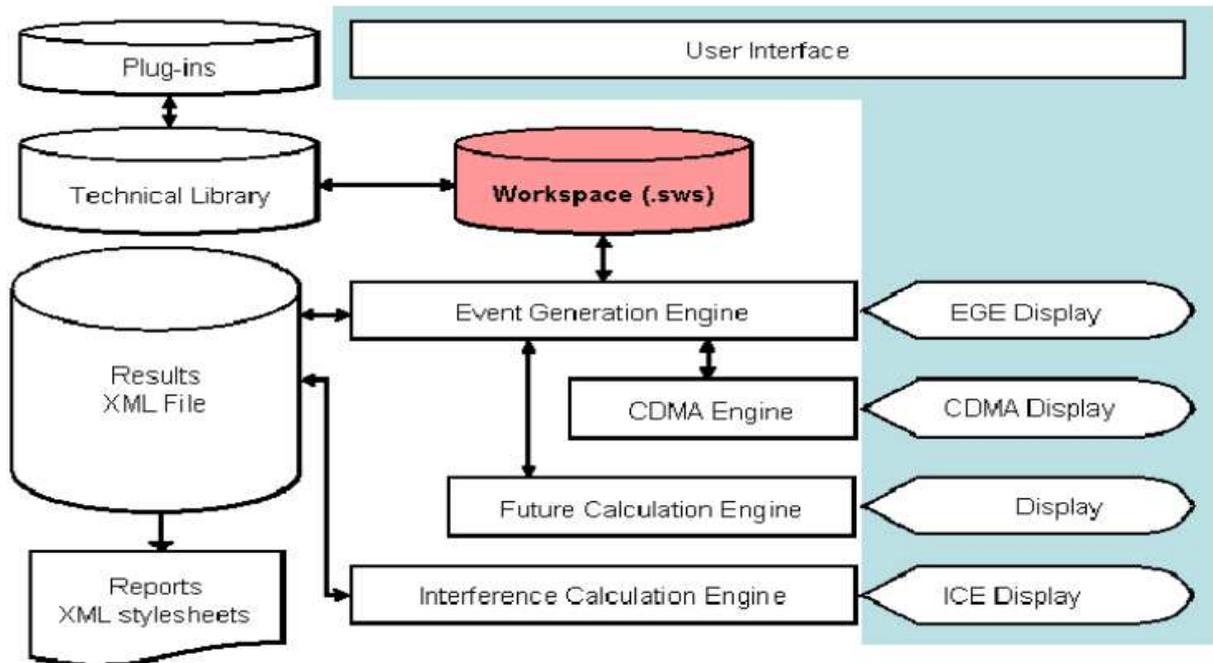


Figura 4.2. Arquitetura do SEAMCAT.

- ***Event Generation Engine (EGE)***

A partir de um cenário de interferência definido, o EGE gera uma série de números aleatórios que servem como amostras do sinal usando métodos matemáticos. As amostras geradas são processadas para calcular a intensidade desejada do sinal recebido (dR_{ss}), que é a intensidade do sinal no receptor do sistema interferido (V_r), proveniente do transmissor desejado (W_t), assim como para calcular todas as intensidades dos sinais de interferência (iR_{ss}). Esse processo é repetido várias vezes, de acordo com o número de amostras definido pelo usuário.

- ***Interference Calculation Engine (ICE)***

O ICE processa as informações recolhidas pela EGE para calcular a probabilidade de interferência entre os sistemas. No ICE os sinais (dR_{ss}) e (iR_{ss}) gerados pelo EGE são comparados com a relação sinal-ruído (SNR) para calcular a probabilidade de interferência,

considerando a condição de que a intensidade desejada do sinal recebido deve ser maior do que a sensibilidade do receptor vítima ($drss > sens$).

- ***Cdma Engine (CDMAE)***

Ao contrário de uma simulação de interferência entre sistemas que não sejam CDMA, que é feito considerando dois pares de transmissores e receptores e estimam-se os sinais recebidos em cada receptor separadamente, a simulação de sistemas CDMA requer processos mais complexos de controle de potência num sistema totalmente carregado, incluindo o impacto proveniente das células vizinhas, assim como a tentativa do sistema de nivelar o impacto da interferência para o sistema CDMA interferido. O mecanismo CDMAE permite a simulação de redes CDMA considerando a sua complexidade.

4.2 APLICAÇÕES DO SEAMCAT

A coexistência entre vários serviços de rádio difusão constitui um grande desafio para engenharia do espectro eletromagnético. Devido à crescente demanda pelo uso do espectro, surgem problemas no gerenciamento do mesmo, assim como aumenta a necessidade de racionalização na utilização deste recurso que já é escasso.

Entre vários problemas que podem ser encontrados na engenharia de espectro eletromagnético, SEAMCAT pode ser aplicado para:

- Determinar o tamanho apropriado das bandas de guarda para evitar interferência em canais adjacentes;
- Determinar as máscaras de emissão nos transmissores, necessárias para proteger os serviços nos canais adjacentes;
- Especificar a susceptibilidade do receptor para preservar o desempenho do sistema em um determinado ambiente de rádio;
- Identificar problemas de compartilhamento de bandas de frequências entre os diferentes serviços e tecnologias;
- Identificar as bandas apropriadas para cada sistema de rádio.

Além das aplicações indicadas, SEAMCAT pode ser usado para várias outras aplicações no estudo do compartilhamento do espectro, dependendo dos objetivos do usuário. Vários sistemas de radiocomunicação podem ser modelados no SEAMCAT tais como:

- Sistemas móveis terrestres e equipamentos de curto alcance;
- Sistemas ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto;
- Sistemas de transmissão terrestre e estações terrenas de sistemas de satélites.

4.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

SEAMCAT é uma ferramenta livre, baseada no método de simulação de Monte Carlo que permite a modelagem estatística de diferentes cenários de rádio interferência para realização de estudos de partilha e compatibilidade no espectro eletromagnético. Além de apresentar uma interface simples e de fácil uso, SEAMCAT permite a modelagem de vários sistemas de radiocomunicação, tais como, sistemas terrestres, móveis, de curto alcance e de satélites. É uma ferramenta importante e que pode ser usada para vários tipos de análise na engenharia de espectro.

CAPÍTULO V

RESULTADOS DA PESQUISA

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados alcançados durante a análise da interferência mútua entre a televisão digital e o LTE em canal adjacente na faixa de 700 MHz. Estes resultados demonstram a necessidade da realização de estudos em torno da interferência mútua entre os sistemas da TVD e LTE visando garantir a coexistência dos dois sistemas nesta faixa de frequências. Para obtenção destes resultados foi utilizada a ferramenta de simulação SEAMCAT.

Primeiro caso

No primeiro caso foi analisada a probabilidade de o sistema LTE, operando em canal adjacente (canal 52 da faixa de UHF, que corresponde à faixa de 698 MHz a 704 MHz), causar interferência na televisão digital, que opera no canal 51 (correspondente à faixa de 692 MHz a 698 MHz). Neste caso, os resultados são apresentados na forma de probabilidade de ocorrência da interferência em função da distância de separação entre os sistemas. Além da distância de separação dos sistemas, foi feita a análise considerando diferentes intervalos de guarda entre ambos os sistemas. Assim sendo, se a probabilidade de ocorrência da interferência for de cerca de 100 % significa que o sistema LTE sempre irá interferir no funcionamento da televisão digital, resultando no mau desempenho da mesma. Enquanto que, se a probabilidade de ocorrência da interferência for de 0% significa que não haverá interferência do sistema LTE na televisão digital e esta poderá funcionar com um bom desempenho.

A figura 4.1 apresenta a variação da probabilidade de o sistema LTE interferir na televisão digital quando os dois sistemas estiverem alocados na faixa dos 700 MHz com um intervalo de guarda de 2 MHz.

Neste caso, a interferência que o sistema LTE poderá causar na televisão digital poderá ocorrer com probabilidade de cerca de 70 % se ambos os sistemas forem instalados considerando uma distância de separação de apenas de 1 km. Esta probabilidade de interferência tende a decrescer com o aumento da distância de separação dos sistemas e a mesma atinge cerca de 20% para uma distância de separação de 5 km. Entretanto, apesar do decréscimo com o aumento da distância de isolamento dos sistemas, pode-se notar que, a probabilidade de interferência do

sistema LTE na televisão digital permanece acima do limiar de 5 % (definido no capítulo III deste trabalho) até pelo menos 10 km de distância de separação. Assim sendo, pode-se afirmar que para um intervalo de guarda de 2 MHz, o sistema LTE poderá interferir na TVD com probabilidade acima do limiar para distância de separação de cerca de 10 km.

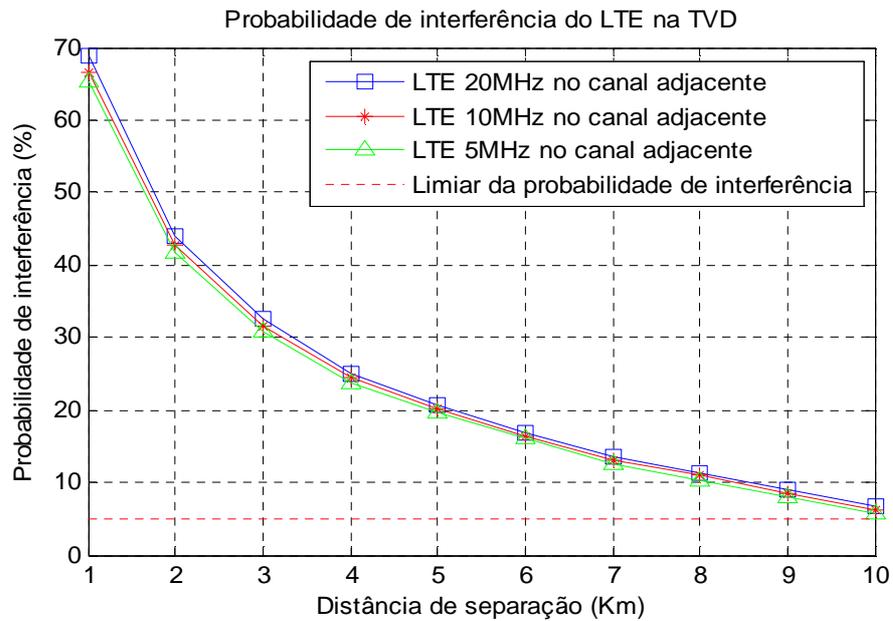


Figura 4.1: Probabilidade de interferência provocada pelo sistema LTE na TVD para 2 MHz de banda de guarda

A figura 4.2 apresenta a variação da probabilidade de o LTE interferir na televisão digital para um intervalo de guarda de 3 MHz.

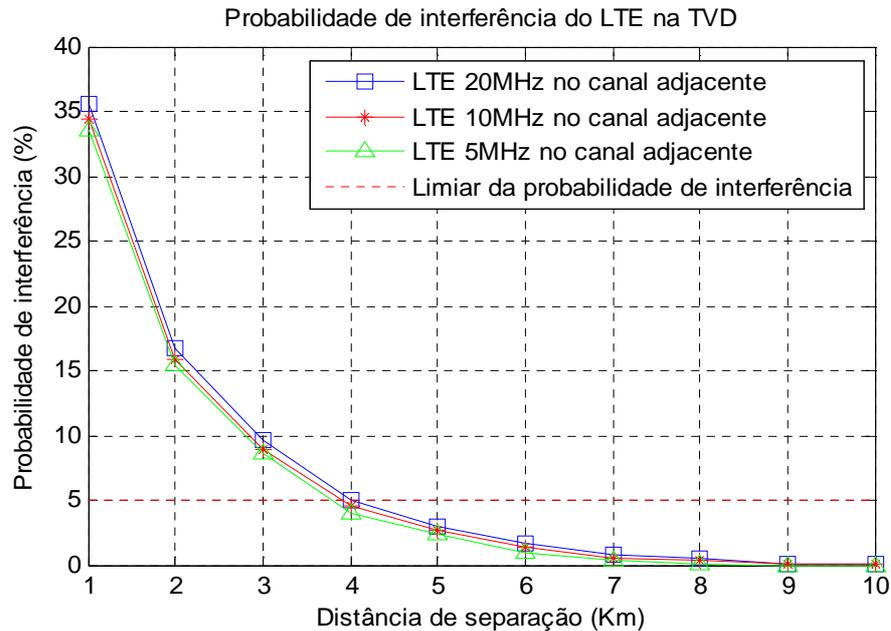


Figura 4.2: Probabilidade de interferência provocada pelo sistema LTE na TVD para 3 MHz de banda de guarda

Para este caso, os resultados mostram uma redução considerável na probabilidade de ocorrência da interferência do sistema LTE na televisão digital devido ao aumento do intervalo de guarda entre os sistemas. Esta interferência poderá ocorrer com probabilidade de cerca de 35 % quando os sistemas separados por uma distância de até 1 km. A probabilidade de interferência continua decrescendo com o aumento da distância de separação entre os sistemas e a mesma alcança o limiar (5%) para 4 km de distância de separação. Assim sendo, para distâncias de separação acima de 4 km, apesar da probabilidade de ocorrer a interferência provocada pelo sistema LTE, a televisão digital poderá operar com um desempenho satisfatório. Além disso, é possível verificar na figura (4.2) que para distâncias de separação de até 8,5 km, a probabilidade de a interferência ocorrer torna-se nula, portanto, a partir desta distância de separação, a televisão digital poderá operar livre de interferência do sistema LTE.

A probabilidade de o sistema LTE interferir na televisão digital, sendo que ambos os sistemas estão separados por um intervalo de guarda de 4 MHz é apresentada na Figura 4.3. Considerando este intervalo de guarda, significa que o limite superior da faixa do canal da TVD corresponde a 698 MHz, enquanto que, o limite inferior da faixa do sistema LTE corresponde a 702 MHz.

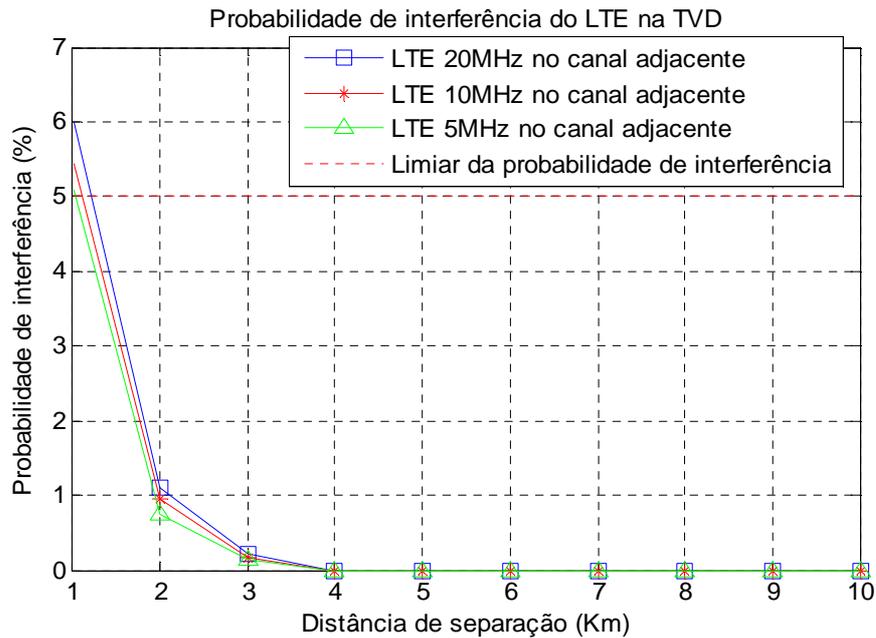


Figura 4.3: Probabilidade de interferência provocada pelo sistema LTE na TVD para 4 MHz de banda de guarda

Para este caso, os resultados mostram que a probabilidade de o sistema LTE interferir na televisão digital é bastante reduzida em comparação com os casos anteriores. Esta probabilidade de interferência é de cerca de 6 %, 5,5 % e 5 % para larguras de banda do sistema interferente (LTE) de 20 MHz, 10 MHz e 5 MHz respectivamente, quando os sistemas estiverem separados por cerca de 1 km de distância. Assim como nos casos anteriores, a probabilidade de ocorrência da interferência diminui com o aumento da separação entre os sistemas. Pode-se notar neste caso que, a partir da distância de cerca de 1,3 km de separação entre os sistemas, a probabilidade de o sistema LTE interferir na TVD permanece sempre abaixo do limiar e que a mesma probabilidade se torna nula a partir de 4 km. Isto significa que apesar da interferência que poderá sofrer do sistema LTE, a TVD poderá operar com um desempenho satisfatório desde que seja respeitada uma distância mínima de separação entre os sistemas, em torno de 1,3 km. Por outro lado, se esta distância for incrementada para mais de 4 km, a TVD poderá operar sem probabilidade de sofrer interferência do sistema LTE.

Conclusão da análise do primeiro cenário

Neste primeiro caso, onde é analisada a interferência que o LTE poderá causar na televisão digital, pode-se concluir que esta interferência poderá ocorrer com diferentes valores de probabilidade, dependendo de fatores como a distância de isolamento entre os sistemas, assim

como do intervalo de guarda. Assim sendo, quando uma distância mínima de proteção for respeitada (dependendo de cada intervalo de guarda), a televisão digital poderá operar com probabilidade de sofrer interferência nula, ou com esta probabilidade abaixo do limiar, o que significa que a televisão irá operar com um desempenho satisfatório. Além disso, é possível concluir também que a probabilidade de interferência na televisão digital não depende da largura de banda do sistema interferente, o LTE, uma vez que esta probabilidade de ocorrer interferência apresenta pouca variação para diferentes valores de largura de banda do sistema LTE.

Segundo caso

No segundo caso, foi analisada a interferência que a televisão digital operando no canal 51 poderá causar no LTE, operando no canal 52. Os resultados são apresentados na forma de perda de capacidade do canal no *uplink* do sistema LTE. Essa perda de capacidade é obtida através da variação (perda) do *throughput* do usuário devido à interferência provocada pela televisão digital. Assim sendo, para efeitos de análise, foi fixado um limiar de perda de capacidade do canal *uplink* do sistema LTE, conforme explicado no capítulo III deste trabalho. A partir deste limiar é possível analisar o desempenho do sistema interferido, o LTE. Dessa forma, quando a perda da capacidade do canal do sistema LTE se situar acima do limiar, o desempenho do sistema será considerado insatisfatório, enquanto que, se a mesma permanecer abaixo do limiar, o LTE poderá operar com um bom desempenho. Por outro lado, quando a perda da capacidade do canal LTE for nula, isto é, assumir o valor zero (0), isso significa que o sistema LTE não está sofrendo interferência da televisão digital, ou que o nível de interferência é muito baixo de tal forma que não causa perda no *throughput* do usuário LTE. A perda da capacidade do canal foi analisada para três diferentes larguras de banda do LTE e nessa análise foi considerada a interferência provocada pela televisão digital das quatro classes.

As figuras 4.4 e 4.5 apresentam a perda da capacidade do canal LTE, quando o sistema opera com 5 MHz de largura de banda.

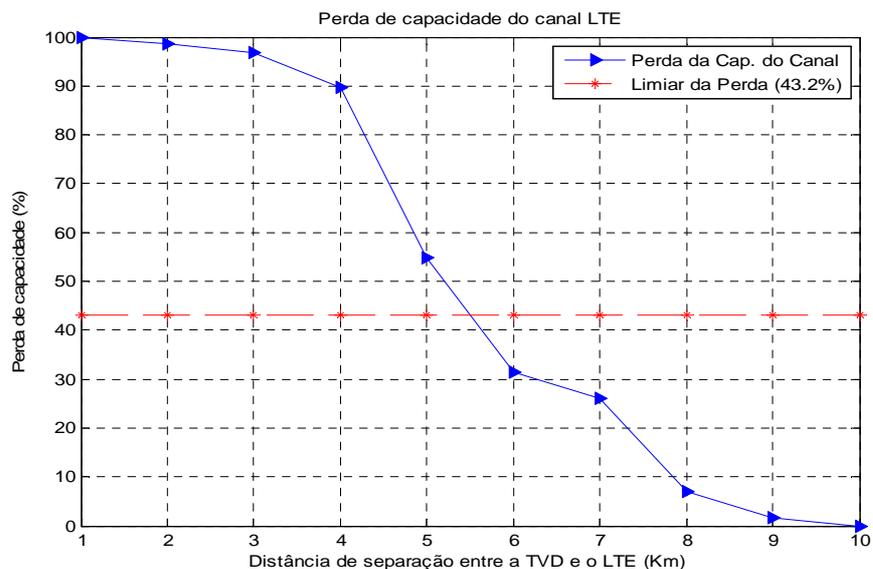


Figura 4.4: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe Especial no canal LTE operando com 5 MHz de largura de banda.

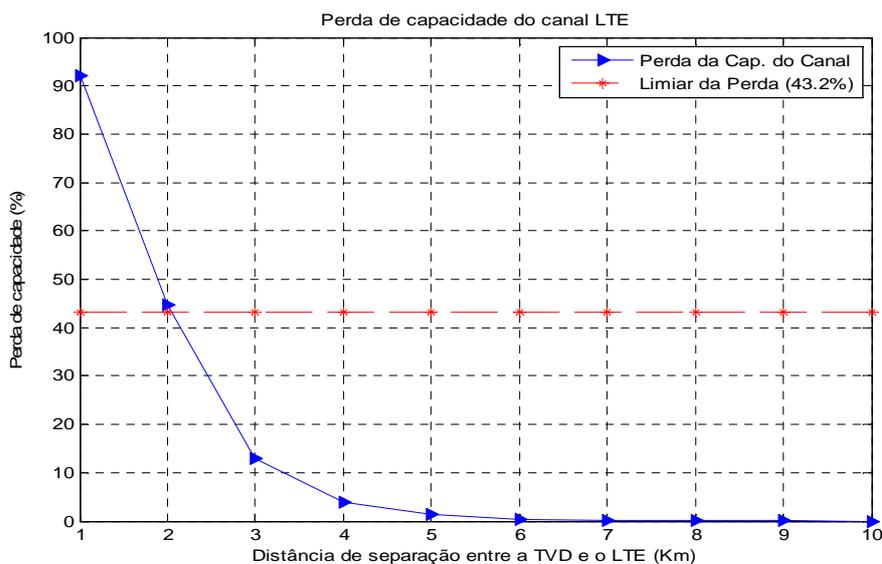


Figura 4.5: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe A no canal LTE operando com 5 MHz de largura de banda.

Neste caso, os resultados mostram a perda de capacidade do LTE devido a interferência provocada pela TVD das classes Especial e classe A. Os resultados mostram que a maior perda da capacidade do canal do sistema LTE ocorre quando este sistema sofre interferência de uma televisão digital de classe especial, conforme o esperado. Essa perda da capacidade é de cerca de 100 % para distâncias de separação abaixo de 2 km, isto é, o *throughput* do usuário do sistema

LTE nestas condições será quase nulo e melhora com o aumento da distância de isolamento entre os sistemas. A perda da capacidade do LTE alcança o limiar da perda (43,2 %) para uma distância de separação de cerca de 5,5 km e permanece abaixo do mesmo até atingir o nulo quando a distância de separação for de cerca de 10 km. Por outro lado, a Figura 4.5 mostra que a perda da capacidade do canal LTE devido à interferência provocada pela televisão digital da classe A, é relativamente menor e situa-se em torno dos 93 % para uma distância de separação de 1 km. Essa perda diminui rapidamente até alcançar o limiar da perda, quando a distância de isolamento entre os sistemas for de cerca de 2 km. Dessa forma, a perda permanece abaixo do limiar até atingir o valor nulo quando a distância de separação for de cerca de 6 km.

As figuras 4.6 e 4.7 apresentam a perda da capacidade do LTE, quando o sistema opera com 10 MHz de largura de banda.

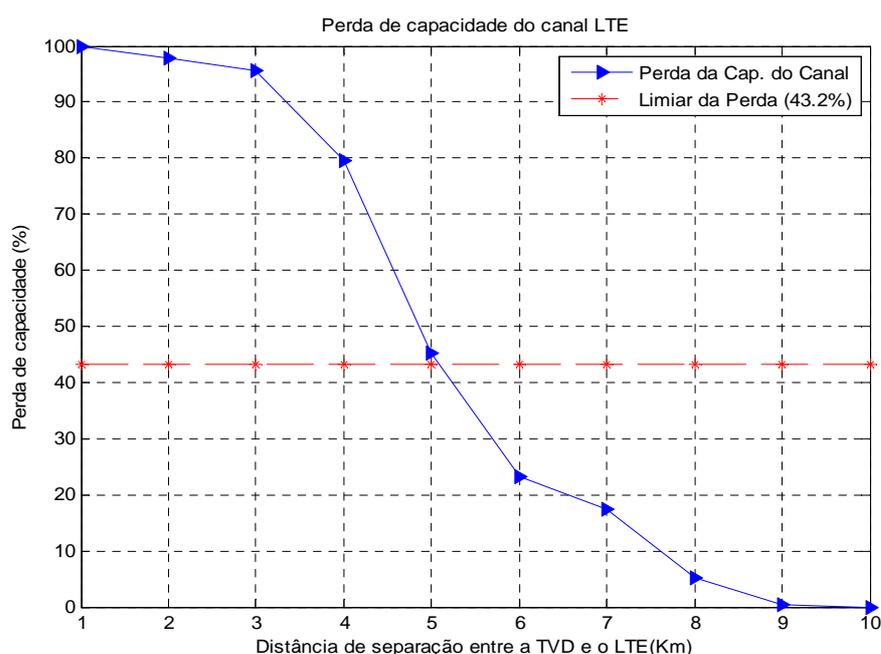


Figura 4.6: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe Especial no LTE operando com 10 MHz de largura de banda.

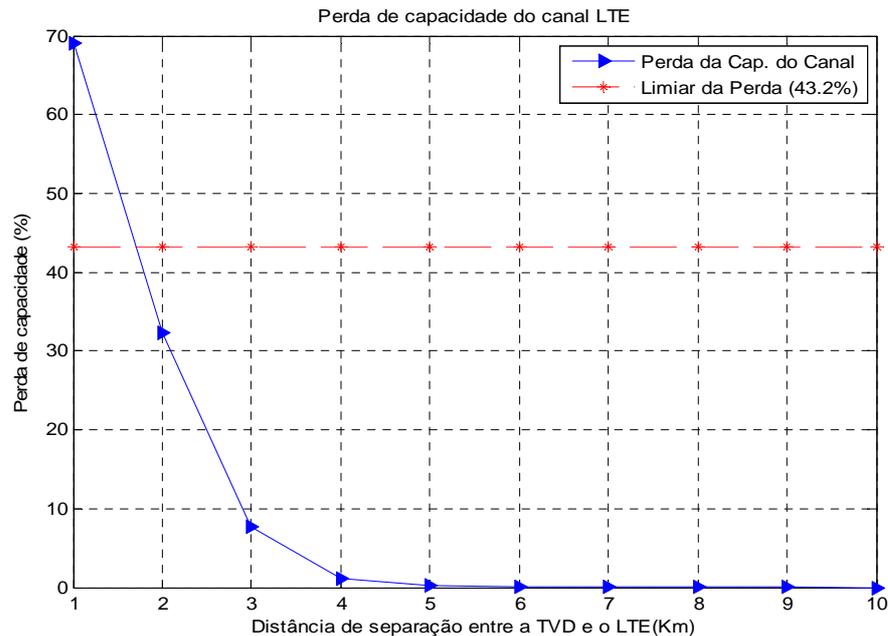


Figura 4.7: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe A no LTE operando com 10 MHz de largura de banda.

Para este caso, os resultados apontam novamente a TVD da classe especial causando maior perda de capacidade do canal do LTE. Assim como no caso anterior, essa perda é de cerca de 100 % quando os sistemas estiverem separados por distâncias abaixo de 2 km. Entretanto, a perda alcança o limiar para uma distância de cerca 5,2 km. Depois de alcançar o limiar, a perda de capacidade do LTE continua diminuindo até atingir o valor nulo em distâncias de separação acima de 9,3 km.

Por outro lado, devido o aumento da largura de banda do sistema interferido, o LTE, que passou para 10 MHz e aliado ao fato de que a televisão digital da classe A transmite uma potência menor quando comparada com a classe especial, a perda de capacidade do canal LTE reduz significativamente de 93 %, quando o LTE opera 5 MHz para 70 %. Esta perda alcança rapidamente o limiar quando a distância de separação for de cerca 1,7 km. Para distâncias de isolamento entre os sistemas maiores que 4,5 km, a perda de capacidade do LTE permanece nula.

As figuras 4.8 e 4.9 apresentam a perda da capacidade do canal LTE, quando o sistema opera com 20 MHz de largura de banda.

Neste caso, os resultados mostram uma melhora significativa na perda provocada pela televisão da classe A, a mesma situa-se em torno de 54 % para distância de separação de 1 km.

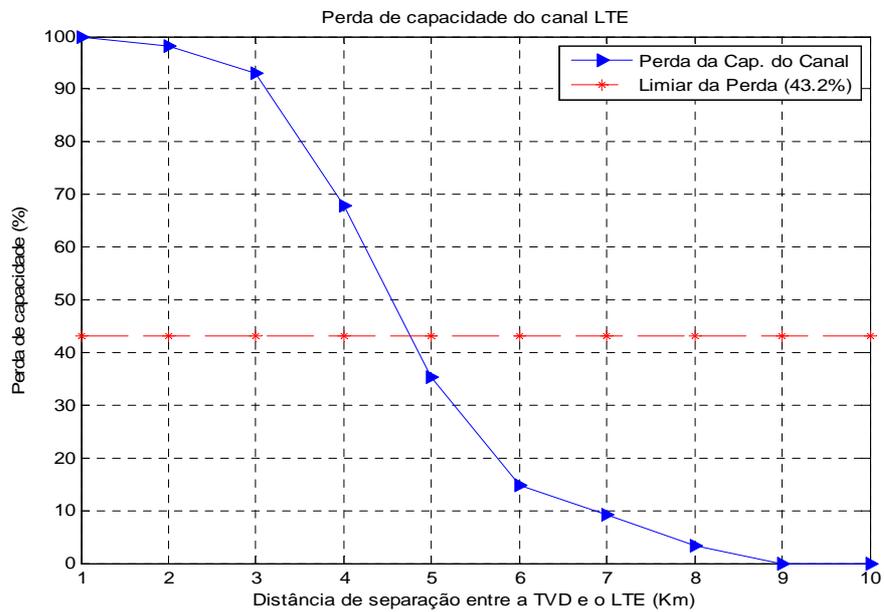


Figura 4.8: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe A no canal LTE operando com 20 MHz de largura de banda.

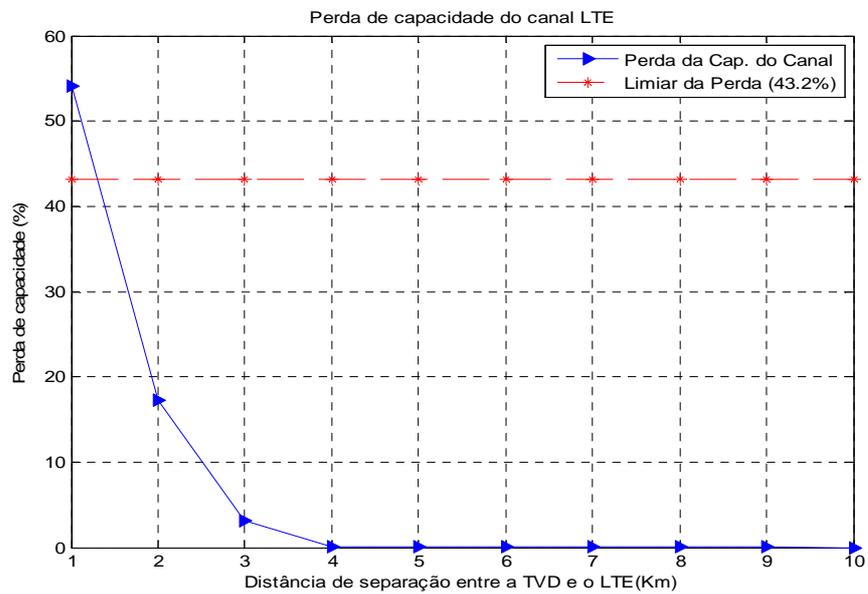


Figura 4.9: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe A no canal LTE operando com 20 MHz de largura de banda.

Esta perda alcança rapidamente o limiar quando a distância de separação for de cerca de 1 km e atinge o valor nulo quando os sistemas estiverem separados por 3 km de distância. Porém, assim como nos casos anteriores, a perda provocada pela TVD de classe especial permanece alta.

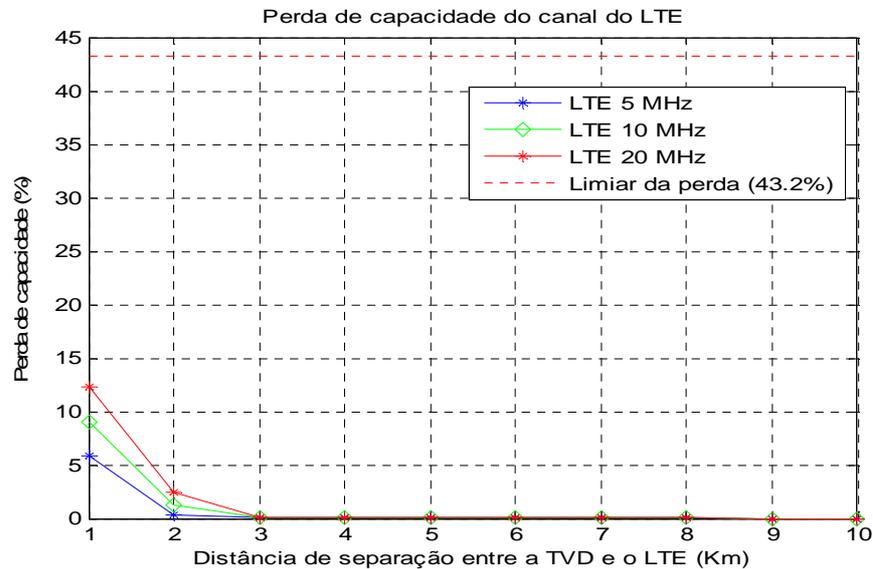


Figura 4.10: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe B no canal LTE operando com 5, 10 e 20 MHz de largura de banda.

A Figura 4.10, apresenta a perda de capacidade provocada pela TVD da classe B. Conforme mostra a figura, a perda da capacidade do LTE, neste caso, permanece sempre abaixo do limiar independentemente da distância de isolamento entre os sistemas.

Para 5 MHz, 10 MHz e 20 MHz de largura de banda do LTE, os resultados mostram que a perda de capacidade do canal LTE situa-se em torno de 14 %, 8 % e 6 % respectivamente, considerando uma distância de separação de 1 km entre a TVD e o LTE. Esta perda rapidamente atinge um valor nulo. Isso significa que, se no canal adjacente ao sistema LTE operar uma TVD da classe B, o sistema LTE poderá operar sempre com um nível de desempenho satisfatório, uma vez que a perda permanece sempre abaixo do limiar.

A interferência provocada pela televisão digital da classe C também foi estudada. Os resultados mostram que a perda da capacidade provocada pela TVD da classe C é sempre nula, como mostra a figura 4.11, devido à baixa potência de transmissão desta classe da TVD.

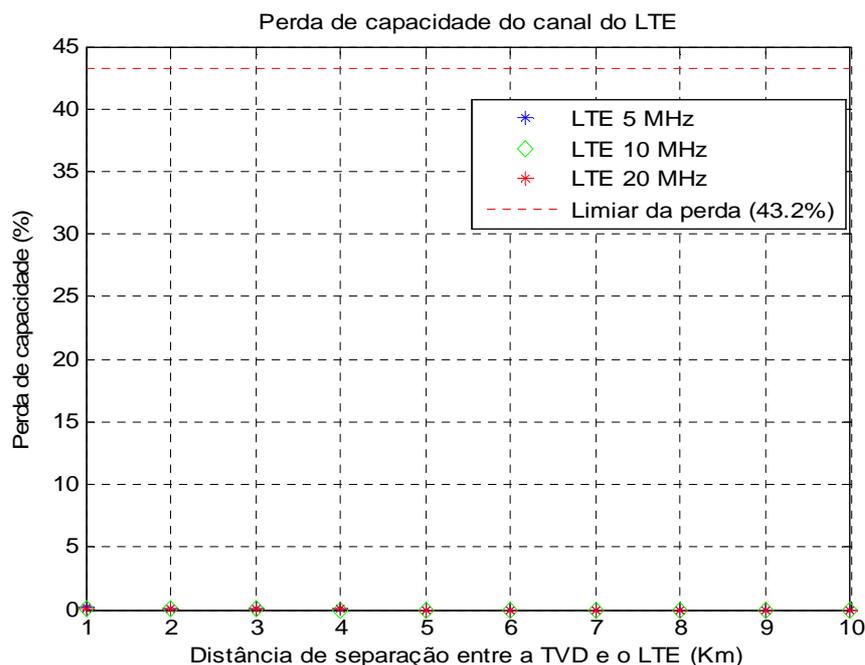


Figura 4.11: Perda de capacidade provocada pela TVD da classe C no canal LTE operando com 5, 10 e 20 MHz de largura de banda.

Conclusão da análise do segundo cenário

Neste segundo caso, foi analisada a interferência que a televisão digital poderá causar no sistema LTE. Os resultados desta análise mostraram que a perda da capacidade do sistema LTE irá depender da classe de TV digital que operar no canal adjacente. A perda de capacidade provocada pela interferência da TV digital da classe especial é sempre elevada. Essa perda apresenta pouca redução apesar do aumento da largura de banda do sistema interferido. Isso acontece devido o fato de a TV digital da classe especial operar com uma potência de transmissão muito alta, entre 80 kW e 100 kW. Assim sendo, a TV digital das classes Especial e A precisa de uma distância mínima de separação relativamente maior, para garantir que o sistema LTE opere com níveis aceitáveis ou sem interferência. Por outro lado, os resultados mostraram também que o aumento da largura de banda do sistema LTE reduz significativamente os impactos causados pela interferência da TVD das classes A e B. Além disso, é possível verificar também que a perda de capacidade provocada pela TV digital da classe B situa-se sempre abaixo do limiar, possibilitando, dessa forma, que o sistema LTE opere sempre com níveis aceitáveis de desempenho. A perda de capacidade do sistema LTE provocada pela TVD de classe C é sempre

nula, conforme mostraram os resultados. Abaixo, na Tabela 4.1, é apresentado o resumo dos resultados desta análise.

Tabela 4.1: Resumo dos resultados.

Sistema Interferente		Sistema Vítima	Banda de Guarda	Probabilidade de Interferência (1 km)	Alcance do Limiar (5%)	Distância de Proteção
LTE		TVD	2 MHZ	70 %	> 10 km	>10 km
			3 MHZ	35 %	4 km	9 km
			4 MHZ	6 %	1,3 km	4 km
Sistema Interferente		Sistema Vítima	Largura de banda	Perda da capacidade (1 km)	Alcance do Limiar (43,2 %)	Distância de Proteção
TVD	Especial	LTE	5	100 %	5,5 km	10 km
	A			93 %	2 km	6 km
	B			12 %	< 1 km	3 km
	C			0 %	0	0
	Especial		10	100 %	4,8 km	9,3 km
	A			70 %	1,8 km	4,5 km
	B			7 %	< 1 km	2,8 km
	C			0 %	0	0
	Especial		20	100 %	4,8 km	9 km
	A			54 %	1,3 km	3 km
	B			6 %	< 1 km	2 km
	C			0 %	0	0

Dado o fato de a probabilidade da interferência causada pelo sistema LTE na TV digital apresentar pouca variação em relação a diferentes valores da largura de banda do LTE, a tabela apresenta somente o resumo para um único valor da largura de banda do sistema LTE, 20 MHz. A probabilidade de ocorrência da interferência é referente à distância de separação de 1 km entre os sistemas. Por outro lado, para a interferência da TVD no sistema LTE, a Tabela 4.1 apresenta apenas os valores das distâncias de proteção, isto é, distâncias a partir das quais a perda da capacidade do sistema LTE assume o valor nulo.

5.2 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este estudo faz uma análise da interferência mútua entre a televisão digital e o serviço móvel de banda larga LTE quando ambos os sistemas operarem em canais adjacentes na faixa de 700 MHz. A análise foi feita num cenário em que a TVD e o LTE estão alocados nos canais 51 e 52 respectivamente da faixa de UHF. Assim sendo, neste trabalho foi analisado o impacto que a interferência de um sistema poderá provocar no outro.

Os resultados desta análise mostraram que ambos os sistemas poderão causar e sofrer interferência. No primeiro caso, onde é analisada a interferência que o sistema LTE poderá causar na TVD, os resultados mostraram que a probabilidade de interferência poderá ser muito alta para bandas de guarda de 2 MHz e 3 MHz se não for considerada uma distância de separação maior entre os sistemas. Ainda neste caso, os resultados mostraram também que esta probabilidade de interferência apresenta pouca variação para diferentes valores da largura de banda do sistema interferente, o LTE.

No segundo caso, onde é analisada a interferência da TVD no LTE, os resultados mostraram que a perda da capacidade do canal do LTE irá depender da classe da TVD alocada no canal adjacente. A interferência provocada pela TVD das classes Especial e A, causa maiores perdas devido a sua elevada potência de transmissão. Por outro lado, os resultados mostraram que a perda provocada pela interferência da TVD da classe B permanece sempre abaixo do limiar de perda. Isso significa que apesar da interferência provocada por uma TVD da classe B, o sistema LTE poderá operar no canal adjacente com um desempenho satisfatório. A TVD de classe C poderá não causar interferência no LTE, razão pela qual, a perda de capacidade do canal LTE provocada pela interferência proveniente da TVD da classe C é sempre nula.

Os resultados desta pesquisa apontaram também para o impacto do aumento da largura de banda do sistema LTE, quando este for o sistema interferido, que resultou na redução significativa na perda da capacidade do LTE provocada pela TVD das classes A e B. Entretanto, esta medida não teve muito impacto para a interferência provocada pela TVD da classe especial, pois a sua potência de transmissão é muito alta.

CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSÃO DO TRABALHO

Neste trabalho foi feito um estudo sobre os efeitos causados pela interferência mútua entre os sistemas da televisão digital (TVD) e de telefonia móvel *Long Term Evolution* (LTE), operando na faixa de frequências de 700 MHz ou Dividendo Digital (DD). Para obtenção dos resultados deste trabalho foi utilizado o método de simulação de Monte Carlo. Os resultados deste trabalho mostram que existe probabilidade de os sistemas de TVD e LTE interferirem mutuamente quando estiverem operando em canais adjacentes, 51 e 52, na faixa de UHF no espectro de frequências. Essa interferência poderá prejudicar o funcionamento de ambos os sistemas, uma vez que os mesmos poderão funcionar com um desempenho não satisfatório. Entretanto, os resultados obtidos no trabalho, apontaram fatores que poderão influenciar no impacto da interferência que cada sistema poderá causar no outro. Dentre esses fatores, destacam-se: a escolha da classe adequada da TVD para ser implantada no canal adjacente ao LTE; a banda de guarda e também a distância de separação entre os sistemas. Além disso, os resultados deste trabalho também mostram que a interferência provocada pela TVD de classe C não causa perdas na capacidade do sistema LTE. Dessa forma, a interferência provocada pela TVD da classe C pode ser considerada insignificante. Outro fator está relacionado ao aumento da largura de banda do sistema LTE, que conforme mostraram os resultados, só tem maior impacto se o LTE for o sistema interferido. Entretanto, o estudo realizado, mostra que apesar da interferência que um sistema poderá provocar no outro, é possível a coexistência dos sistemas da televisão digital e telefonia móvel na faixa de frequências dos 700 MHz, desde que distâncias de separação e bandas de guarda adequadas, apresentadas nos resultados deste trabalho, sejam respeitadas.

6.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, propõe-se:

- Primeiro, o uso de diferentes ferramentas de simulação para o estudo do mesmo problema. Isso poderá permitir uma melhor análise do problema da interferência entre os sistemas da televisão digital e de telefonia móvel, uma vez que diferentes ferramentas poderão fornecer mais resultados para análise.

- Que seja feita uma modelagem do problema considerando mais sinais interferentes em ambos os sistemas, como forma de permitir a aproximação ao cenário mais real do problema.
- Análise da interferência considerando as especificações dos atuais *releases* do padrão LTE, como é o caso do *LTE-Advanced*, para permitir uma maior aproximação possível ao cenário real.
- Análise de métricas como a *BER (Bit Error Rate)*, *PSNR (Peak signal-to-noise ratio)* de ambos os sistemas. Essa análise irá permitir uma maior avaliação do impacto que a interferência de um sistema provoca no outro.
- Simulação e análise da interferência usando dados obtidos através de medições em sistemas de TVD e LTE, a fim de se obter resultados mais próximos possível da realidade.
- Aplicação de modelos de propagação que se adequem a diferentes regiões, para obtenção de resultados aplicáveis a diferentes cenários, considerando as especificidades de cada região em análise.

REFERÊNCIAS

- [1] Goth, Greg, "Something's in the Air: Broadband Advances Depend on Wireless," *Internet Computing, IEEE* , vol.14, no.5, pp.7,9, Sept.-Oct. 2010.
- [2] Weidong Wang; Weidong Wang; Zhi Lv; Wei Huang; Yinghai Zhang, "Analysis of interference from digital Terrestrial Television Broadcast to LTE TDD in Digital Dividend spectrum," *Network Infrastructure and Digital Content, 2010 2nd IEEE International Conference on* , vol., no., pp.692,697, 24-26 Sept. 2010.
- [3] ANATEL. Consulta pública nº 12. "Proposta de Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências, na Faixa de 698 MHz a 806 MHz," ANATEL, Feb. 2013.
- [4] R. Prescott, "Brazil speeds up availability of 2.5 GHz, 700 MHz bands for LTE," *RCWireless Americas*, 2013.
- [5] CPqD. Relatório Técnico/consultoria PD.33.10.63ª.0051A-RT01-AA, Análise da Utilização do Espectro de 700 MHz. Disponível em www.cpqd.com.br. Acesso em: 10 Nov. de 2013
- [6] Young-June Choi; Shin, K.G., "Opportunistic Access of TV Spectrum Using Cognitive-Radio-Enabled Cellular Networks," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* , vol.60, no.8, pp.3853,3864, Oct. 2011.
- [7] Fitch, M.; Nekovee, M.; Kawade, S.; Briggs, K.; MacKenzie, R., "Wireless service provision in TV white space with cognitive radio technology: A telecom operator's perspective and experience," *Communications Magazine, IEEE* , vol.49, no.3, pp.64,73, March 2011.
- [8] ITU. Digital Dividend: Insights for Spectrum Decisions. Disponível em: www.itu.int/ITU-D/.../digital.../DigitalDividend.pdf. Acesso em: 17 de Jan. 2014.
- [9] Wei Li; Jiadi Chen; Hang Long; Bin Wu, "Performance and Analysis on LTE System under Adjacent Channel Interference of Broadcasting System," *Computer and Information Technology (CIT), 2012 IEEE 12th International Conference on* , vol., no., pp.290,294, 27-29 Oct. 2012.
- [10] Guidotti, A.; Guiducci, D.; Barbiroli, M.; Carciofi, C.; Grazioso, P.; Riva, G., "Coexistence and Mutual Interference between Mobile and Broadcasting Systems," *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd* , vol., no., pp.1,5, 15-18 May 2011.
- [11] ARNOLD, J.; FRATER, M.; PICKERING, M. *Digital Television: Technology and Standards*. Canberra: Wiley-Interscience, 2007. 625p.

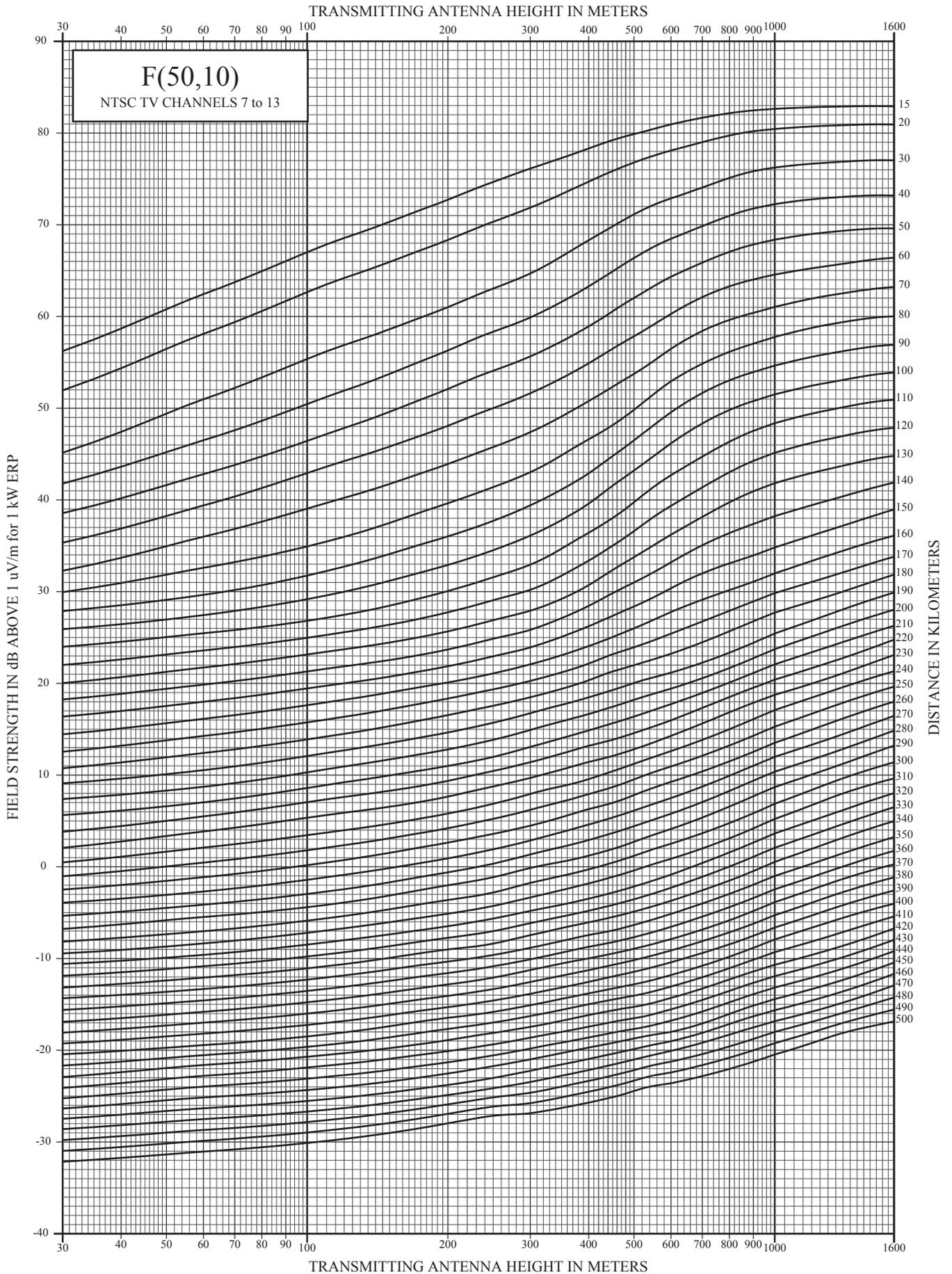
- [12] Sistema de TV Digital. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, Ano 5, n. 5, p. 13-96. Disponível em: www.mackenzie.br/fileadmin/Editora/Revista_enge/introducao.pdf. Acesso em: 17 de Mar. 2014.
- [13] ALENCAR, M. S., *Digital Television*. New York: Cambridge University Press, 2009. 310p.
- [14] M. das Comunicações, “Norma número 01/2010. Norma técnica para execução dos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão com utilização da tecnologia digital,” Ministério das Comunicações, Tech. Rep., 2010.
- [15] Song, J.; Pan, C.; Yang, Z. “*Chinese Standards for Digital Terrestrial Television*.” Disponível em: www.cspress.cn/u/cms/www/.../17092358r4s1.pdf. Acesso em: 25 de Fev. 2014.
- [16] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física. 3ª Edição, Rio de Janeiro: LTC. 2006.
- [17] ALONSO, M.; FINN, E.J. Física, Um Curso Universitário: Campos e Ondas, vol.2. 10ª Edição. Edgard Blucher, 2004. 596p.
- [18] SANCHES, D. Interferência Eletromagnética. 1ª edição. Interciência, 2003. 124p.
- [19] MEDEIROS, J. S. O. Princípios de Telecomunicações: Teoria e Prática. 3ª edição. São Paulo: Érica, 2007. 320p.
- [20] 3GPP. The Mobile Broadband Standard. Disponível em: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. Acesso em: 12 de Fev. 2014.
- [21] 3GPP. “Overview of 3GPP Release 8 V0.3.0 (2013-12)”. Disponível online em: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/. Acesso em: 17 de Mar. 2014.
- [22] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker “LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice,” John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-69716-0, 2009.
- [23] LTE: Conceitos de Rede. Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_4.asp. Acesso em: 23 de Fev. 2014.
- [24] RAPPAPORT, T.S. Comunicações sem Fio: Princípios e Práticas. 2ª Edição. São Paulo: Pearson, 2009. 391p.
- [25] VIEIRA, C. M. M., Interferência no Sistema WCDMA, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Fluminense, 2010.

- [26] P. R. H. Balduino, “Dividendo digital,” *Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET)*, vol. 22. Ed. 126, Maio 2012.
- [27] FCC. Notice of Proposed Rule Making. Maio de 2004. Disponível em: <https://www.google.co.mz/#q=FCC+NOTICE+OF+PROPOSED+RULE+MAKING+2004>. Acesso em: 8 de Fev. 2014.
- [28] European Communication Office. “Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool (SEAMCAT-4).” Oct. 2013. Disponível online em: <http://www.seamcat.org>. Acesso em: 12 de Mar. 2014.
- [29] European Communication Office. “SEAMCAT Manual”. Disponível online em: <http://tractool.seamcat.org/wiki/Manual>. Acesso em: 08 de Jun. 2013.
- [30] In-kyoung Cho, Il-kyoo Lee and Youn-ok Park, “Study on Coexistence between Long Term Evolution and Digital Broadcasting services,” *International Journal of Advanced Science and Technology* Vol. 38, January, 2012.
- [31] Motorola, “Long term evolution (LTE): A technical overview,” Motorola Inc., Tech. Rep., 2010.

ANEXOS

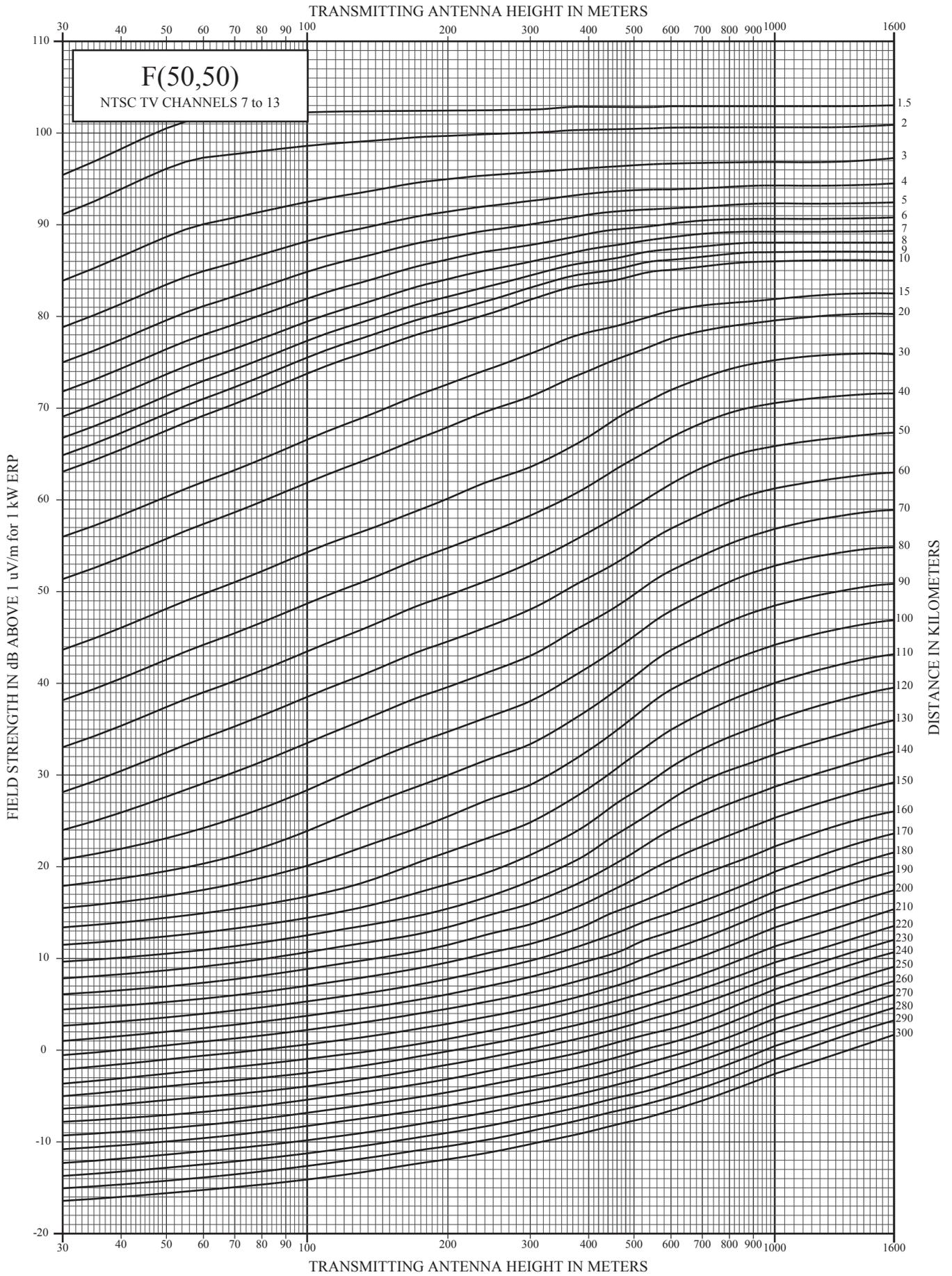
47 CFR Section 73.699, Figure 10a

Estimated Field Strength Exceeded at 50 percent of the potential receiver locations 10 percent of the time, at a receiving antenna height of 9 meters



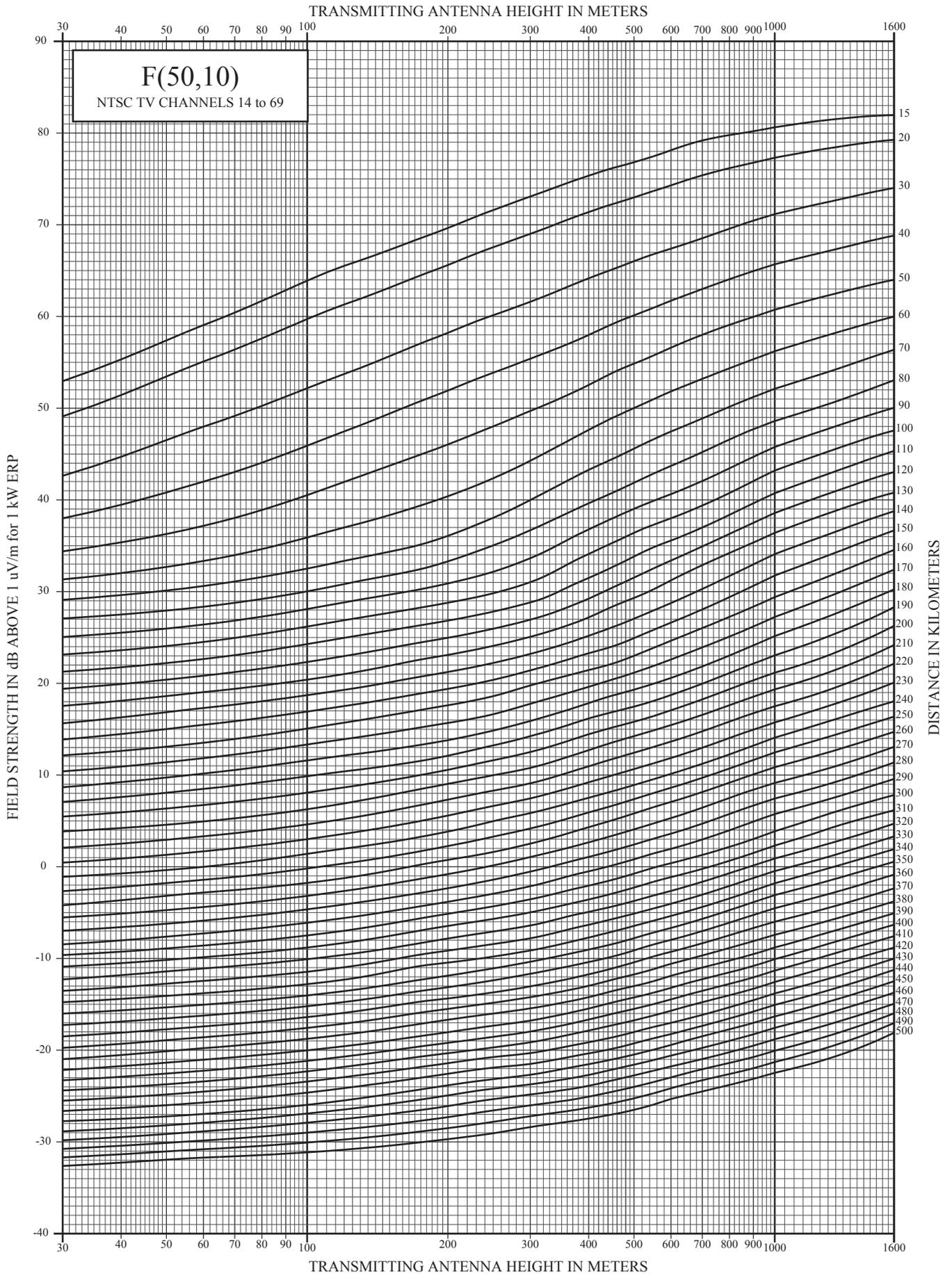
47 CFR Section 73.699, Figure 10

Estimated Field Strength Exceeded at 50 percent of the potential receiver locations 50 percent of the time, at a receiving antenna height of 9 meters



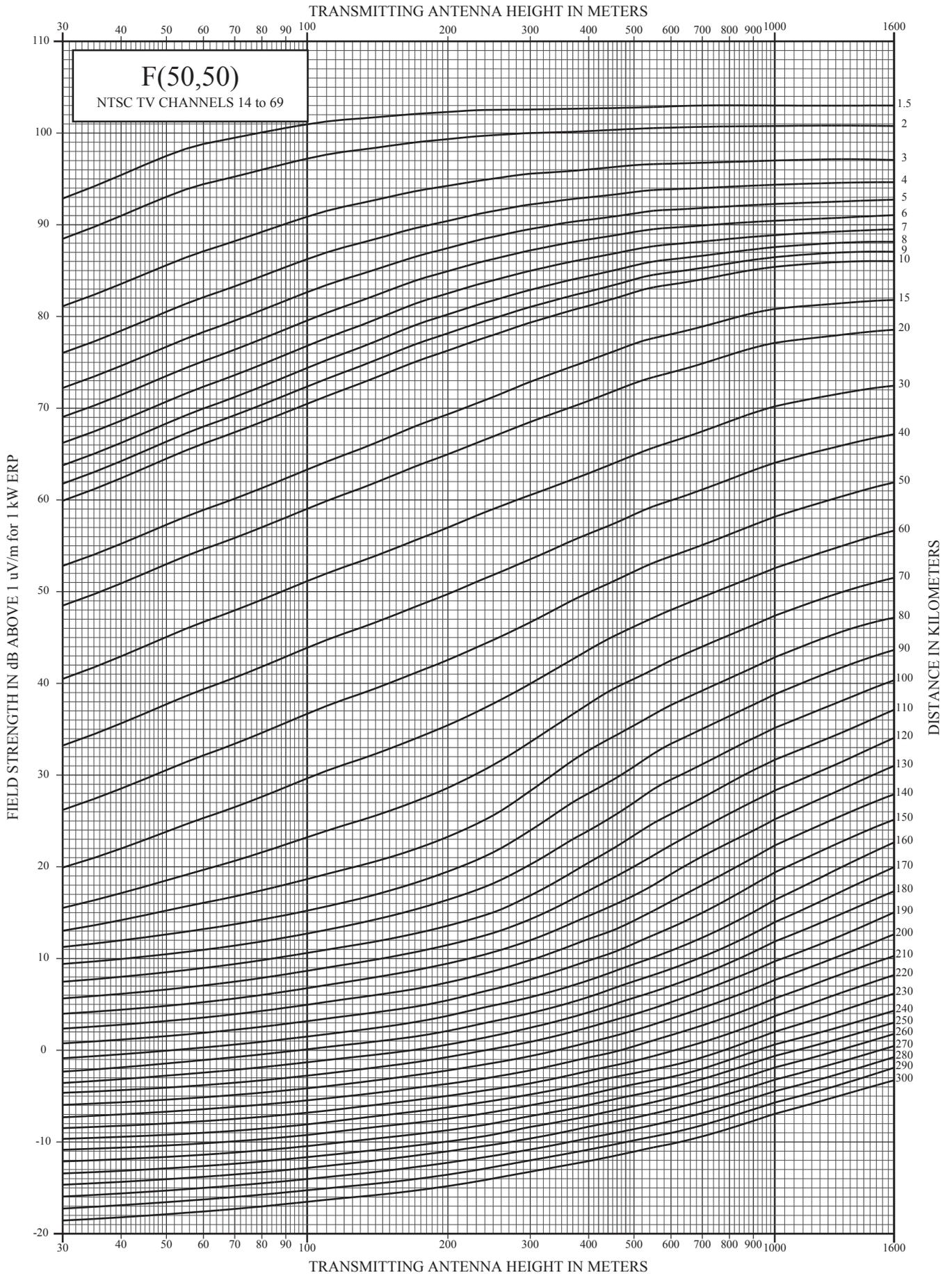
47 CFR Section 73.699, Figure 10c

Estimated Field Strength Exceeded at 50 percent of the potential receiver locations 10 percent of the time, at a receiving antenna height of 9 meters



47 CFR Section 73.699, Figure 10b

Estimated Field Strength Exceeded at 50 percent of the potential receiver locations 50 percent of the time, at a receiving antenna height of 9 meters



Estimated Field Strength Exceeded at 50 percent of the potential receiver locations 90 percent of the time, at a receiving antenna height of 9 meters

