Revista de RADIODIFUSÃO

VOLUME 09 - NÚMERO 10 - 2015

ISSN impresso 1981-4984

ISSN eletrônico 2236-9619

Revista de RADIODIFUSÃO

volume 09 • número 10• 2015

volume 07 • número 07 • 2013

ISSN impresso 1981-4984 | ISSN eletrônico 2236-9619

Versões on-line / On line versions: http://www.set.org.br/revistaderadiodifusao

SET - Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão
Rio de Janeiro/RJ - Rua Jardim Botânico,700 - Sala 306 | CEP. 22461-000
Tel.: + 55 (21) 2512-8747 - Fax + 55 (21) 2294-2791
São Paulo/SP - Av. Auro Soares de Moura Andrade, 252- Cj. 11 | CEP. 01156-001
Tels: +55 (11) 3666 9604
www.set.org.br | set@set.org.br

Revista Eletrônica de Radio Difusão / SET. -- v. 9, n. 10 (2015). – São Paulo : Editora Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão - SET, 2015-.

Semestral
Periodicidade do v. 9: semestral
Disponível na Internet: : http://www.set.org.br/revistaderadiodifusao/
ISSN 2236-9619

1. Radiofusão - Periódicos. 2. TVDigital - Periódicos. 3. Broadcast – Periódicos. I. Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão. II. SET.

CDD (21. ed.) 384.54

REVISTA DE
RADIODIFUSÃO

Expediente

Volume 09 • número 10 • 2015

Diretoria da SET

Presidência
Olímpio José Franco

Vice Presidente
Fernando Bittencourt

Diretor Executivo
José Munhoz

Diretoria Editorial
Valderez de Almeida Donzelli
Valdecir Becker

Diretoria de Ensino
José Frederico Rehme
José Raimundo Cristóvam

Diretoria de Tecnologia
Carlos Fini
José Dias

Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão
Rua Jardim Botânico, 700 – Sala 306
Rio de Janeiro, RJ – CEP: 22461-000
Tel: (21) 2512-8747 – Fax: (21) 2294-2791
www.set.org.br – set@set.org.br

O conteúdo dos artigos é de inteira responsabilidade de seus autores.

Editor

Prof. MSc. Vitor Chaves de Oliveira
Mackenzie Presbyterian University - Brazil, São Paulo/SP
Prof. MSc. José Frederico Rehme
Positivo University - Brazil, Curitiba/PR

Comitê Científico

Prof. Dr. Marcelo Knörich Zuffo
University of São Paulo - Brazil, São Paulo/SP
Prof. Dr. Gunnar Bedicks
Mackenzie Presbyterian University - Brazil, São Paulo/SP
Prof. Dr. Cristiano Akamine
Mackenzie Presbyterian University - Brazil, São Paulo/SP
Prof. Dr. Guido Lemos
Federal University of Paraíba - Brazil, João Pessoa/PB
Prof. Dr. Valdecir Becker
Federal University of Paraíba - Brazil, João Pessoa/PB
Prof. Dr. Luís Geraldo Pedroso Meloni
State University of Campinas - Brazil, Campinas/SP
Prof. Dr. Alexandre de Almeida Prado Pohl
Federal Technological University of Paraná - Brazil, Curitiba/PR
Prof. Dr. Flavio Ferreira Lima
Ministry of Communications(Federal Government) and University of Brasilia - Brazil, Brasília/DF
Profa. Dra. Carla Liberal Pagliari
Ministry of Defense(Federal Government), Military Engineering Institute - Brazil, Rio de Janeiro/RJ
Profa. MSc. Valderez de Almeida Donzelli
Mackenzie Presbyterian University - Brazil, São Paulo/SP
Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota
Pontifical Catholic University of Campinas - Brazil, Campinas/SP
Prof. Dr. Amilton da Costa Lamas
Research Center for Telecommunications Development - Brazil, Campinas/SP
Prof. MSc. Andreiwid Sheffer Corrêa
Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo - Brazil, Campinas/SP
Prof. Dr. Cristiano Akamine
Mackenzie Presbyterian University - Brazil, São Paulo/SP
Prof. MSc. Inácio Henrique Yano
Brazilian Agricultural Research Corporation - Brazil, Campinas/SP
Prof. MSc. Jose Lemes Filho
State University of Campinas - Brazil, Campinas/SP
Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Pontifical Catholic University of Campinas - Brazil, Campinas/SP
Prof. MSc. Maurício Becker
Hewlett-Packard Company - Brazil, São Paulo/SP
Prof. Dr. Paulo Batista Lopes
Mackenzie Presbyterian University - Brazil, São Paulo/SP

Projeto gráfico / Versão eletrônica

Solange Lorenzo

sumário

Current Issue **05** Apresentação

artigos

Article 1 **10** MPEG-SCORM: ontologia de metadados interoperáveis entre TV Digital e e-Learning
M. Correia Santos, Y. Iano

Article 2 **18** Rádios Definidos por Software com aplicações GNU Radio
Sérgio Bimbi Junior, Vitor Chaves de Oliveira, Gunnar Bedicks Junior

Article 3 **27** Estimação da Energia de Campos Eletromagnéticos em Edificações pela Radiodifusão proveniente de redes IEEE 802.11
Lorenzo Coiado, Alexandre Mota, Lia Mota

Article 4 **31** Average Room Occupancy Rate and its relation with Received Signal Strength Indicator in Wireless Sensors Networks
Daniel B. Barros, Alexandre Mota, Lia Mota

Article 5 **35** Análise de Conteúdo Multimídia para Radiodifusão Digital Operando na Faixa de Ondas Curtas
Hebert Santos, Amanda A. Menezes, Gilvandson C. Cavalcante, Sidnei Baumann, Flávio F.Lima

Article 6 **48** Técnicas de Projeto para Atendimento aos Requisitos de Cobertura de Estações de FM
Paulo E. R. Cardoso, Yuzo Iano, Silvio R. M. Carvalho, Hermes J. Loschi, Rafael F. Pinheiro, Thiago V. Silva

Article 7 **56** Método de cálculo de MCL entre TVD e LTE
Marcus Aurélio Ribeiro Manhães, Marcos Baracho Trindade

Article 8 **63** Técnicas de codificação de canal e modulação para a próxima geração de televisão digital
Leonardo F. Leone, Cristiano Akamine

Article 9 **69** Determinação da potência interferente versus a distância da estação LTE na TV Digital
Bruno Rodrigues Ferraz Izario, Cristiano Akamine

Article 10 **79** As mudanças nas transmissões esportivas de televisão com a chegada da Super Alta Definição (UHDTV)
Fernando C. Moura

Article 11 **88** Avaliação do Desempenho de um Sistema de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil Baseado em Software Livre para Geração de Closed Caption
Luiz Fausto de Souza Brito, Flávio Luis de Mello

Article 12 **102** Comportamento de Receptores em uma Rede de Frequência Única ISDB-T
Christian Fragoas Fernandez Rodrigues, Francisco de Assis Peres, Lisadro Lovisolo

Article 13 **112** Desenvolvimento de Sistema de Recepção com Amplificação do Nível de Sinal Digital de Alta Definição
Diego de Moura, Ingrid C. Cezário, Adroaldo Raizer

Article 14 **118** Influência da MER vs. Área de Cobertura
Newton Martins Stori, José Frederico Rehme

Article 15 **126** Jogos educativos em TVDi: A gameficação do ginga
Lucas Silveira de Azevedo, Fabio Cardoso

APRESENTAÇÃO

A edição de 2015 da Revista de Radiodifusão traz artigos na área de Broadcast e Novas Mídias divulgando primordialmente trabalhos de pesquisa e desenvolvimento. Os assuntos tratados são diversos e demonstram a efervecência de temas em debate atualmente na área de engenharia de televisão, questões de controle de qualidade e avaliação do canal através de MER, interoperabilidade com MPEG-21, jogos educativos com ginga, avaliação de campos eletromagnéticos para aferir audiência e para analisar seus efeitos no corpo humano. Somando-se à isto tratamos das vantagens das novas plataformas de implementação em rádios definidos por software, inteferência e cálculos de perda com LTE e TVD na faixa de 700Mhz, questões de apoio ao atendimento regulatório em como estimar a cobertura de ERBs para FM, explanações à respeito das mais recentes técnicas de modulação para a próxima geração de TV digital, estudos sobre o alcance de ondas curtas, avaliação de automatização de closed caption, receptores em rede SFN no ISDB-T, amplificação do nível de sinal digital HD em receptores e as modificações do discurso da transmissão com a chegada da super alta definição. Em nome da equipe da SET responsável pela concepção desta edição, esperamos que os leitores desse material se beneficiem com a abrangência e profundidade de temas selecionados.

A Revista recebeu um total de 27 submissões, e, após o processo de revisão do Comitê Científico, quinze trabalhos foram considerados aderentes e adequados à proposta da Revista. A seguir temos a relação destes trabalhos aprovados e seus respectivos resumos.

MPEG-SCORM: ontologia de metadados interoperáveis entre TV Digital e e-Learning, *M. Correia Santos, Y. Iano*. The convergence of digital media offers an integration of ICT focused on telecommunications and multimedia domain (under responsibility of the Moving Picture Experts Group, ISO/IEC JTC1 SC29) and the ICTE (the ICT for Education), managed by the ISO/IEC JTC1 SC36, highlighting the MPEG standards, employees as content and metadata to the multimedia Digital TV and the technologies applied to e-Learning. Regarding this, there is the problem of developing an interoperable matching for normative bases, achieving an innovative proposal in the convergence between digital telecommunications and applications for e-Learning, also essentially multimedia. To reach this purpose it is proposed to create a standard ontology of interoperable metadata for web, Digital TV and extensions for mobile devices based on the integration between MPEG-21 and SCORM metadata standards. The methodology used consists on building ontology MPEG-21 SCORM which can be achieved on making a correspondence through the XPath language, managed by the W3C. The employ of the XPath language is desirable for matching and mapping both metadata schema patterns – integrating MPEG-21 (mostly Digital Item Declaration Language) and SCORM metadata schema. The practical purpose is the creation and storage of objects for use in digital telecommunications as Digital Television, in an interoperable way with the e-Learning industry, here as description metadata for all sorts of media and hypermedia to create learning objects.

In the First Chapter, there will be presented the Digital Television system based on MPEG video and its scenario. Chapter II will discuss about the concept of Learning Objects and Metadata for e-Learning standards, highlighting SCORM. Chapter III covers the issue of MPEG-21 metadata specifically, focusing on its structure and normalization as well. Finally, Chapter IV presents the adopted methodology for integration and interoperability between multimedia and e-learning metadata standards, based on MPEG-21 and SCORM through the W3C XPath mapping language.

Rádios Definidos por Software com aplicações GNU Radio, *Sérgio Bimbi Junior, Vitor Chaves de Oliveira, Gunnar Bedicks Junior.* The Software Defined Radio or SDR , it is a radio communication system where components which are usually implemented in hardware (mixers, filters, amplifiers, modulators / demodulators , detectors) are implemented by software on a computer. This feature becomes important once these elements can be reconfigured and adapted to the system's conditions and preferred performance. For this application the GNU Radio / GNU Radio Companion, a free software tool that allows the developer the ability of building a SDR simply

and quickly, provides a blocks building engineering with deterministic functions that facilitate integration and control parameters. This paper aims to exemplify the use and operation of SDR via GNU Radio.

Estimação da Energia de Campos Eletromagnéticos em Edificações pela Radiodifusão proveniente de redes IEEE 802.11, *Lorenzo Coiado, Alexandre Mota, Lia Mota.* Lately, a wide variety of devices has been developed which have allowed users access wireless communication net such as smartphones as well as laptops. Due to this a rapid expansion of Wi-Fi IEEE 802.11 standard technology has been felt. Wi-Fi has permitted a greater mobility to users to obtain information and it has become an attractive solution to the corporative world since with no wired net points the cost of installations have been cut down. As Wi-Fi technology is spread, a significant increase of radiated electromagnetic fields has been observed in different installed points. This document presents a method of indoor building electromagnetic measuring areas focused on a 2,4 GHz Wi-Fi net from the potential mapping generated in dBm by this net. This study has the concern about all harm these electromagnetic radiations may cause to the human being.

Average Room Occupancy Rate and its relation with Received Signal Strength Indicator in Wireless Sensors Networks, *Daniel B. Barros, Alexandre Mota, Lia Mota***.** This work aims to define a model for the relation between the Received Signal Strength Indicator (RSSI) of an Wireless Sensors Network (WSN) and the occupation rate of an indoor ambient. Experimental tests were carried out to identify this model that is able to provide the number of people (occupancy rate) in this ambient as a function of the RSSI variance. The tests were based on the installation of an WSN in a classroom, allowing to collect data related to RSSI variation, considering a point-to-point network. As a conclusion, it was possible to identify a relationship between these variables that determines the ambient occupancy rate.

Análise de Conteúdo Multimídia para Radiodifusão Digital Operando na Faixa de Ondas Curtas, *Hebert Santos, Amanda A. Menezes, Gilvandson C. Cavalcante, Sidnei Baumann, Flávio F.Lima.* This paper intends to evaluate the main tools of multimedia services used in currently media, identifying those that are best suited to digital broadcasting service in the range of shortwave, taking into account the best technical characteristics for the production of content to be transmitted in narrowband technology.

Técnicas de Projeto para Atendimento aos Requisitos de Cobertura de Estações de FM, *Paulo E. R. Cardoso, Yuzo Iano, Silvio R. M. Carvalho, Hermes J. Loschi, Rafael F. Pinheiro, Thiago V. Silva*. Presents the assessment of 16 FM stations coverage held in the metropolitan region of São Paulo, pointing methodologies for prediction and measurement adopted by Anatel, analyzing the coverage gaps and showing, by simulations, the variations that the design features can causing to the coverage of a station, directly linked to the quality of service.

Método de cálculo de MCL entre TVD e LTE, *Marcus Aurélio Ribeiro Manhães, Marcos Baracho Trindade.* This article displays a methodology for calculating a Minimum Coupling Loss (MCL) to estimate the minimum distance between DTV receivers and LTE transmitters that must share spectral adjacency. The release of the 700 MHz frequency range, considered the digital dividend, implies the necessary interaction between the DTV and the LTE systems. The method estimates the number of mitigation filters to be installed with to TV receivers in the vicinity of a base station. However, it can also be used to analyze the coexistence of LTE with analog TV, since the related parameters are considered.

Técnicas de codificação de canal e modulação para a próxima geração de televisão digital, *Leonardo F. Leone, Cristiano Akamine.* This paper aims to explore the latest and well succeeded techniques for transmission and reception for the next generation of digital terrestrial television broadcasting system, more precisely in study fields of error correction codes and modulation, such as BICM (Bit-Interleaver Coding and Modulation) and NUC (Non Uniform Constellation). There is also an introduction about FoBTV (Future of Broadcast Television), an association created to make the next TV generation unified around the world. An overview of the latest standards generations being developed that employ these techniques is also made.

Determinação da potência interferente versus a distância da estação LTE na TV Digital, *Bruno Rodrigues Ferraz Izario, Cristiano Akamine.* Este trabalho tem por objetivo analisar a interferência entre o sistema LTE (Long Term Evolution) e ISDBTB (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial version B) na banda de 700 MHz. Para a análise é determinada a distância mínima que assegura o funcionamento dos dois sistemas na gama de funcionamento. O impacto da interferência é avaliado em um cenário onde a estação de LTE, estação de TV digital e receptor de TV digital estão presentes na mesma área de cobertura. Usando os parâmetros apresentados neste trabalho é calculado a potência de interferência que chega ao receptor de TV digital de acordo com a distância da estação de LTE e receptor de TV digital. Além disso, o resultado também mostra que o filtro utilizado no receptor atenua a energia do sinal de LTE, e a distância entre a estação e o receptor de TV digital LTE diminui consideravelmente, o que permite uma interação entre os sistemas.

As mudanças nas transmissões esportivas de televisão com a chegada da Super Alta Definição (UHDTV), *Fernando C. Moura.* A última Copa do Mundo Brasil 2014 mudou a forma de captação, produção e transmissão de jogos de futebol mediante a utilização da tecnologia 4K, um formato que pode vir a substituir o padrão Full HD utilizado até hoje. Neste artigo relatamos o acompanhamento in loco dos testes realizados durante a Copa das Confederações 2013 e o Mundial 2014, as novidades da implantação do 4K e quais as possíveis consequências dessa mudança na retórica do discurso "futebolístico" com a utilização de novas tecnologias de captação, e damos um breve olhar sobre o 8K, o que pode ainda vir.

Avaliação do Desempenho de um Sistema de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil Baseado em Software Livre para Geração de Closed Caption, *Luiz Fausto de Souza Brito, Flávio Luis de Mello.* Automatic Speech Recognition (ASR) is a technique that may be applied to the generation of closed caption for live television programs with lower operating costs than stenotyping. However, there is a lack of satisfactory commercial systems that implement this technology for Brazilian Portuguese language. This paper presents the training and the comparative performance assessment of an ASR system for Brazilian Portuguese, using free software and public databases. The results analysis suggests that it is feasible to develop a system with superior performance compared to both stenotyping and currently available commercial Brazilian Portuguese ASR systems.

Comportamento de Receptores em uma Rede de Frequência Única ISDB-T, *Christian Fragoas Fernandez Rodrigues, Francisco de Assis Peres, Lisadro Lovisolo.* Multiple frequency networks were widely used for television broadcasting due to the inability of original television reception systems to demodulate interfered signals. With the advance of television broadcast technology to digital transmission using OFDM, distribution networks employ a smaller number of frequency channels than for analog broadcasting. In addition, single frequency networks become an important alternative, as they optimize spectrum usage, allowing contiguous regions to be covered using less frequency channels. Digital television receivers improvements make them more prepared to work in SFN scenarios, as they improve their capabilities to demodulate signals under adverse conditions. This work presents test results of digital television commercial receiver's behavior in a SFN. The tests evaluate and analyze their reception capabilities in a SFN scenario, at the receiver signals from two transmitters arrive in line of sight, this is done in several settings with different guard intervals. This laboratory test was applied to five digital television receptors. An improvement in the performance of receptors was observed in comparison to previous works. The impact of the guard interval configuration is also reported. The use of SFN generates a reception margin loss which is evaluated in this work. In addition, using a default receptor model we translate the power density values measured on laboratory to the minimal electrical field strength for reception.

Desenvolvimento de Sistema de Recepção com Amplificação do Nível de Sinal Digital de Alta Definição , *Diego de Moura, Ingrid C. Cezário, Adroaldo Raizer.* This paper presents the development of an a radiofrequency amplifier based on a transistor that operates at high frequency. In order of determining the increase of the signal level via amplification, a half-wave dipole antenna (λ / 2) with geometry inspired by the meander line antenna type (MLA) also is developed. Simulations using software based on the finite element method were performed and the antenna reception efficiency was evaluated through measurements.

Influência da MER vs. Área de Cobertura, *Newton Martins Stori, José Frederico Rehme*. In this paper are presented theories and technical tests on terrestrial Digital TV transmission, in which the MER (Modulation Error Rate) parameter was altered on the transmitter, and analysis was conducted on the impact that this variation causes on Digital TV reception. MER is one of the main parameters analyzed at the transmitter specification stage, and it strongly affects equipment price and energy efficiency; therefore, the study of the effects that the value of MER measured at the output of the transmission device has on the reception of the TV devices is extremely important. This paper describes laboratory and field tests and results, suggesting which transmission MER value is optimal for good reception in a desired coverage area, even in the presence of noise and degradation (especially channel contributions).

Jogos educativos em TVDi: A gameficação do ginga, *Lucas Silveira de Azevedo, Fabio Cardoso.* Toda tentativa de explorar novas formas de utilização da interatividade em televisão digital cria expectativas relacionadas aos seus resultados, principalmente quando se trata de processos educativos para o público infantil. Este artigo apresenta um estudo teórico-prático desenvolvido pela TV Unesp que demonstra a possibilidade de apropriação dos elementos do design de jogos em contextos não jogáveis. Oriunda de uma das linhas de pesquisa desenvolvidas na emissora, a série Apolônio e Azulão é constituída por doze episódios, cada um com dois momentos interativos gameficados que acompanham o conteúdo e oferecem possibilidades de explorar a interatividade no processo de compreensão do conteúdo por meio de jogos desenvolvidos em Ginga, evidenciando a viabilidade de integração dos jogos digitais à narrativa audiovisual educativa.

Boa leitura,

Vitor Chaves de Oliveira e José Frederico Rehme

Editores

MPEG-SCORM: ontologia de metadados interoperáveis entre TV Digital e e-Learning

Marcelo CORREIA SANTOS

Yuzo IANO

MPEG-SCORM: ontologia de metadados interoperáveis entre TV Digital e e-Learning

M. Correia Santos, Y. Iano, *Member, IEEE*

***Abstract*— The convergence of digital media offers an integration of ICT focused on telecommunications and multimedia domain (under responsibility of the Moving Picture Experts Group, ISO/IEC JTC1 SC29) and the ICTE (the ICT for Education), managed by the ISO/IEC JTC1 SC36, highlighting the MPEG standards, employees as content and metadata to the multimedia Digital TV and the technologies applied to e-Learning. Regarding this, there is the problem of developing an interoperable matching for normative bases, achieving an innovative proposal in the convergence between digital telecommunications and applications for e-Learning, also essentially multimedia. To reach this purpose it is proposed to create a standard ontology of interoperable metadata for web, Digital TV and extensions for mobile devices based on the integration between MPEG-21 and SCORM metadata standards. The methodology used consists on building ontology MPEG-21 SCORM which can be achieved on making a correspondence through the XPath language, managed by the W3C. The employ of the XPath language is desirable for matching and mapping both metadata schema patterns – integrating MPEG-21 (mostly Digital Item Declaration Language) and SCORM metadata schema. The practical purpose is the creation and storage of objects for use in digital telecommunications as Digital Television, in an interoperable way with the e-Learning industry, here as description metadata for all sorts of media and hypermedia to create learning objects.**
In the First Chapter, there will be presented the Digital Television system based on MPEG video and its scenario. Chapter II will discuss about the concept of Learning Objects and Metadata for e-Learning standards, highlighting SCORM. Chapter III covers the issue of MPEG-21 metadata specifically, focusing on its structure and normalization as well. Finally, Chapter IV presents the adopted methodology for integration and interoperability between multimedia and e-learning metadata standards, based on MPEG-21 and SCORM through the W3C XPath mapping language.

***Index Terms*— Digital Television, e-Learning, Metadata, MPEG, SCORM.**

I. INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica em questão compreende a pesquisa de um novo padrão que integra as normalizações internacionais implementadas na área do multimídia, destacadamente a Televisão Digital interativa (pelo SC29[1]), e, do outro lado, com as normalizações advindas do domínio da Educação e suas tecnologias (SC36[2]).

No contexto brasileiro, a Televisão Digital, sob a ótica do SBTVD[3], foi concebida com o propósito de cumprir algumas missões como contrapartida à sociedade brasileira, entre elas levar inclusão digital e educação à população, em todas as regiões do país, vindo de encontro a uma demanda latente.

A Educação a Distância, ou o e-Learning, em seu formato para Televisão chamado T-learning[4], é ferramenta importante para o cumprimento dessas metas, agregando à cadeia de valor de TV e conferindo desenvolvimento ao país.

Como uma Nova Tecnologia Digital da Informação e Comunicação, a Televisão Digital assume seu lugar como mídia expoente no processo de convergência digital, visto que, entre outros atributos, possibilita a coexistência de recursos hipermidiáticos convergentes sobre a plataforma digital.

A inovação tecnológica em questão compreende a pesquisa de um novo padrão que integra as normalizações internacionais implementadas na área do multimídia, destacadamente a Televisão Digital interativa (pelo SC29), e, do outro lado, com as normalizações advindas do domínio da Educação e suas tecnologias (SC36).

Tecnicamente, a Televisão Digital faz parte do domínio do multimídia MPEG[5], pelo fato da TV Digital já empregar como formato de exibição, atualmente, o padrão de vídeo digital MPEG-4 AVC H264, consolidado como o padrão da indústria atualmente.

Entretanto, a padronização do universo do multimídia MPEG não se restringe ao MPEG-4, assim como não se restringiu ao já igualmente bem sucedido MPEG-2.

Há uma década e meia fazem-se grandes projetos de pesquisa, experiências e implementações práticas em aplicações com excelente desempenho que se utilizam dos

Trabalho submetido ao Congresso SET 2015 em 27/5/2015. Este trabalho recebeu o apoio financeiro parcial da CAPES – Brasil. Marcelo Correia Santos é Doutorando do Programa de Engenharia Elétrica da UNICAMP (avaliação 7 CAPES) e atualmente Professor do Centro Universitário SENAC-SP.
Yuzo Iano, membro do IEEE, é Prof. Dr. do Depto. de Telecomunicações e Telemática da FEEC UNICAMP e Editor Chefe do SET International Journal of Broadcast Engineering.

[1] ISO/IEC JTC1 SC29, comitê que trata da codificação de som, de imagem e da informação multimídia e hipermídia
[2] ISO/IEC JTC1 SC36, comitê que trata das tecnologias para a educação, informação e a aprendizagem
[3] A sigla SBTVD refere-se a Sistema Brasileiro de Televisão Digital. Disponível em: <http://sbtvd.cpqd.com.br>. Acesso em: 10 fev. 2015.
[4] E-Learning (aprendizado eletrônico) via mídia Televisão Digital.
[5] Moving Picture Experts, grupo de trabalho da ISO/IEC estabelecido em 1988, com a missão de desenvolver padrões para representação codificada de dados relacionados em áudio e vídeo digital

padrões MPEG-7 e MPEG-21, além de outros consolidados, como o TV-Anytime[6].

Após a padronização dos formatos MPEG-1 e MPEG-2, duas normas que tornaram possíveis o multimídia e o vídeo DVD, a partir do advento da alta definição e, por conseguinte, da Televisão Digital, o MPEG-4, 7 e 21 tornaram-se as mais ativas e importantes normas na pauta do SC29. Estas três normas articulam-se de forma interdependente entre si, prolongam-se ou se complementam de maneira coerente.

Estas diferentes normas MPEG e suas características em termos de qualidade de codificação, de eficácia de compressão e de interatividade são sintetizadas na Figura 1:

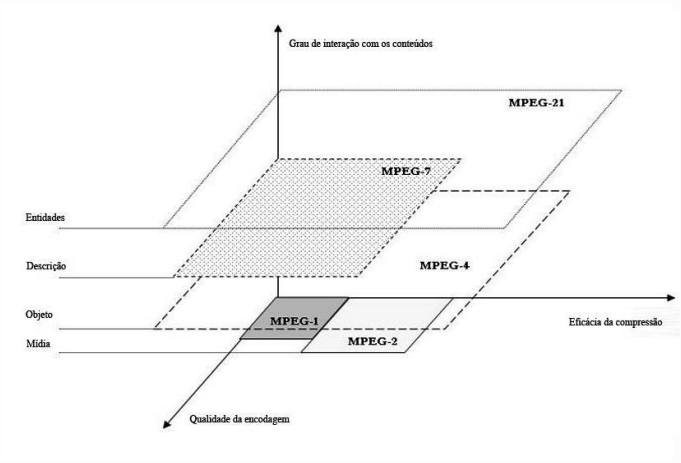


Fig. 1. Diferentes normas MPEG e suas características em termos de qualidade de encodagem, de eficácia de compressão e de interatividade [1] – tradução livre.

Considerando-se os desafios de padronização das Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas à Educação, constitui-se um problema de engenharia de Televisão Digital ainda em desenvolvimento a questão de como a família MPEG Vídeo, por meio das normas MPEG-4, 7 e, em especial, MPEG-21 [2], poderia oferecer uma base normativa para a implementação de metadados audiovisuais associados às TICE.

Esse desenvolvimento necessita de uma instrumentalização de todos os recursos ou objetos pedagógicos (além do próprio vídeo, imagem estática, som, texto, hiperlink etc) e deve se situar dentro de um quadro normativo a fim de garantir a interoperabilidade, reutilização e referenciamento pela maioria das plataformas ou ambientes virtuais de aprendizado, ou mesmo pela TV Digital ou outras mídias que venham a se localizar numa dimensão além desses ambientes clássicos educacionais.

A lógica referencial do corpus do documento digital é uma das premissas basais para os desenvolvedores de sistemas de informação para que seja possível criar uma normalização no tocante à engenharia de software (XML, MPEG-7, MPEG-21). Esses princípios são desenvolvidos em todas as dimensões pelo subcomitê que trata da padronização para as TICE, o SC36.

Por outro lado, os especialistas da ADL [7], que desenvolveram o padrão SCORM, participam do SC36 e de certa forma propõem explorar o MPEG-21 para solucionar uma família de funcionalidades normativas que se deve desenvolver para tornar as normas das TICE viáveis técnica e economicamente.

A ADL, desenvolvedora do padrão SCORM, intervém como parceiro nível A no SC36 – atuando no subcomitê em questão, e sua estratégia é capitalizar sobre as normas de outros SC, e em particular procura atualmente fomentar a adoção da Parte 5 do MPEG-21 [3] (REL, ou *Rights Expression Language*), para solucionar problemas de copyright, além de delegar às normas do padrão LOM [8] (ou outros formatos de metadados de aprendizagem como o Dublin Core ou o futuro MLR) o cuidado de descrever os recursos de aprendizagem em suas diferentes facetas. Claramente, esta descrição se tornaria concorrente das questões das normas multimídia da família MPEG.

II. Objetos de Aprendizagem e Padrões de Metadados

A definição de Objeto de Aprendizagem (OA), na perspectiva da engenharia, segundo o padrão 1484.12.1 (*Standard for Learning Object Metadata*) do IEEE [4], seria "um objeto de aprendizagem é definido como qualquer entidade, digital ou não digital, que pode ser utilizada para aprendizado, educação ou treinamento".

No universo digital, esta entidade pode, portanto, ser reutilizada ou referenciada durante o aprendizado apoiado por computador. O mesmo pode conter simples elementos como um texto ou um vídeo. Ou ainda, ele pode ser um hipertexto, um curso ou até mesmo uma animação com áudio e interação.

Segundo a IEEE LTSC [4], o padrão LOM focaliza o mínimo de atributos necessários para permitir que um Objeto de Aprendizagem seja gerenciado, localizado e avaliado. Os metadados permitem a catalogação e a codificação do objeto de Aprendizagem, tornando-o compreensível para as diversas plataformas.

SCORM não define um modelo de metadados: ele reconhece e recomenda enfaticamente o LOM como o padrão de facto [5]. Todavia, SCORM define o XML como sintaxe de representação dos metadados (processo chamado de *XML binding*). Por isto, ao representarem-se os metadados SCORM, usa-se LOM.

No modelo CAM publicado pela ADL [5], SCORM definiu, em sua parte relativa a Metadados, nove categorias para descrever atributos de objetos de aprendizagem. A diretriz é oferecida para aplicação dos metadados em *assets* (arquivos de

[6] Especificação de entrega de conteúdo multimídia e seus metadados para TV Digital. Disponível em: <http://www.tv-anytime.org>. Acesso: 10 abr. 2015.

[7] *Advanced Distributed Learning*, iniciativa do governo americano datada de 1999, tendo como vetor o Departamento de Defesa, que tem a missão de recomendar e desenvolver padrões para software de treinamento.

[8] *Learning Object Metadata*, padrão de metadados ente os pioneiros, cujo *metadata schema* é adotado pelo padrão SCORM.

mídia), *SCOs* (conjuntos de *assets*), *atividades*, *organizações* do conteúdo e *agregações* de conteúdo, para descrevê-los de uma forma consistente de modo a que possam ser identificados, categorizados, consultados e encontrados nos sistemas, a fim de facilitar o compartilhamento e reutilização. Já a parte que trata do Empacotamento de dados é um conjunto de requisitos e diretrizes específicas; um pacote representa objeto de aprendizagem e é armazenado em repositórios.

É possível realizar-se correspondências entre padrões de metadados, pois não são incompatíveis. Por exemplo, mapeando-se os metadados para e-learning DCMI e SCORM (normalizando com a linguagem *XPath*), teremos descrita a correspondência na Tabela 1.

Conforme se observa na Tabela 1, estes identificadores vão desde os mais gerais, até os relativos a direitos autorais (o termo *Rights*, observável na penúltima linha da tabela), que corresponde como já abordado a um foco da ADL para integração de uma parte da norma MPEG-21 (Parte 5, relativa à linguagem de expressão de direitos) ao padrão SCORM.

TABELA I.
MAPEAMENTO ENTRE METADADOS SCORM (LOM) E DCMI

Correspondência entre Metadados SCORM (LOM) / DCMI	
SCORM	**DCMI**
/lom/general/identifier/entry	/dc/identifier
/lom/general/title	/dc/title
/lom/general/language	/dc/language
/lom/general/description	/dc/description
/lom/general/keyword ou /lom/classification/keyword com classification/purpose igual a “Discipline” ou “Idea”	/dc/subject
/lom/general/coverage	/dc/coverage
/lom/educational/learningresourcetype	/dc/type
/lom/lifecycle/contribute/date com lifecycle/contribute/role igual a “Publisher”	/dc/date
/lom/lifecycle/contribute/entity com lifecycle/contribute/role igual a “Author”	/dc/creator
/lom/lifecycle/contribute/entity com o tipo de contribuição especificado em lifecycle/contribute/role	/dc/othercontributor
/lom/lifecycle/contribute/entity com lifecycle/contribute/role igual a “Publisher”	/dc/publisher
/lom/technical/format	/dc/format
/lom/rights/description	/dc/rights
/lom/relation/resource/description	/dc/relation
/lom/relation/resource com relation/kind igual a “IsBasedOn”	/dc/source

A partir da Tabela 1, relativa à correspondência entre SCORM e padrões de metadados Dublin Core, é possível analisar uma projeção para os resultados esperados através do trabalho de mapeamento de ontologia híbrida proposto, o que implica, por sua vez, um procedimento semelhante ao que será aplicado aos padrões de metadados SCORM e MPEG-21.

Pode-se notar a sintaxe da linguagem XPath usada para o mapeamento e de correspondência entre ambas as estruturas de metadados de representação de metadados.

Foram estabelecidos pontos de pareamento entre os 15 (quinze) elementos apresentados no padrão Dublin Core e outros 15 elementos equivalentes encontrados dentro da estrutura de metadados SCORM, que de fato corresponde à estrutura do padrão LOM, conforme já explicado neste artigo.

III. METADADOS MPEG-21 PARA TV DIGITAL E AS TICE

Em [6], [1], [7] e [8], temos amostras de que a discussão envolvendo MPEG-7, MPEG-21 e TV-Anytime vem de longa data no universo da TV Digital e, mesmo a integração entre estes já foi discutida com propostas desenvolvidas por [9] e [10], assim como a integração da TV Digital com o padrão SCORM [11].

O MPEG-21 tornou-se a plataforma modular de desenvolvimento (o *framework*) [12] e normalização, no sentido da integração global de todos os documentos multimídia. O multimídia não é produto de uma área do conhecimento específica, mas é uma consequência direta da normalização das práticas digitais, como os desenvolvedores de telefonia, de audiovisual, da informática.

A normalização das TIC se situa mais e mais como uma prática consistindo em oferecer plataformas de produção, ou frameworks, à indústria. Apesar do MPEG-21 ter surgido de uma comunidade que se concentra sobre o áudio e o vídeo, o chamado *MPEG-21 Framework* [12] pode acolher todo tipo de objetos digitais complexos, como o texto eletrônico, revistas digitais, dados científicos etc. A força deste formato reside então na sua capacidade em oferecer uma plataforma geral padronizada para o sistema de produção e distribuição de todo conteúdo digital.

Como se pode constatar a partir da literatura científica [13], [7] e [1] e da própria norma [3], o padrão MPEG-21 tem uma estrutura não rígida de metadados, e a Parte 2 da norma, DID, trata do *Item Digital* como a abordagem mais genérica para este propósito de uso de descrição estrutural dos metadados em objetos digitais de todo tipo.

A norma MPEG-21 comporta, hoje, 21 partes [3]. MPEG-21 é uma especificação de metadados baseada em *XML* que traz dois pilares fundamentais: a definição de uma unidade ou objeto fundamental de distribuição e transação, que é o Item Digital; e a noção de “leitor” (*reader*) – a concepção dos usuários que interagem com este.

O conceito central do MPEG-21 é o de DI – *Digital Item*, ou *Item Digital*, definido na Parte 2 da norma [12].

O DID, ou *Digital Idem Declaration*, é um produto digital que pode ser simples ou composto. Um exemplo típico de um DI é aquele de uma página web, contendo diferentes recursos multimídia, como texto, imagem, vídeo, elementos de formatação (como folhas de estilo CSS), hiperlinks, scripts de programação dinâmica.

O uso do MPEG-21 DIDL (*Digital Idem Declaration Language*) como padrão genérico para a representação, catalogação e armazenamento de objetos digitais de aprendizagem em biblioteca já foi proposto por [14]. Demonstrou-se a aplicabilidade do DIDL para representação de objetos complexos de qualquer tipo de mídia ou conteúdo, para criação de um acervo digital em biblioteca.

Em particular, as partes 2 (*Digital Item Declaration*) e 3 (*Digital Item Identification*) permitem, respectivamente, a especificação completa e estruturada dos DI; e a sua identificação e localização.

O segundo conceito fundamental no formato MPEG-21 é o da descrição da produção e da interação com as mídias, por todos os envolvidos no processo, desde o produtor de conteúdo ao usuário final. Por isto, pode-se afirmar que o objetivo principal do MPEG-21 é definir as tecnologias necessárias para suportar o intercâmbio, acesso, consumo, comércio ou manipulação de Itens Digitais de forma eficiente [12].

Deve-se destacar também a Parte 7 do padrão, DIA (*Digital Item Adaptation*), que padroniza os descritores e os esquemas de descrição, permitindo a adaptação dos conteúdos dos usuários, das redes, dos terminais ou ainda do ambiente de uso. Também a REL (*Rights Expression Language*) e a UD (*User Description*) tratam de descrever metadados que criem registro sobre essa relação entre produtor, conteúdo e usuários.

IV. Metodologia: Ontologia de Integração entre os Padrões SCORM e MPEG-21

Uma Ontologia SCORM MPEG-21 pode ser realizada fazendo-se sua correspondência por meio da linguagem *XPath*, do *W3C*. O emprego da linguagem XPath é direcionado à realização do estudo comparado de mapeamento entre os padrões de metadados SCORM e MPEG-21, aplicando-se esta metodologia. XPath é uma linguagem mantida pelo W3C com o objetivo primário de endereçar partes de um documento XML, também usada para testar se um código corresponde a um padrão, ou a outro código.

O MPEG-21, conforme já exposto, prevê a DIDL (*Digital Item Declaration Language*), porém também outros esquemas e suas linguagens, em outras das muitas partes da norma, para catalogação não só dos objetos e do fluxo da informação, caso também da DII (*Digital Item Identification*), e da DIA (*Digital Item Adaptation*); mas também de direitos autorais (MPEG-21 Parte 5, REL - *Rights Expression Language*), CEL (*Contract Expression Language*), IPMP (*Intellectual Property Management and Protection*); e mesmo de casos de uso (UD – *User Description*).

Para se criar uma ontologia, faz-se uma correspondência e alinhamento entre os elementos do padrão SCORM com os do padrão MPEG-21 levando-se em conta essas distintas linguagens e a importância de cada uma para o caráter extremamente abrangente e versátil do MPEG-21 como descritor de objetos, ou itens digitais.

A orientação dos trabalhos do JTC1 SC36, como se pode acompanhar por trabalhos publicados pelo IEEE [13] e [17] baseia-se essencialmente sobre a portabilidade, a interoperabilidade e a adaptabilidade das tecnologias para a educação, o ensino e a aprendizagem. O SC36 não possui, portanto, vocação para estender os trabalhos realizados por outros comitês técnicos, como o próprio SC29, o comitê do multimídia, que trata da codificação do som, imagem, da informação multimídia e hipermídia.

Entretanto, o SC36 foi pioneiro em apontar a necessidade de sinergia do SCORM com o padrão MPEG-21, proposição todavia limitada ao tratamento de questões de direito autoral, *copyright* e, eventualmente, do *e-commerce* das TICE (Parte 5 da norma).

O conjunto dos trabalhos do MPEG-21 situa-se em perfeita continuidade com aqueles realizados anteriormente no âmbito do MPEG-7. E muitos descritores do padrão MPEG-7 fazem parte do escopo do *metadata schema* do MPEG-21 [12].

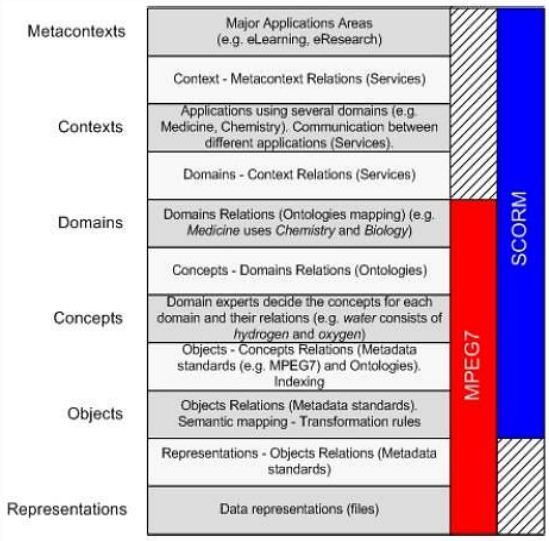
Os descritores e esquemas de descrição correspondentes são desenvolvidos sob a responsabilidade do grupo MDS[9], cuja descrição de dados é fundada sobre a linguagem semântica de marcação XML.

As inter-relações entre padrões de metadados do MPEG e do e-Learning são esquematizadas na Tabela 2 [15] e na Tabela 3 [16]:

TABELA II.
CAMPOS ABRANGIDOS PELOS PRINCIPAIS PADRÕES DAS TICE E MPEG [15]

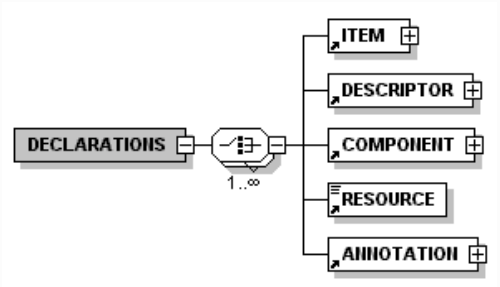
	Métacontextes des applications	Relation métacontextes - contextes	Contexte des applications	Relation contextes - domaines	Domaines	Relation domaines-concepts	Concepts	Relation concepts-objets	Objets	Relation Objets-représentations	Représentations	Relation représentations-échanges	Echanges
DUBLIN CORE					■								
SCORM	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
LOM			■	■	■	■	■	■	■	■			
MPEG-7					■	■	■	■	■	■	■	■	
MPEG-21					■	■	■	■	■	■	■	■	■

TABELA III.
CAMPOS ABRANGIDOS PELOS PRINCIPAIS PADRÕES DAS TICE E MPEG [16]



[9] *Multimedia Desciption Schemes*: grupo que trata da definição dos descritores e esquemas de descrição de metadados (metadata schema) das normas MPEG.

Documentos DIDL são documentos XML 1.0. A sintaxe DIDL é baseada numa estrutura abstrata definida no *Digital Item Declaration Model*. Este modelo define os Elementos DIDL, quais sejam: *Container; Item, Component, Anchor, Descriptor, Choice, Selection, Condition, Annotation, Assertion, Resource, Statement*. Assim estruturalmente representados conforme as Figuras 2 e 3.



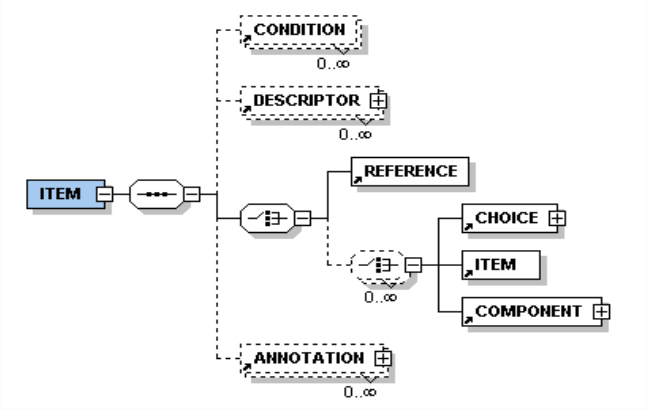


Fig. 2. Representação gráfica parcial do schema DIDL [12]. Destaque para os elementos Declarations e Item.

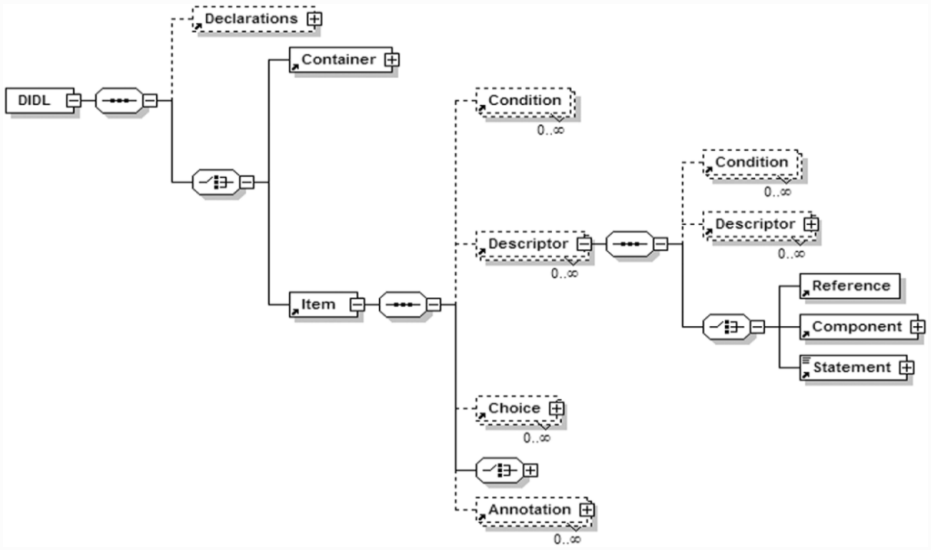


Fig. 3. Representação gráfica parcial do DIDL [17].

O código XML da DIDL relativa ao elemento *Declarations* (elemento especial que define uma seleção de elementos, sem instanciá-los) ficaria na seguinte forma genérica [12]:

```
<xsd:element name="DECLARATIONS">
    <xsd:complexType>
        <xsd:choice maxOccurs="unbounded">
            <xsd:element ref="ITEM"/>
            <xsd:element ref="DESCRIPTOR"/>
                    <xsd:element ref="COMPONENT"/>
                    <xsd:element ref="RESOURCE"/>
                <xsd:element ref="ANNOTATION"/>
            </xsd:choice>
        </xsd:complexType>
        </xsd:element>
```

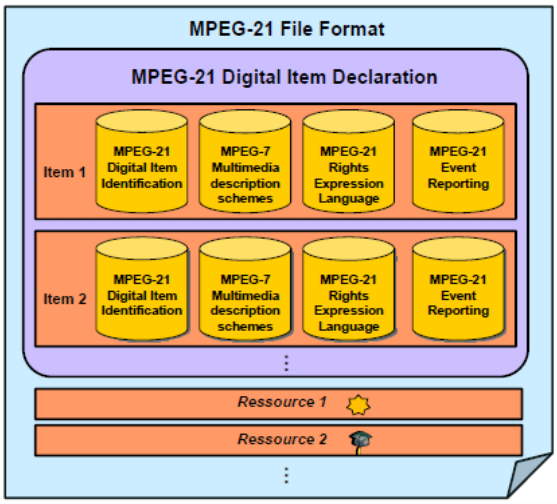


Fig. 4. Estrutura hierárquica de metadados de um arquivo MPEG-21 [18].

Para realizar-se a integração de padrões normalizados, a solução a ser implementada é fazer a correspondência entre as categorias de metadados do SCORM e os definidos pelos *metadata schema* do MPEG-21.

Empregando a linguagem XPath como padrão para a formatação taxonômica, inicialmente foram mapeados os seguintes metadados do padrão SCORM (LOM), que fariam correspondência ao padrão multimídia MPEG-21, aderente à convergência de plataformas. Conforme a Tabela 4:

TABELA IV.
METADADOS SCORM A SEREM CORRESPONDIDOS NOS PADRÕES MULTIMÍDIA, SEJA PARA *WEB*, DISPOSITIVOS MÓVEIS OU TVD

Metadados SCORM para Multimídia	**Metadados MPEG-21 (em desenvolvimento)**
/lom/general/identifier/entry	<mpeg21>
/lom/general/title	<mpeg21>
/lom/general/language	<mpeg21>
/lom/general/description	<mpeg21>
/lom/general/keyword	<mpeg21>
/item[@identifier]	<mpeg7>
/lom/general/coverage	<mpeg21>
/lom/educational/learning/resource/type	<mpeg21>
/lom/lifecycle/contribute/role	<mpeg7>
/lom/lifecycle/contribute/date	<mpeg7>
/lom/technical/format	<mpeg7>
/lom/technical/size	<mpeg7>
/lom/technical/location	<mpeg7>
/lom/technical/duration	<mpeg7>
/lom/rights/description	<mpeg21>
/lom/relation/kind	<mpeg7>
/lom/relation/resource/description	<mpeg21>
/lom/relation/resource/catalogentry	<mpeg21>

A Tabela 4 demonstra o mapeamento e correspondência entre os dois padrões de metadados: SCORM e MPEG-21.

Os elementos mapeados de ambos os padrões são combinados com a finalidade de alcançar a ontologia híbrida proposta e estabelecer assim a convergência entre o padrão de metadados SCORM, para e-learning, e o padrão de metadados multimídia, o MPEG-21, ontologia aquela por característica fundamental interoperável e aplicável sobre a ampla gama de mídia digital, incluindo a web, mídias móveis ou até mesmo a televisão digital.

Esta proposta de ontologia interoperável SCORM MPEG-21, empregando a linguagem Xpath, do W3C, para o seu mapeamento, tem como foco os principais itens cuja abordagem é obrigatória para se alcançar uma representação significativa dos elementos de metadados necessários para se estabelecer tanto uma descrição do item multimídia digital, quanto para se descrever objetos de aprendizagem, com o objetivo de desenvolver uma nova ontologia híbrida comum a estes dois universos de aplicação, baseada na sintaxe das preexistentes.

V. RESULTADOS PARCIAIS

Até o presente momento conseguiu-se obter o resultado de parcial sucesso, em estágio adiantado, na execução do objetivo específico da correspondência entre padrões de metadados dos domínios do conhecimento pesquisados, que demandam integração.

O trabalho em desenvolvimento tem consistido em criar justamente uma Ontologia relativa a essas taxonomias mapeadas, a fim de se propor, a partir de tal ontologia, uma integração entre os domínios do Multimídia (inclusa a Televisão Digital) MPEG e das TICE para EaD/e-Learning.

Ou seja: a convergência entre MPEG-21 e SCORM como um padrão para descrição de objetos utilizados para catalogação e para aplicação no aprendizado eletrônico, num sentido mais amplo, e no aprendizado eletrônico via Televisão Digital numa perspectiva específica do domínio da área de concentração desta pesquisa.

Uma Ontologia SCORM MPEG-21, por meio da linguagem XPath, do W3C, já conta aqui com um desenvolvimento bem encaminhado e traz uma contribuição ao avanço do conhecimento e ao processo de normalização na área de estudo dos metadados.

Além disso, contribui a uma latente necessidade de integração entre os universos do Multimídia e das TICE, representados pelos grupos de trabalho dos comitês de padronização SC29 e SC36, da ISO/IEC JTC1, neste contexto de convergência.

REFERÊNCIAS

[1] T. Laquet, F. Prêteux, Vaucelle, A, and T. Zaharia, "Les normes MPEG-7 et MPEG-21 pour la déscription des contenus multimédias," Conferência TAIMA'09, Hammamet (Tunísia), 2009.

[2] A. Vaucelle, "MPEG-21: la norme des TICE du XXIème siècle?," Rétrospective et Perspective H2PTM'09, Paris, 2009.

[3] MPEG-21 ISO/IEC N5231. MPEG21 Overview v.5. 2002.

[4] IEEE LTSC. Standard 1484.12.1 for Learning Object Metadata. New York: IEEE, 2002.

[5] ADL Advanced Distributed Learning, SCORM 2004 4th Edition Content Aggregation Model. 2009, p.4-65.

[6] L.G.P. Alves, G. Bressan, P. Jucá. R. Kulesza, F. Silva, "Análise comparativa de metadados em TV Digital," Workshop de Televisão Digital do SBRC2006, Curitiba (Brasil), June 2006.

[7] S. Kalli, A. Lugmayr, S. Niiranen. Digital Interactive TV and Metadata: Future Broadcast Multimedia. New York: Springer, 2004.

[8] J. Hunter. Reconciling MPEG-7 and MPEG-21 Semantics Through a Common Event-aware Metadata Model. Ithaca, NY (EUA): Cornell University Library, 2002.

[9] S. Pfeiffer, U. Srinivasan, "TV-Anytime as an application scenario for MPEG-7," Proc. ACM Multimedia, Los Angeles (EUA), 2000, pp. 89-92.

[10] S. Christodoulakis, F. Kazasis, P. Polydoros et al, "Ontology-Based Semantic Indexing for MPEG-7 and TV-Anytime Audiovisual Content," Multimedia Tools and Applications, vol. 26, August 2005, pp. 299-325.

[11] A. Burlamaqui et al., "T-SCORM: Uma Extensão do Padrão SCORM para Apoiar o Projeto de Conteúdos Educacionais para T-Learning," Anais do XXII SBIE - XVII WIE, Aracajú (Brasil), 2011.

[12] MPEG-21 ISO/IEC 21000-2:2003. Multimedia framework (MPEG21) Part 2: Digital Item Declaration. 2003.

[13] J. Bormans, I. Burnett, F. Pereira, R. Van Walle, K. Hill, "MPEG-21: Goals and Achievements," IEEE Multimedia, vol.10, October-December 2003, pp.60-70.

[14] J. Bekaert, P. Hochstenbach, H. Van de Sompel, "Using MPEG-21 DIDL to Represent Complex Digital Objects in the Los Alamos National Laboratory Digital Library" D-Lib Magazine, vol. 9, n. 11, November 2003.

[15] M. Ben Henda, F. Prêteux, A. Vaucelle et al. MPEG-21: une Base Normative pour le e-Procurement des TICE. Évry (França): École Télécom SudParis, 2008.

[16] L. Lyon, M. Patel, S. Christodoulakis et al., "Project n507618 DELOS: status report for work package 5. In: Joint Programme of Activities (JPA3)," February-September 2006.

[17] I. Burnett, S. Davis, G. Drury, "MPEG-21 Digital Item Declaration and Identification," IEEE Multimedia, vol. 7, n. 3, June 2005, pp.400-407.

[18] F. Schreiner. Content management and protection using Trusted Computing and MPEG-21 technologies. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Técnica de Munique (Alemanha), 2010.

volume 07 - número 07 - 2013

Marcelo CORREIA SANTOS Marcelo Correia Santos received his B.S. in Communication from the University of São Paulo, Brazil; MSC. degrees in Communication and Informatics Applications from the University of São Paulo State and University of Paris Sorbonne Nouvelle, in São Paulo and Paris, respectively, and is currently in process of finishing his Ph.D. followed since 2012 in Electrical Engineering – Telecommunications at Campinas State University of São Paulo. He worked as a researcher at University of São Paulo and São Paulo State from 2004 to 2011. He worked as Assistant Professor of University of São Paulo State in 2012 and as Titular Professor of SENAC University, in São Paulo, since 2013.

Yuzo IANO. Yuzo Iano, IEEE Member, received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Eletrical Engineering from the Campinas State University of São Paulo UNICAMP in 1972, 1974 and 1986, respectively. He joined this University as a Titular Professor in 1991, where he also worked as an Assistant Professor since 1975. He served as a Telecommunications Researcher at TELEBRAS from 1986 to 1990. He is currently the Editor in Chief of the SET International Journal of Broadcast Engineering as well.

Cite this article:
Correia Santos, M., Iano, Y.; 2015. **MPEG-SCORM: ontologia de metadados interoperáveis entre TV Digital e e-Learning**. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481. ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.1.Web Link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.1

Rádios Definidos por Software com aplicações GNU Radio

Sérgio Bimbi Junior

Vitor Chaves de Oliveira

Gunnar Bedicks Junior

Rádios Definidos por Software com aplicações GNU Radio

Sérgio Bimbi Junior, Vitor Chaves de Oliveira e Gunnar Bedicks Junior

Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Escola de Engenharia

Universidade Presbiteriana Mackenzie

***Abstract*— Abstract— The Software Defined Radio or SDR , it is a radio communication system where components which are usually implemented in hardware (mixers, filters, amplifiers, modulators / demodulators , detectors) are implemented by software on a computer. This feature becomes important once these elements can be reconfigured and adapted to the system's conditions and preferred performance. For this application the GNU Radio / GNU Radio Companion, a free software tool that allows the developer the ability of building a SDR simply and quickly, provides a blocks building engineering with deterministic functions that facilitate integration and control parameters. This paper aims to exemplify the use and operation of SDR via GNU Radio.**

***Key Words*—SDR, QPSK, ASK, FSK, Software Radio, GNU Radio, GNU Radio Companion, Digital Communication.**

I. INTRODUÇÃO

Os Rádios Definidos por Software (*Software Defined Radio* - SDR), são um conjunto de tecnologias implementadas em *hardware* e *software* (1), dentre estas tecnologias as aplicações em software de um Rádio Definido por Software são implementadas de maneira parcial ou total de forma reconfigurável (10). Esta funcionalidade se aplica em circuitos integrados com capacidade de programação como o *Field Programmable Gate Array* (FPGA) e *Advanced Reduced Instruction set Computer* (RISC*) Machine* (ARM). Existem outras linhas de pesquisa sobre o critério que se aplica para definir um SDR, neste aspecto pode ser citado (2) que um SDR é um sistema de comunicação de rádio em que os componentes que eram implementados em *hardware* como filtros digitais, moduladores, demodulares estes passam a ser implementados em *software* utilizando computadores pessoais ou sistemas embarcados.

Os militares dos EUA foram os primeiros a aplicar rádios flexíveis em uma larga escala (2). De forma geral isso se deve a necessidade de garantir a interoperabilidade de rádios militares com outras agências governamentais como bombeiros, polícia e agências de inteligência. Isto ocorreu em virtude de cada agência exercer as suas aquisições de maneira independente, desta forma as tecnologias empregadas podem ser diferentes e incompatíveis, vislumbrando aspectos funcionais de suma importância como frequência de operação do sistema, tecnologia de modulação, dentre outros.

Desta forma o padrão designado como "Rádio Digital" se aplicou para a definição de rádios com a capacidade de se adaptar a diferentes padrões de operação.

Aplicando este conceito Joseph Mitola propôs em sua tese de Doutorado o conceito de rádios cognitivos (9). Este é um conceito de suma importância no cenário de aplicações SDR, o seu conceito central diz os rádios se adaptam a sua operação com a base visualizando as condições gerais do ambiente, isto visa o aprendizado de condições já passadas melhorando seu desempenho em condições futuras (3). O conceito de rádios cognitivos é muito mais amplo que o conceito aplicado a rádios digitais em virtude de aplicar técnicas de inteligência artificial, esta capaz de identificar as condições atuais e desta forma readequar o sistema a cada momento de maneira adequada. Em virtude de necessitar de alta capacidade de processamento o rádio cognitivo não recebeu grande notoriedade, ocorrido isto na ausência de tecnologias compatíveis para implementação de tal tecnologia até então. Em meados do ano de 2002 o órgão de regulador das telecomunicações dos EUA *Federal Communications Commission* (FCC) obteve interesse no conceito de rádios cognitivos. O órgão FCC exerceu pesquisa e veio a publicar

um relatório que descrevia a utilização do espectro de rádio frequência nos EUA (4). Este relato concluía que o espectro eletromagnético estava sendo utilizado de maneira ineficiente e escasso. O FCC veio a concluir que a grande parte do espectro utilizado já obtinha um uso licenciado e os detentores destas licenças não utilizavam o espectro em tempo integral. Visualizando este cenário o FCC exerceu uma proposta de utilização do espectro de maneira oportunista, com isto os usuários poderiam utilizar o espectro quando o mesmo não estivesse sendo utilizado pelo usuário cadastrado.

A condição fundamental para implementação de um rádio cognitivo é a necessidade de ter transceptores sem fio que exercem suas funções em frequências múltiplas, tão como detectar os usuários que são licenciados. Estes rádios devem ser capazes de se comunicar com diversas tecnologias de comunicação digital, aplicando esta capacidade para detecção de usuários licenciados ou trabalhar em caracterizações e frequências diferenciadas (13).

II. ARQUITETURA GERAL DE UM SDR BASEADA EM FPGAS

Um SDR basicamente se caracteriza como uma arquitetura capaz de suportar diferentes métodos de comunicação, ajustes de canal, implementação de novas funções (12). Para execução das funções citadas outrora é necessário reprogramar o sistema na memória deum dispositivo dotado de inteligência programável como processadores FPGAs (4) (11). O processador é responsável pelo tratamento digital do esquema de modulação (18). Ele também executa a interação com os conversores *Analog to Digital* (ADC) e *Digital to Analog* (DAC) que estão conectados a um *Front End RF*, para a execução do deslocamento de frequência de transmissão e recepção. A arquitetura geral de um SDR pode ser representada pela Figura 1.

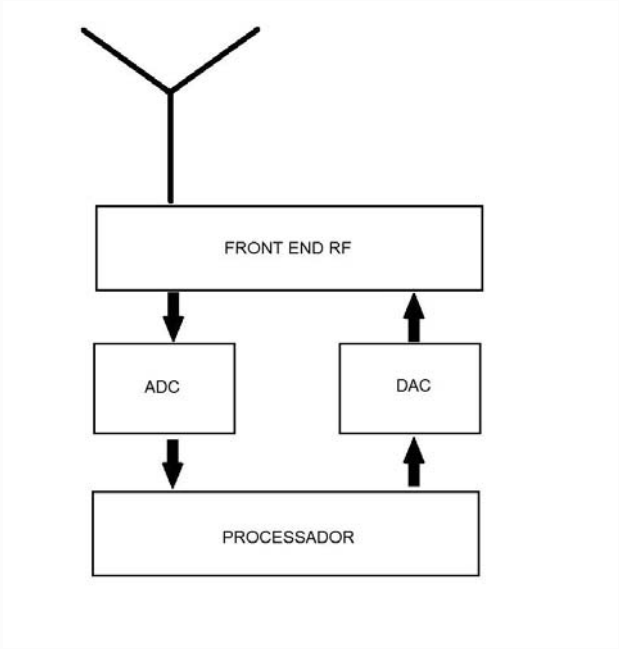


Figura 1. Arquitetura Geral de um SDR.

III. SDR EM APLICAÇÕES COMERCIAIS

Os SDRs estão sendo aplicados nos dias atuais afim de viabilizar a diminuição de custos em operadoras de telecomunicações (14) (16). Estão presentes no mercado também empresas que exploram mercados como o de rádio amadores. Algumas aplicações em rádios amadores que necessitam desenvolver suas próprias técnicas de recepção para aplicações como a de rádios amadores ou de uso geral. Em algumas aplicações rádios amadores são alocados em receptores SDR conectados à *internet*, estas aplicações possibilitam difundir o SDR para que qualquer usuário comum possa sintonizar frequências ao redor do mundo sem que tenha a necessidade de custos com um hardware específico de um SDR. Na atualidade o SDR é uma tecnologia amplamente difundida, com grande disponibilidade de plataformas sem custo (4). Existem uma gama de *softwares* livres, com um bom suporte pra integração em ambientes de desenvolvimento. Entretanto as plataformas atuais necessitam de evolução para alcançar requisitos de alto desempenho como largura de banda e eficiência de energia, estes citados são necessários para se equiparar a sistema de alta capacidade como o *Long Term Evolution* (LTE) que é um protocolo pertencente ao sistema 4G e o IEEE 802.1 1ac.

IV. SDR EM APLICAÇÕES ACADÊMICAS

Nos dias atuais estão presentes no mercado diversas plataformas comercias e acadêmicas de baixo custo, estas são capazes de implementar rádios 3G e rádios IEEE 802.1 1a/b/g/n e outras tecnologias. Com isto diversos grupos de pesquisa surgiram afim de integrar o SDR em suas linhas de pesquisa e desenvolvimento. Um dos principais aspectos ligados ao SDR e que ele diminuiu em larga escala o custo de pesquisa voltadas a camada física e enlace. Com isto as pesquisas migraram de grandes centros de e pesquisa dotados da capacidade de investimento em pesquisa para centros que disponibilizam menores capacidade financeira. Dentre as linhas de pesquisa pode ser citado o uso de codificação de rede, afim de aumentar a capacidade, recuperação de quadros perdidos em processamento digital de sinais, códigos *Rateless*, rádios *full-duplex*.

V. COMUNICAÇÃO DIGITAL

Em aspectos funcionais pode-se modelar um sistema de comunicação digital de dados em banda passante como é demonstrado na Figura 2. A princípio se supõe que exista uma fonte de mensagem capaz de emitir símbolos a cada T segundos. Estes símbolos são pertencentes a um alfabeto de M símbolos, os quais podem ser visualizados na Equação 1 (5).

$$m1, m2, \dots, mn (1)$$

As probabilidades dos símbolos, a priori, podem ser demonstradas pela Equação 2 (5).

$$P(m1), P(m2), \dots, P(mn) (2)$$

Estas probabilidades especificam a saída de uma fonte de mensagem, ou seja, quando M símbolos de um alfabeto são

igualmente prováveis é obtida a probabilidade que pode ser vista pelas equações 3 e 4.

$$pi = P(m1)(3)$$

$$= \frac{1}{M}\ para\ todo\ i(4)$$

A saída *M* primária da fonte de mensagem é apresentada a um codificador de transmissão de sinal, este produz um vetor correspondente *s*, que são compostos de *N* elementos reais, produz também, um conjunto destes elementos para cada *M* símbolos do alfabeto fonte; a dimensão *N* é menor ou igual a *M*. Tendo o vetor *s* como entrada, o modulador constrói um sinal distinto *s1(t)* de duração *T* segundos com a representação do símbolo *m* gerado pela fonte de mensagem. O sinal *s1(t)* é necessariamente um sinal de energia, como pode ser visto pela Equação 5 (5).

$$Ei = \int_0^t s_i^2(t)dt\ i = 1, 2, \dots, M(5)$$

Logo, s1(t) é um valor real. Um desses sinais é transmitido a cada *T* segundos. O sinal específico escolhido para a transmissão depende da mensagem de entrada e, possivelmente dos sinais transmitidos em intervalos de tempo precedente. Com uma portadora senoidal, o recurso utilizado pelo modulador para distinguir um sinal do outro é uma mudança de passo na amplitude, frequência ou fase da portadora. Também pode ser utilizada uma forma híbrida de modulação que combine mudanças de amplitude e fase de amplitude ou de frequência.

Os sinais aplicados em sistemas digitais são valores binários únicos (0 e 1), esses são definidos com a tensão de saída de uma quantização de volts para o valor mínimo e outra quantização para o valor máximo. Se for implementada uma modulação a sinais caracterizados neste padrão, o sistema estará sujeito à sensibilidade a ruído, quando o ruído interfere no sinal modulado pode ser interpretado um pulso, que mude o conteúdo da sua informação. O chaveamento de fase coerente está disposto sobre a detecção coerente de sinais em presença de um ruído branco gaussiano aditivo. Dentro desse aspecto estão incluídos sistemas de transmissão de dados em banda passante de maneira específica.

Dentre os padrões destacam-se os sistemas *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), *Phase Shift Keying* (PSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) e suas variantes.

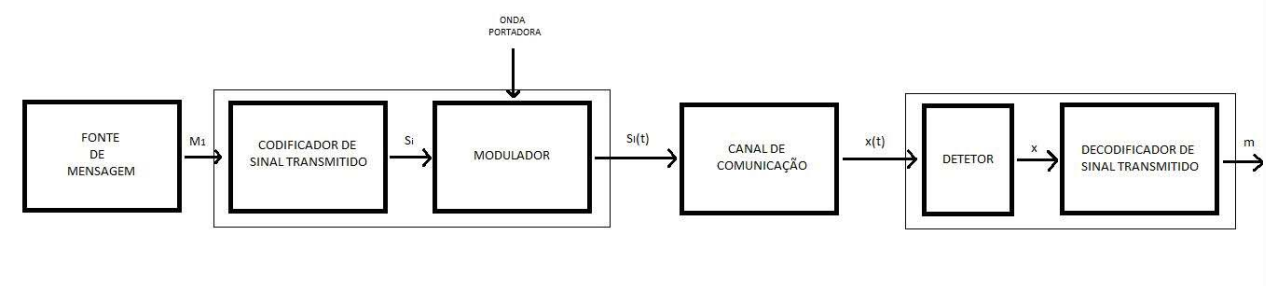


Figura 2. Modelo funcional de um sistema de comunicação digital de dados em banda passante.

VI. MODULAÇÃO ASK

A modulação ASK se consiste na variação da amplitude da portadora senoidal, mediante ao estado lógico do sinal do modulador. Esta técnica, compreendida pela Figura 3, constituiu um modulador gerando padrões binários, combinado com uma portadora fixa. Quando o modulador está em nível lógico 1 conduz o estado atual da portadora:

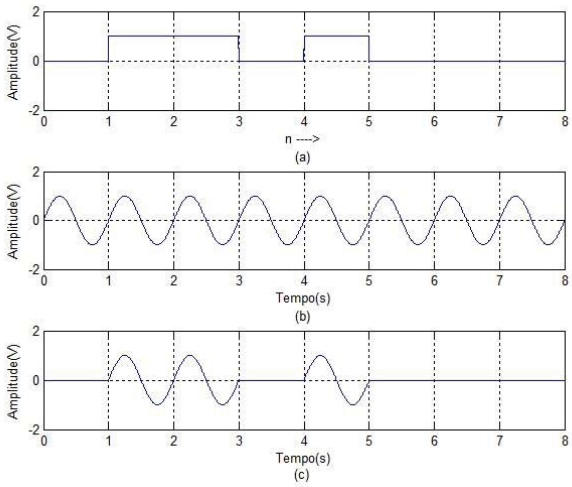


Figura 3. Representação da forma de onda de um modulador ASK: Entrada *Bit Stream* (a), Portadora(b), Forma de onda ASK(c).

VII. MODULAÇÃO FSK

A modulação FSK gera a modificação na frequência da portadora senoidal, esta modificação _e realizada mediante as variações dos estados lógicos do sinal modulador. Na Figura 4 pode-se entender o funcionamento de um sistema FSK com a visualização do sinal binário gerado pelo modulador, o sinal transmitido com técnica de modulação aplicada e o sinal reconstituído.

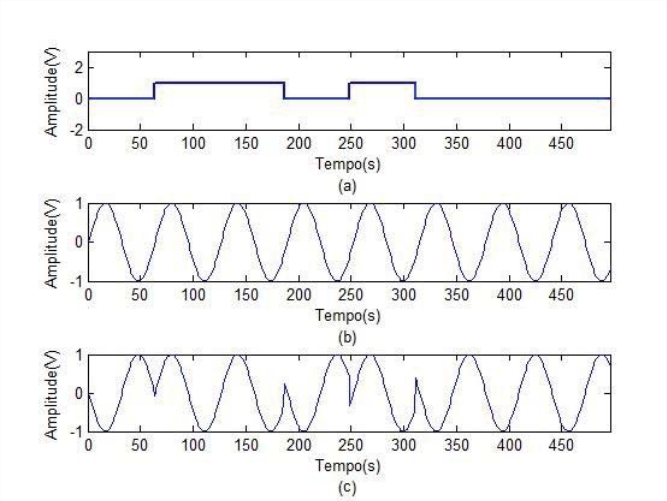


Figura 4. Representação da forma de onda de um modulador FSK: Sinal Digital (a); Forma de onda FSK correspondente à informação binária(b); Informação digital recebida após a demodulação FSK(c).

VIII. MODULAÇÃO PSK

Em um modulador PSK binário coerente o par de sinais *f1(t)* e *f2(t)* _e utilizado para representar os símbolos binários 1 e 0, esses pares podem ser vistos pelas Equações 6 e 7(5).

$$s_1 t = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t)\,(6)$$

$$s_2 t = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t)\,(7)$$

Onde 0≤*t* ≤*Tb Eb* é a energia do sinal por bit transmitido. Para assegurar que cada bit transmitido contenha um número integral de ciclos da onda portadora, a frequência portadora *Fc* é escolhida de maneira igualada a *nc/Tb* para algum número fixo de *nc*. Um par de ondas senoidais que diferem somente em um desvio de fases relativos de 180 graus, como é definido pelas Equações 9 e 10, denomina-se sinais antipodais (5). Em função desse par de equações, e restritivamente, no caso do PSK binário, há somente uma função base de energia unitária que está representada na Equação 8(5).

$$\phi_1 t = \sqrt{\frac{2}{T_b}}\cos(2\pi f_c t)\,, 0 \le t \le T_b (8)$$

$$s_1 t = \sqrt{E_b \phi_{1(t)}}, 0 \le t \le T_b (9)$$

$$s_2 t = -\sqrt{E_b \phi_{1(t)}}, 0 \le t \le T_b (10)$$

Um sistema PSK binário coerente caracteriza-se por ter um espaço de sinal unidimensional com uma constelação de sinais consistentes em dois pontos de mensagem. As coordenadas dos pontos de mensagem podem ser visualizadas pelas Equações 11, 12, 13 e 14 (5).

$$s_{11} = \int_0^{T_b} s_1\,(t)\phi_1\,(t)dt (11)$$

$$= +\sqrt{E_b} (12)$$

$$s_{21} = \int_0^{T_b} s_2\,(t)\phi_1\,(t)dt (13)$$

$$= -\sqrt{E_b} (14)$$

A caracterização da forma de onda de um sinal PSK visualizando a entrada de dados, o sinal senoidal e o sinal PSK modulado podem ser vistos através da Figura 5.

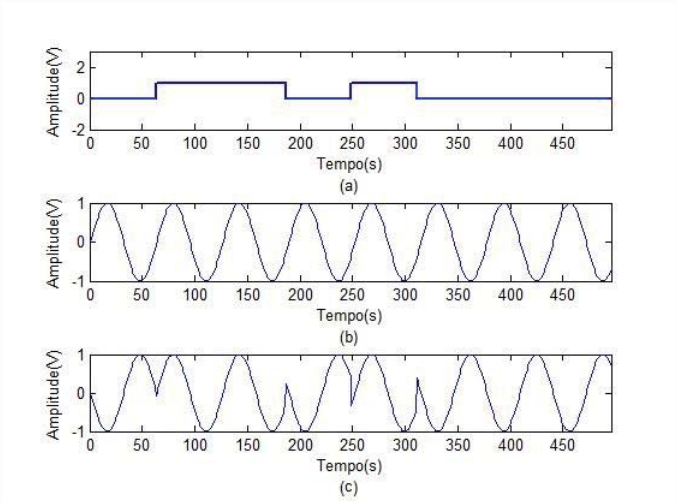


Figura 4. Representação da forma de onda de um modulador PSK: Sequência de entrada de dados (a); Sinal senoidal(b); Sinal PSK modulado(c).

IX. MODULAÇÃO QPSK

Em um modulador QPSK dois bits sucessivos na sequência são agrupados em um símbolo. Na entrada deste modulador é realizada uma série de conversões dos bits de entrada, posterior a este processo a conversão do sinal unipolar para bipolar é realizada. Após estes processos é necessário executar a filtragem dos sinais para evitar a distorção do sinal recebido, que se caracteriza como interferência intersimbólica (ISI). Após a filtragem, o sinal modulado está pronto para aplicação. No final do processo o sinal modulado é gerado em dois ramos separados caracterizados em *I* e *Q*. Estes sinais são resumidos e traduzidos em um sinal analógico caracterizado por um conversor digital analógico. O sinal analógico QPSK _e caracterizado matematicamente pelas Equações 15, 16 e 17 (5).

$$sQPSK = dI(t)\cos(2\pi f0t) - dQ(t)\sin(2\pi f0t)\ (15)$$

$$dI(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}}\ \cos[(2i-1)\frac{\pi}{4}](16)$$

$$dQ(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}}\ \sin[(2i-1)\frac{\pi}{4}](17)$$

Existem diferenças entre a implementação digital de um modulador QPSK em um FPGA no que diz respeito a sua implementação convencional em eletrônica analógica. Sendo aplicada em eletrônica convencional a sua abordagem exigiria a decomposição dos sistemas e subsistemas e a necessidade de mais componentes de hardware. Por exemplo, a conversão de série para paralelo exigiria um grande número de *Filip Flaps D* e *T*. A geração da portadora exigiria o uso de um oscilador controlado por tensão (*Voltagem Controle Oscilador (*VCO)), além de um deslocador de fase em 90 graus. Para multiplicar a portadora e o sinal de modulação é necessário a implementação de dois *mixers*. Além disso, para reconstituir o sinal modulado é necessário o uso de dois filtros no mínimo. Com o uso do FPGA, o modulador QPSK poderia ser implementado quase que integralmente em um único dispositivo juntamente com um complemento indispensável que é o conversor digital analógico. Há uma vantagem bastante conveniente na implementação de sistemas utilizando dispositivos FPGA, para a implementação de um modulador QPSK é necessário implementar os blocos que desempenharão funções equivalentes as funções que são executados por circuitos convencionais. As funções do oscilador de tensão são controladas em domínio digital, onde são realizadas por oscilador de comandos numéricos (*Numerically Controlled Oscillator* (NCO)). O NCO, por sua vez é utilizado para sintetizar o tempo discreto a fim de caracterizar uma onda senoidal. Os filtros necessários para a caracterização do sinal (FIR), cuja a função de transferência tem a forma de cosseno levantado, também podem ser aplicados na arquitetura de um FPGA. Afim de executar a detecção de um sinal QPSK é exigido um detector coerente. Torna-se necessário, então, recuperar as referências de *cos(ωct)* e *sen(ωct).* Estas referências necessitam ter exatamente a mesma frequência e fase das geradoras do sinal QPSK no modulador. O diagrama de blocos da Figura 5 mostra um detector QPSK.

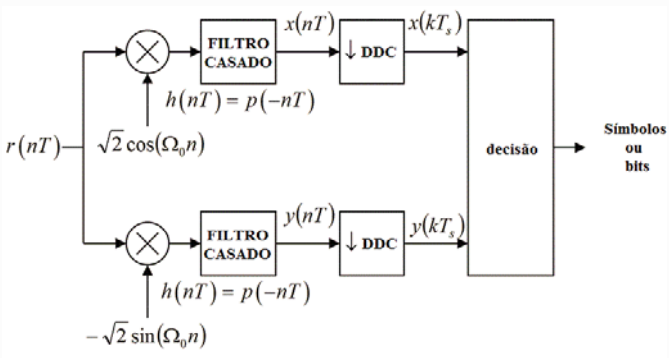


Figura 5. Detector coerente QPSK (5).

Para verificar como opera o detector, serão estabelecidas as equações trigonométricas de cada um dos 4 estados. A Figura 6 e a Tabela 1 ilustram sua equação para cada um dos estados.

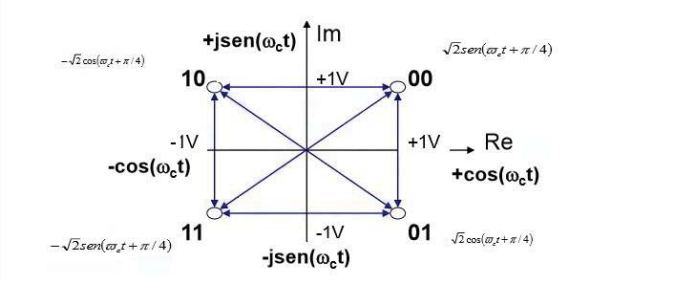


Figura 5. Constelação QPSK (6).

Dbit Entrada	Fase do Sinal QPSK	Coordenadas dos pontos de mensagem s_{i1} e s_{i2}
10	$\frac{\pi}{4}$	$+\sqrt{E/2} - \sqrt{E/2}$
00	$\frac{3\pi}{2}$	$-\sqrt{E/2} - \sqrt{E/2}$
01	$\frac{5\pi}{4}$	$-\sqrt{E/2} + \sqrt{E/2}$
11	$\frac{7\pi}{4}$	$+\sqrt{E/2} + \sqrt{E/2}$

Tabela 1. Caracterização do espaço de sinal QPSK (17).

A Figura 6 ilustra a forma de onda de um modulador QPSK com suas sequências e pares de ondas moduladas e demoduladas.

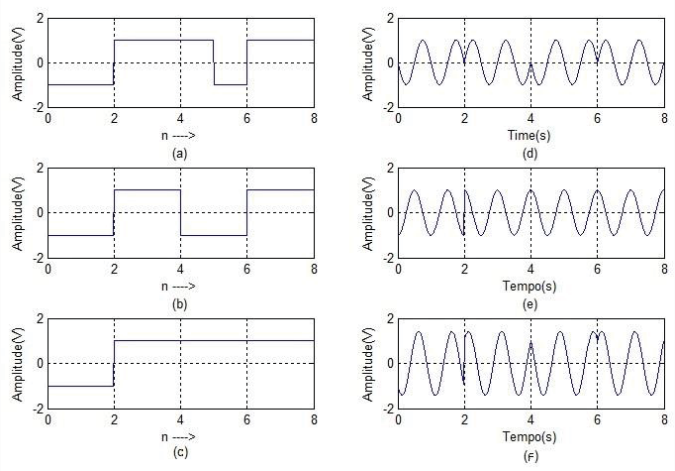


Figura 6. Representação da forma de onda de um modulador QPSK: Entrada *bit Stream* (a); Sequência Par(b); Sequência Impar(c); Sequência Par de Ondas Demodulada *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) (d); Sequência Impar de Onda Demodulada BPSK (e) e Onda Demodulada QPSK(f).

X. INTRODUÇÃO AO GNU RADIO

O GNU Radio é caracterizado por um conjunto de ferramentas e códigos abertos, que oferece um ambiente de desenvolvimento de blocos de processamento capazes de implementar uma arquitetura de SDR em *software*. O GNU Radio possui a capacidade de integração com inúmeras plataformas de *hardware*. As aplicações integradas ao sistema e ambiente de desenvolvimento são desenvolvidas com a ferramenta *Phython*, este está incumbido de exercer a conexão dos blocos básicos de processamento vinculados ao sistema.

Estes blocos são desenvolvidos na linguagem C++, em virtude desta possibilitar maior desempenho. Também está presente no sistema um ambiente de desenvolvimento mais amigável que é o GNU Radio Companion (GRC), este permite o desenvolvimento de aplicações utilizando uma interface gráfica com blocos que exercem funções determinísticas. Para instalar o GNU Radio no *Linux* existem várias maneiras, uma das mais amigáveis é utilizar *scripts* que instalam e atualizam as dependências de forma automatizada (19).

XI. GNU RADIO COMPANION

O *GNU Radio Companion* (GRC) é uma ferramenta gráfica livre que possibilita ao desenvolvedor criar protótipos de sistemas de comunicação de fácil implementação e com tempo de desenvolvimento reduzido (15). Programas que são criados no GNU Radio não precisam necessariamente ser construídos no GRC, no entanto a utilização desta ferramenta possibilita ao desenvolvedor uma rápida criação de protótipos em virtude de possuir blocos gráficos de fácil entendimento e integração (20).

XII. DEMODULADOR DE SINAL *FREQUENCY MODULATION* (FM) COM GNU RADIO E *CHIPSET* RTL2832

Neste exemplo é implementado um demodulador FM. Utilizando um *hardware* baseado no receptor RTL2832 do fabricante *Realtek*, este módulo é um *Digital Video Broadcasting (*DVB-T*)*, o módulo se torna interessante em virtude de poder oferecer ao desenvolvedor um SDR de baixo custo (aproximadamente U$$ 20,00), possui características coerentes para implementação de um SDR, suporta modos 2K e 8K com 6,7 e largura de banda de 8MHz, parâmetros de modulação como taxa de código e intervalo de guarda são detectados de forma automática, suporta módulos de Frequência Intermediária (FI) de 36,125MHz, FI baixa de 4,57MHz e FI Zero de 28,8MHZ. É capaz de suportar FM, *Digital Audio Broadcasting* (DAB) e DAB + suporte de rádio. Em sua arquitetura está incorporado um *Analog to Digital Converter* (ADC) este apresenta alta estabilidade na recepção portátil. O RLT2832 apresenta algoritmos de proprietários da *Realtek* incluindo estimativa de canal, interface de co-canal, recepção de canal longo com rejeição de eco de ruído impulsivo além de conexão *Universal Serial Bus* (USB) (8). Para implementar tal funcionalidade é construído um modelo utilizando o GNU Radio Companion, como mostra a Figura 7.

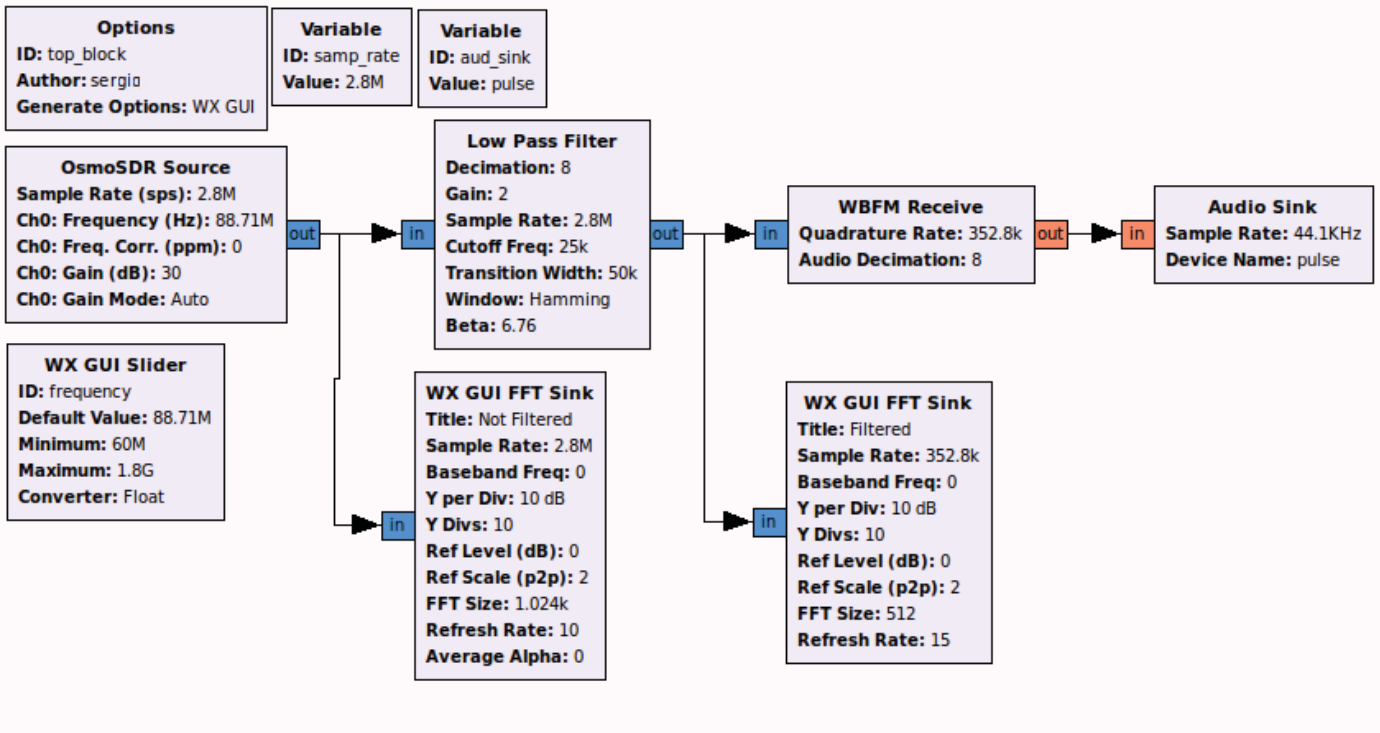


Figura 7. Modelo básico de um demodulador FM no GNU Radio Companion.

O modelo desenvolvido demonstra os blocos implementados no GNU Radio Companion a fim de construir um demodulador FM. Dentro deste modelo temos os módulos:

2) *Variable*
Bloco do GRC para introdução variáveis que podem ser dinamicamente alteradas pelo desenvolvedor.

1) *Options*
Bloco do GRC para introdução de parâmetros de controle do projeto como, Nome do Projeto e autor.

3) *OsmoSDR Source*
Bloco do GRC para captação do sinal de rádio, inserido pelo módulo com o *Chipset* RTL2832.

4) Low Pass Filter

Bloco do GRC para execução de um filtro passa baixa aplicado ao sinal de entrada, com decimação de 8, ganho de 2, taxa de amostragem de 2,8MHz, Cutoff de 25KHz, largura de transmissão de 50Khz, janela de Hamming e Beta de 6,76.

5) WBFM Receive

Bloco do GRC para recepção e tratamento do sinal de rádio recebido pós filtro.

6) Audio Sink

Bloco do GRC para conexão com áudio do computador.

7) WX GUI Slider

Bloco do GRC para alteração da frequência de sintonia recebida pelo modelo proposto.

8) WX GUI FFT Sink

Bloco do GRC para alteração da frequência do espectro recebido pelo modelo proposto.

9) Na Figura 8 podem ser visualizados os espectros recebidos antes e depois do filtro, estes gerados pelos blocos *WX GUI FFT Sink.*

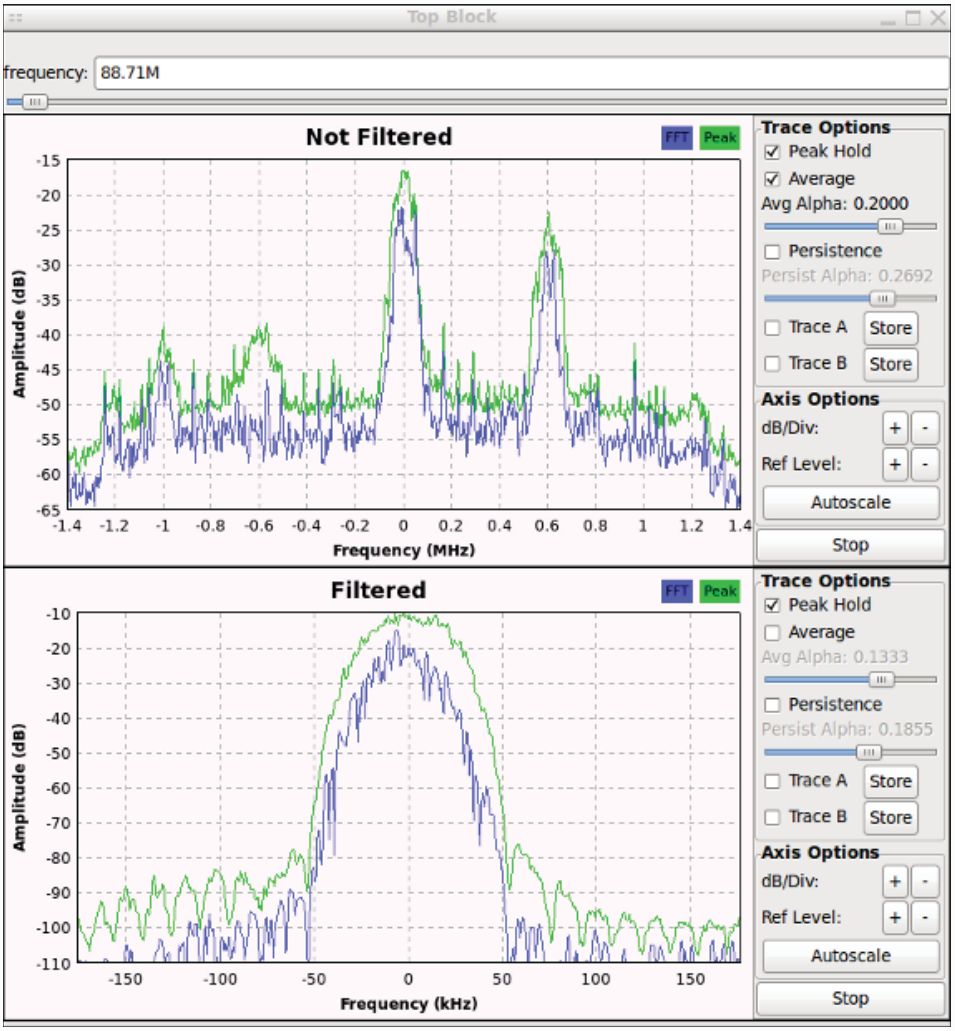


Figura 8. Espectros recebidos antes do filtro digital (*Not Filtered*) e depois do filtro digital *(Filtered*).

O modelo implementado demonstra os blocos utilizados no GNU Radio Companion a fim de construir um demodulador FM. O sistema possui o bloco de entrada baseado no *hardware* do *Chipset* receptor RTL2832 do fabricante *Realtek*, este

responsável pela aquisição do sinal de rádio. Posterior a este processo é implementado um filtro do tipo passa baixa a fim de exercer uma melhor recepção e estabilidade. Posterior a este processo está contido o bloco receptor FM e por fim conexão ao áudio do sistema (áudio do computador).

XIII. CONCLUSÃO

O artigo apresenta uma visão ampla sobre o estado da arte de sistemas e aplicações SDR, abordando questões históricas além de aspectos voltados a aplicações comerciais e acadêmicas. Também descreve características básicas de comunicação digital em aspectos teóricos como explanação dos padrões mais importantes de modulação presentes nos dias atuais. Descreve a ferramenta livre GNU Radio e descreve um exemplo básico de criação de um SDR utilizando o *hardware* com *Chipset* RTL2832 exercendo integração com a ferramenta GNU Radio Companion, com isto oferecendo a implementação de um SDR demodulador FM de forma didática.

REFERÊNCIAS

[1] Wireless Innovation Forum. Wireless Innovation Forum Available: http://www.wirelessinnovation.org.

[2] Dillinger, M., Madani, K., and Alonistioti, N. (2003). Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions. Wiley & Sons.

[3] Cognitive Radio – An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio. PhD thesis, Royal Institute of Technology (KTH).

[4] Force, S. P. T. (2002). Spectrum policy task force report et docket no. 02-155. Technical report, FCC.

[5] KAZAZ MERIMA KULIN, M. H. T. Design and Implementation of SDR Based QPSK Modulator on FPGA. 1. ed. Bosnia and Herzegovina: IEEE, 2013.

[6] HAYKIN, S. Sistemas de Comunicação Analógicos e Digitais. 4. ed. BRA: Bookman, 2004.

[7] AKAMINE, C. Demodulação Banda Base/Passante M-PSK e M-QAM. 1. ed. BRA: Mackenzie, 2013.

[8] RTL2832U Available: http://www.realtek.com.tw/products/productsView.aspx?Langid=1&PFid=35&Level=4&Conn=3&ProdID=257.

[9] Mitola III, J., 1992. Software Radios Survey, Critical Evaluation and Future Directions. IEEE National Telesystems Conference. NTC-92. ISBN: 0-7803-0554-X. p. 13/15 - 13/23. DOI: 10.1109/NTC.1992.267870

[10] Marpanaji, E., Trilaksono, B.R., Langi, A.Z.R., Kurniawan, A., Mahendra, A. and Liung, T., 2007. Experimental Study of DQPSK Modulation on SDR Platform. Journal of ICT Research and Applications. ISSN: 2337-5787. Vol. 1, No. 2, 2007, p. 84-98.

[11] Kazaz, T., Kulin, M. and Hadzialic, M., 2013. Design and implementation of SDR based QPSK modulator on FPGA. 36th IEEE International Convention on Information & Communication Technology Electronics & Microelectronics. MIPRO. ISBN: 978-953-233-076-2. May 2013, p. 513-518.

[12] Priya, A., Rajesh, N. and Muthaiah, R., 2013. CARRIER SYNCHRONIZATION IN SOFTWARE DEFINED RADIO FOR 8PSK. International Journal of Engineering and Technology. IJET. ISSN: 0975-4024. Feb.-Mar. 2013, Vol. 5, No.1, p.81-87.

[13] Cummings, M. and Haruyama, S., 1999. FPGA in the software radio. IEEE Communications Magazine. ISSN: 0163-6804. Feb. 1999, Vol. 37, Issue 2, p. 108–112. DOI: 10.1109/35.747258

[14] Lathi, B.P. and Ding, Z., 2009. Modern Digital and Analog Communication Systems. Oxford Series in Electrical and Computer Engineering. Oxford University Press. ISBN: 9780195331455. Fourth Edition. 1004 p.

[15] Abirami, M., Gandhiraj, R. and Soman K.P., 2013. Performance Analysis of Real Time OFDM Based Communication System Using GNU Radio and USRP. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. IJARCSSE. ISSN: 2277-128X. June 2013, Vol. 3, Issue 6, p. 1584-1590.

[16] Chen, K. and Duan, R. (2011). C-RAN –the road towards green RAN. Technical report, China Mobile. http://labs.chinamobile.com/cran/wp-content/uploads/CRAN_white_paper_v2_5_EN.pdf.

[17] Tenenbaum, A. S. and Wetherall, D. (2011). Redes de computadores. Pearson, São Paulo, SP.

[18] Rappaport, T. (2001). Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2nd edition.

[19] Build-Gnuradio. http://www.sbrac.org/files/build-gnuradio. Acessado em Março de 2015.

[20] Out-of-tree modules. http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OutOfTreeModules. Acessado em Março de 2015.

Cite this article:
Bimbi Junior, S. , Chaves de Oliveira, V., Bedicks Junior, G.; 2015. Rádios Definidos por Software com aplicações GNU Radio. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1.doi: 10.18580/setep.2015.1.2 Web Link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.2

Volume 07 - número 01 - 2015

Estimação da Energia de Campos Eletromagnéticos em Edificações pela Radiodifusão proveniente de redes IEEE 802.11

Lorenzo Coiado
Alexandre Mota
Lia Mota

Estimação da Energia de Campos Eletromagnéticos em Edificações pela Radiodifusão proveniente de redes IEEE 802.11

Lorenzo Coiado, Alexandre Mota e Lia Mota

Abstract*—Lately, a wide variety of devices has been developed which have allowed users access wireless communication net such as smartphones as well as laptops. Due to this a rapid expansion of Wi-Fi IEEE 802.11 standard technology has been felt. Wi-Fi has permitted a greater mobility to users to obtain information and it has become an attractive solution to the corporative world since with no wired net points the cost of installations have been cut down. As Wi-Fi technology is spread, a significant increase of radiated electromagnetic fields has been observed in different installed points. This document presents a method of indoor building electromagnetic measuring areas focused on a 2,4 GHz Wi-Fi net from the potential mapping generated in dBm by this net. This study has the concern about all harm these electromagnetic radiations may cause to the human being.

***Index Terms*— Radiodifusão, IEEE 802.11, Campos eletromagnéticos**

I. Introdução

O ritmo de crescimento da população está cada vez mais acelerado e as cidades passaram a acomodar grande parte da população mundial, criando centros urbanos com alta concentração demográfica. Esse aumento da concentração demográfica tornou-se um grande problema para a gestão das cidades e para as políticas locais. Existe, atualmente, uma grande pressão para a otimização de recursos e para tornar as cidades mais eficientes. Iniciativas por parte do setor privado e governo passaram a investir em tecnologia de informação e comunicação (TIC) para tentar minimizar os problemas de infraestrutura urbana. Nos dias atuais, a Internet prevê a conexão de sensores a serem utilizados como um recurso eficiente em Cidades Inteligentes [1].

A disseminação da informação veio acompanhada de uma tecnologia de rede que se expandiu também em grande proporção: o padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi). Esse padrão proporciona grande mobilidade e conectividade a uma vasta quantidade de dispositivos, tais como: tablets, televisores, palmtops, impressoras, câmeras de segurança. A tecnologia Wi-Fi veio otimizar recursos e facilitar a interatividade dos usuários com a rede [2]. Por ser uma tecnologia sem fio permite uma grande redução de custos em projetos, uma vez que elimina a necessidade de pontos cabeados, e permite que infraestruturas prediais obsoletas possam ter uma solução de acesso à Internet sem a necessidade de transpor cabos.

Assim, um agente invisível e que pode causar danos à saúde humana está cada vez mais presente em nossas vidas: o campo eletromagnético em edificações pela radiodifusão proveniente de redes IEEE 802.11. Todas as redes sem fio Wi-Fi lançam radiações eletromagnéticas no ambiente de sua atuação. E com a disseminação desta tecnologia, houve um aumento significativo de pontos de acessos nas edificações. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia de medição desses campos irradiados, através do levantamento da potência (em dBm) gerada por uma rede IEEE 802.11, com a preocupação de observar a energia absorvida pelo corpo humano ao ser exposto a este agente. A Figura 1 ilustra a termografia de um corpo humano [3].

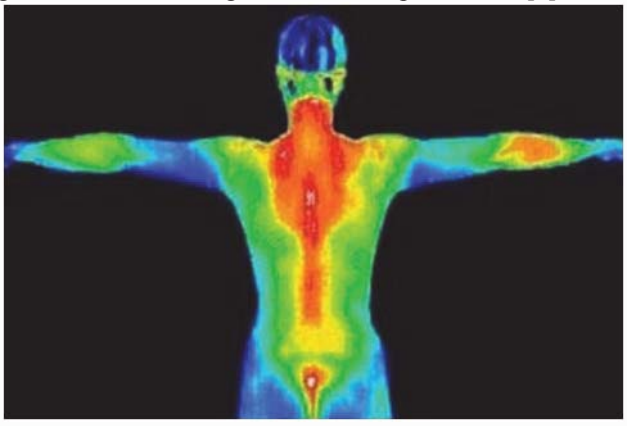


Fig. 1. Termografia de um corpo humano. Adaptado de [3].

II. Campos Eletromagnéticos

A. Equações de Maxwell

A base teórica para estudo de campos eletromagnéticos corresponde às equações publicadas, em 1864, pelo físico escocês James Clerk Maxwell, que em seu trabalho intitulado "Dynamical Theory of Eletromagnetic Field" unificou as

Lorenzo Coiado, Alexandre Mota e Lia Mota atuam junto ao Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pintifícia Universidade Católica de Campinas, Rod. Dom Pedro I, Km 136, CEP 13086-900, Brasil (e-mails: lorenzo.coiado@gmail.com, amota@puc-campinas.edu.br, lia.mota@puc-campinas.edu.br).

equações de campo elétrico e campo magnético. Segue uma breve descrição de cada uma delas [4].

$$\oint E \,.\, dA = \frac{q}{\varepsilon_0} \quad (1)$$

$$\oint B \,.\, dA = 0 \quad (2)$$

$$\oint E \,.\, dS = -\frac{d\Phi B}{dt} \quad (3)$$

$$\oint B \,.\, dS = \mu_0 I + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi E}{dt} \quad (4)$$

Onde "E" é o campo elétrico, "B" é a densidade de fluxo magnético, "q" é a carga elétrica, "ε_0" é a permissividade do vácuo, "μ_0" é a permeabilidade do vácuo, "I" é a corrente elétrica, "ϕB" é o fluxo magnético e "ϕE" é o fluxo elétrico.

A Equação (1) é a Lei de Gauss e afirma que, para uma superfície fechada, o campo elétrico é proporcional à carga resultante contida no volume fechado pela superfície.

A Equação (2) afirma que, o fluxo do campo magnético para uma superfície fechada é zero, não existindo o análogo magnético para a carga elétrica.

A Equação (3) é a Lei de Faraday, e afirma que a integral de linha do campo elétrico ao longo de um trajeto fechado é proporcional à taxa de variação em relação ao tempo do fluxo magnético para uma superfície delimitada por este trajeto.

A Equação (4) é uma forma alterada da Lei de Ampère e afirma que a integral de linha do campo magnético ao longo de um trajeto fechado é proporcional à soma de dois termos. O primeiro contém a corrente resultante que flui através de uma superfície delimitada pelo trajeto fechado. E o segundo contem a taxa de variação, no tempo, do fluxo do campo elétrico para uma superfície delimitada pelo trajeto.

Assim, as equações de Maxwell fazem uma correlação entre os campos elétricos e magnéticos [4].

B. *Energia e Potência*

Os campos eletromagnéticos (medidos em V/m) têm a capacidade de transportar energia, sendo que a potência (P) corresponde à energia desenvolvida ou dissipada em um certo intervalo de tempo. Essas grandezas são fundamentais para que as redes sem fio funcionem, uma vez que os receptores necessitam de uma potência mínima para reconhecimento do sinal [5].

A potência contida no campo elétrico é proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico, conforme Equação (5).

2 1 ′6 (5)

III. Metodologia

A. *Hardware*

Para os testes realizados neste trabalho, foi utilizado um computador desktop, com sistema operacional Linux Ubuntu e placa de rede configurada como Access Point (AP) numa rede Wi-Fi de 2.4GHz (padrão IEEE 802.11). Para o acesso remoto ao computador, foi utilizado um notebook DELL Inspiration, Intel Core i5. A bancada de testes está ilustrada na Figura 2.

Fig. 2. Bancada de testes.

B. *Software*

No computador torre foi utilizado o Linux Ubuntu, por ser um sistema operacional que permite acesso ao hardware da placa de rede e com maiores funções do que um sistema operacional comercial. Foram utilizados scripts de visualização da potência recebida no AP em dBm. Para o acesso remoto ao computador, foi utilizado um notebook com sistema operacional Windows 7 e software PuTTY, que permite o acesso remoto ao Access Point.

C. *Script de acesso*

O script permite a visualização da potência recebida em dBm por um AP, de um laptop conectado na rede Wi-Fi desta base. Com o afastamento ou aproximação do laptop ao AP, é possível verificar a variação da potência do sinal recebido. O script foi definido para coletar dados a cada um segundo.

D. *Access Point*

Em um link padrão IEEE 802.11, a potência é medida em miliwatts ou dBm. As medidas tomadas com o AP têm como saída a potência em dBm. Para transformá-la em energia, são utilizadas as seguintes equações.

/ L srHK C 5 _ (6)

sr ˇ W54 s I9 L 2 (7)

As equações (6) e (7) têm como objetivo a transformação da potencia em dBm, fornecida pelo Access Point, para miliWatt. Sendo que o "M" é a medida da potência recebida no AP, coletada no experimento e "P" é a potência em miliWatt. Sabendo-se que 1 Watt é igual a 1 Joule/segundo, é possível determinar a Energia irradiada por determinado período de tempo.

IV. Coleta de Dados

A. *Primeiro experimento*

Em um primeiro momento, foi feita a medição da potência recebida no AP durante 5 minutos, com intervalo de 1 segundo entre as medidas. A Figura 3 ilustra o esquema utilizado para o primeiro experimento (sem obstáculos entre laptop e AP). Neste primeiro experimento, a energia irradiada (E) pelo AP foi de 7,88 x 10^{-7} Joules.

Fig. 3. Medição sem obstáculos (primeiro experimento).

B. *Segundo experimento*

No segundo experimento, foi feita a medição da potência do AP durante o mesmo período de tempo, com uma pessoa servindo de obstáculo. A Figura 4 ilustra o esquema utilizado para o segundo experimento (com uma pessoa funcionando como obstáculo entre laptop e AP). Neste segundo experimento, a energia irradiada (E) pelo AP foi de 5,74 x 10^{-8} Joules.

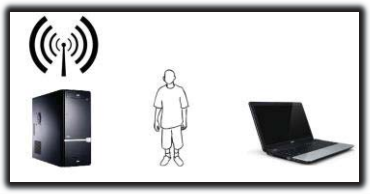


Fig. 4. Uma pessoa como obstáculo (segundo experimento).

C. *Terceiro experimento*

No terceiro experimento, foi feita a medição da potência do AP durante o mesmo período de tempo, com um muro como obstáculo. A Figura 5 ilustra o esquema utilizado para o terceiro experimento (com um muro como obstáculo entre laptop e AP). Neste terceiro experimento, a energia irradiada (E) pelo AP foi de 2,98 x 10^{-9} Joules.

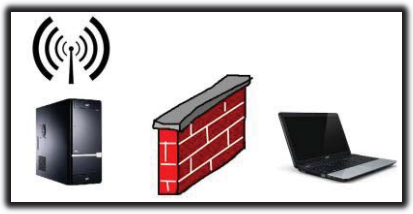


Fig. 5. Um muro como obstáculo (terceiro experimento).

V. Resultados e Discussão

A colocação de barreiras (corpo humano no segundo experimento e muro no terceiro experimento) entre o AP e o notebook teve como objetivo estimar a quantidade de energia absorvida por esses obstáculos, comparando os resultados do segundo e do terceiro experimentos com o caso base sem nenhum obstáculo (primeiro experimento).

Os resultados dos três experimentos podem ser sintetizados de acordo com a Tabela I.

Tabela I: Energia irradiada para os três experimentos

Experimento	Energia Irradiada (J)
Primeiro	E_1 = 7,88 x 10^{-7}
Segundo	E_2 = 5,74 x 10^{-8}
Terceiro	E_3 = 2,98 x 10^{-9}

Mais especificamente, a partir dos resultados coletados, pode-se estimar a quantidade de energia absorvida pelo corpo humano (E_{CH}) ao ser exposto a uma rede Wi-Fi durante 5 minutos, de acordo com a Equação (8).

$$E_{CH} = E_1 - E_2 = (7{,}88x10^{-7}) - (5{,}74x10^{-8}) = 7{,}30x10^{-7}\ J \quad (8)$$

A título de comparação, pode-se estimar a quantidade de energia absorvida por um muro (E_M) ao ser exposto a uma rede Wi-Fi durante 5 minutos, de acordo com a Equação (9).

$$E_{CH} = E_1 - E_3 = (7{,}88x10^{-7}) - (2{,}98x10^{-9}) = 7{,}85x10^{-7}\ J \quad (9)$$

Cabe ressaltar que, neste trabalho, não foi considerada a quantidade de energia que pode ser refletida pelos corpos.

VI. Conclusões

Como conclusões deste trabalho, pode-se destacar que foi possível estimar a energia associada aos campos eletromagnéticos em edificações pela radiodifusão proveniente de redes Wi-Fi padrão IEEE 802.11. A partir dos resultados obtidos, pôde-se concluir que o corpo humano absorve energia proveniente das redes Wi-Fi IEEE 802.11 e, mais ainda, pôde-se estimar essa energia absorvida. É de se esperar que a quantidade de energia absorvida pelo corpo esteja relacionada com o tempo de exposição do mesmo, com a quantidade de APs no ambiente e com possíveis danos à saúde, aspectos que deverão ser tratados em trabalhos futuros.

Agradecimento

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) e ao CNPq pelo suporte a este trabalho.

References

[1] P. Charith, et al. “Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things”. Wiley Online Library.

[2] C.P.C. Marques. Identificação de ofensores via análise da sensibilidade de estações na vazão de redes IEEE 802.11,2013.

[3] Termografiainfrarroja, Available: www.investigacionengestiondeportiva.es. Access: 05/2014

[4] F. J. Keller, et al. Física. Clemson University. Vol. 2, 1999.

[5] Pietrosemoli.”Wireless Networking in the Developing Word.Third Edition”, 2013.

Cite this article:
Coiado, L., Mota, A. e Mota, L.; 2015. Estimação da Energia de Campos Eletromagnéticos em Edificações pela Radiodifusão proveniente de redes IEEE 802.11. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1.doi: 10.18580/setep.2015.1.3 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.3

Average Room Occupancy Rate and its relation with Received Signal Strength Indicator in Wireless Sensors Networks

Daniel B. Barros
Alexandre Mota
Lia Mota

Average Room Occupancy Rate and its relation with Received Signal Strength Indicator in Wireless Sensors Networks

Daniel B. Barros, Alexandre Mota and Lia Mota

***Abstract*—This work aims to define a model for the relation between the Received Signal Strength Indicator (RSSI) of an Wireless Sensors Network (WSN) and the occupation rate of an indoor ambient. Experimental tests were carried out to identify this model that is able to provide the number of people (occupancy rate) in this ambient as a function of the RSSI variance. The tests were based on the installation of an WSN in a classroom, allowing to collect data related to RSSI variation, considering a point-to-point network. As a conclusion, it was possible to identify a relationship between these variables that determines the ambient occupancy rate.**

***Index Terms*— Wireless Sensors Network, RSSI, Occupation Rate**

I. Introduction

Recently, there was a great technological advance in electronics industry that made possible to use wireless sensors networks, which are subject for research in various applications. With the characteristics of low cost and easy use these networks allow useful monitoring and security applications in critical locations, as well as the substitution of hazardous human work [1].

In this context, this work has the objective of identifying a mathematical model that represents the relation between the RSSI of an WSN and the occupancy rate (number of people) in an indoor ambient.

This work is organized as follows. Section II presents the main concepts of WSNs. Section III presents some variables and phenomena that have influence in the radio signal propagation and, consequently, on RSSI. Section IV brings some concepts about occupancy rate. Section V describes the methodology adopted in this work and Section VI presents the obtained results. Finally, Section VII presents the conclusions of this work.

II. Wireless Sensors Networks (WSNs)

A wireless sensors network is someway dedicated to a specific application. It is composed by one or more transceiver nodes with autonomous capacity of data acquisition and processing [1]. The nodes transmission characteristics and the reception sensibility limit its distribution on the ambient, affecting their communication reliability. Figure 1 shows a wireless sensors network with point-to-point topology, in which each node communicates directly with the base.

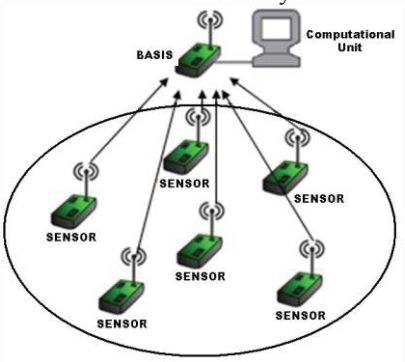


Fig.1. Wireless Sensors Network configuration example.

Many researches were made in WSNs showing their technological benefits, like reduction of energy consumption, lowering costs, network devices size and the functional capacity raise [2]. Wireless Sensors Networks are current being applied in vehicles, intelligent networks, intelligent buildings and intelligent cities. These networks can also be used in medical, environmental, military and commercial areas. Because of their wireless nature, these networks can easily measure the radio signal characteristics from the ambient, like received power from each one of the other network nodes [5]. This feature is detailed in the next section.

III. Received Signal Strength

The Received Signal Strength Indicator (RSSI) can be defined as the power that a device (which composed the WSN) received from the radio infrastructure (WSN) at a given ambient. The RSSI is directly influenced by the phenomena and variables described as follows.

A. Propagation

Radio signals are vulnerable to propagation phenomena, which can change signals' characteristics, such as attenuation, reflection, refraction, diffraction, dispersion and noise [3]. The result of each of these phenomena directly impacts the RSSI

Daniel B. Barros, Alexandre Mota and Lia Mota are with the Electrical Engineering Faculty, Pontifical Catholic University of Campinas, Rod. Dom Pedro I, Km 136, CEP 13086-900, Brazil (e-mails: danielbragabarros@gmail.com, amota@puc-campinas.edu.br, lia.mota@puc-campinas.edu.br).

value.

Integrated circuits designed for sensors are capable of acquiring RSSI measurements. This value is estimated from the received power level converted in dBm when reading from the circuit registers [4]. There are many areas for research in this application field like sensors positioning, propagation medium, hardware performance, and others [1].

B. *Environment influence*

Radio signal propagation can be also affected by environment changes. In indoor ambient, the objects inside the room become obstacles to the radio signal propagation and so they disturb the signal.

Network nodes can monitor the RSSI, making possible to know the signal strength between network nodes in an indoor environment [3].

C. *People influence*

In an indoor environment people are doing their daily activities, and they also can be considered obstacles to radio signals propagation. In this way, one can consider the same observations related to objects.

IV. Occupancy Rate

The term "Occupancy Rate" is used in different situations. For example, in Telecommunications it can represent the occupation of a telephonic channel; in Civil Engineering this term refers to the built area in relation to the total ground area. This work proposes a study about the feasibility of using an WSN to estimate the occupancy rate (number of people) in an indoor ambient, based on RSSI measurements.

This work motivation is related to the possibility of determining the occupancy rate in a non-invasive and low cost way with wireless devices.

V. Methodology

An experimental approach was chosen to verify this work proposition. For this reason, a standard classroom (at the Pontifical Catholic University of Campinas - PUC-Campinas) was chosen to host the experiments. It was populated with a simple wireless sensors network consisting of one sensor communicating with one base with direct line of sight and a height that allows people to interfere in the signal. The network topology and used equipment are shown in Figure 2.

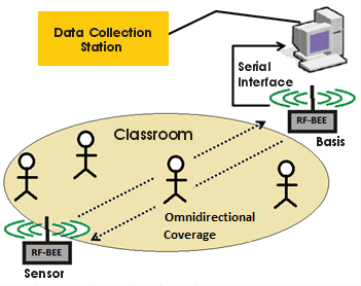


Fig. 2. Test network topology in the classroom.

The classroom used has about 54m² and 3,5m height. The nodes were installed in two parallel walls, 6m from each other and at 1,3m from the floor. This allows people passing to change the characteristic of the wireless communication.

RFBee device [6] was used as sensor and base nodes. RFBee is composed by CC1101 transceiver and ATMega-328 microcontroller [6]. This architecture was chosen for its simplicity, widespread and Arduino compatibility, using C programming language. It is important to note that this node was not feed by batteries and, so, didn´t presented problems with short lifetime, because the sensor node was fed by AC power source.

Using the pooling strategy, where the base requests the sensor a measurement, the base and sensor were programmed with the Radiuino platform code [6], allowing users to easily program and run a wireless sensors network.

The sensor node was fed by AC power source, ensuring data collecting. The sensor's main function is to receive a requisition from the base and retransmit it back. The data itself is not important, for we are interested in the RSSI only. The returned packet contains the signal strength in its first four bytes, allowing the base to know the RSSI of the uplink and downlink transactions.

The base node is connected to the computer by a USB cable and transfers data to proprietary software that makes requisitions in fixed time intervals and saves the RSSI data into a file for analysis and configured to request measurements at every 30 seconds. This time interval was considered a good start point to measure people coming and going in the environment and also friendly to the storage available capacity in the computer. The real people count in the classroom was given by the teacher's grade book.

This test was carried out during a week, recording the RSSI for every class, break, lunch and night times. Post processing of data was done to choose time intervals of interest, like a full class, half class, night time, and others. The signal variance was adopted as a variable in order to investigate the relationship between RSSI and the room occupancy rate.

VI. Results

The obtained results are presented by graphics that show the RSSI evolution during a time interval. These graphics (one for each "occupancy rate" condition) are shown in Figure 3.

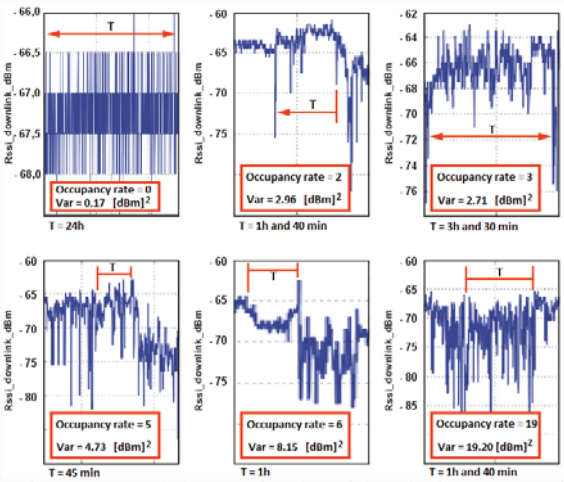


Fig. 3. RSSI variation as a function of time, in the presence of 0, 2, 3, 5, 6 and 19 people.

It is possible to represent the RSSI variance as a function of the occupancy rate, based on the values presented in Figure 3, as can be seen in Figure 4.

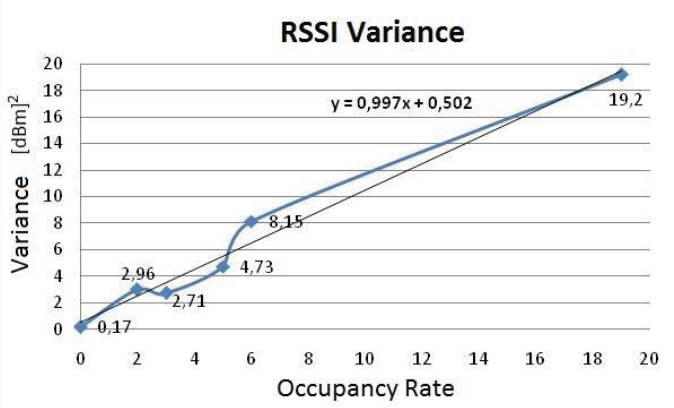


Fig. 4. Signal variance as a function of the occupancy rate and trend curve.

Figure 4 shows a linear variance trend curve, which can be expressed by the mathematical model defined by Equation 1.

$$y = 0{,}9973.x + 0{,}5027 \quad (1)$$

Where x represents the occupancy rate and y represents the variance of the variable x.

A different time interval was selected to validate the identified mathematical model. In this interval, there were 3 people in the ambient, keeping the variance in 3,17, as shown in Figure 5.

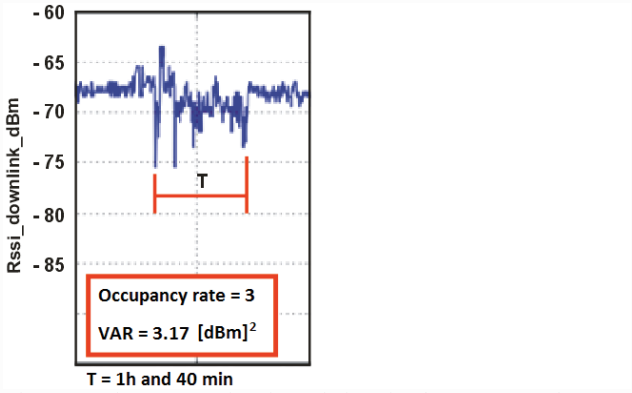


Fig. 5. Variance as a function of time in the presence of 3 people (occupancy rate equals to 3).

When the x variable was isolated in Equation 1, it was possible to replace the variance value (3,17) of the new interval, verifying the expected occupancy rate (3), as follows.

$$x = \frac{(y - 0{,}5027)}{0{,}9973} \quad (2)$$

$$x = \frac{(3{,}17 - 0{,}5027)}{0{,}9973} \quad (3)$$

$$x = 2{,}67 \quad (4)$$

It can be seen that the estimated occupancy rate (2,67) is approximately equal to the expected value (3). This number is compatible with the real number of people in the ambient in the time of the current measurement.

VII. Conclusion

From the experiments that were carried out, one conclude that it is possible to find a relationship between an indoor ambient occupancy rate and the wireless sensors network RSSI variance. It is relevant to consider that, when dealing with people, the predicted values always have to be an integer, that's why the error has to be calculated and the value rounded.

The methods used to calculate the occupancy rate can be improved, for example, taking a better control over people number in the room and leading to a precise definition of the trend curve's coefficients.

This work used only IEEE 802.15.4 sensors, but in future studies other technologies can be tested, like the IEEE 802.11 which are more used in buildings and with potential for other applications.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Pontifical Catholic University of Campinas (PUC-Campinas) for the support to this work.

References

[1] G. Gracioli, et al. "Evaluation of an RSSI-based Location Algorithm for Wireless Sensor Networks," *IEEE Latin America*, vol. *9,* pp. *830-835,* Aug., 2013.

[2] J. C. A. Cansado, "Instrumentalization of Wireless Sensor Networks," Ph.D. dissertation, Electrical Engineering Dept., USP, São Paulo, SP, Brazil, 2011.

[3] E. T. Procópio, "Identification of a mathematicaç model to represent wireless sensors networks' transmission in buildings," M.S. thesis, Electrical Engineering Dept., PUC-Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2012.

[4] Texas Instrumments, CC1101 Low-power Sub-1 GHz RF Transceiver, 2011

[5] G. Kiev, A. Alvaro, E.C. Peixoto. "Towards a Technological Maturity Model for Smart Cities," in *SBS.*, São Paulo, SP, 2012.

[6] Radiuino website. Available online: http://www.radiuino.cc (accessed on 04 01 2015).

Cite this article:
B. Barros,Daniel, Mota, A. e Mota, L.; 2015. Average Room Occupancy Rate and its relation with Received Signal Strength Indicator in Wireless Sensors Networks. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1.doi: 10.18580/setep.2015.1.4 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.4

Análise de Conteúdo Multimídia para Radiodifusão Digital Operando na Faixa de Ondas Curtas

Hebert Santos
Amanda A. Menezes
Gilvandson C. Cavalcante
Sidnei Baumann
Flávio F. Lima

Análise de Conteúdo Multimídia para Radiodifusão Digital Operando na Faixa de Ondas Curtas

Hebert Santos, Amanda A. Menezes, Gilvandson C. Cavalcante, Sidnei Baumann, Flávio F. Lima

***Abstract* — This paper intends to evaluate the main tools of multimedia services used in currently media, identifying those that are best suited to digital broadcasting service in the range of shortwave, taking into account the best technical characteristics for the production of content to be transmitted in narrowband technology.**

***Index Terms* — Shortwave, Digital Radio, Digital Radio Mondiale, Multimedia.**

I. Introdução

Com o surgimento de novas tecnologias digitais, incluindo as tecnologias desenvolvidas para o setor de radiodifusão, e a convergência de conteúdo entre as mídias, o número de possibilidades de prestação de serviço com uso dessas mídias aumenta consideravelmente. A digitalização da radiodifusão sonora permite aos usuários receberem, além do áudio de melhor qualidade, dados com programação multimídia. Nesse cenário, há um interesse crescente no desenvolvimento de conteúdos e de novas metodologias de inclusão social, utilizando o rádio digital.

Assim, a radiodifusão em ondas curtas – OC surge com grande destaque, devido às características de propagação nessa faixa de frequência, que permitem áreas de coberturas nacionais e transcontinentais por meio de uma única emissora.

Apesar dos sinais propagados nessa faixa estarem mais propícios aos ruídos e aos desvanecimentos que os sinais em frequências superiores, diferentemente do sistema analógico que não é capaz de tratar adequadamente essas interferências, o sistema digital permite a correção de erros na recepção por meio de códigos corretores de erros e técnicas de modulação.

Por outro lado, a largura de banda disponível para as emissoras de radiodifusão nessa faixa de frequência não é suficiente para proporcionar as altas taxas de transmissão de dados que são praticadas em outros meios de comunicação, tais como na internet em banda larga, o que torna mais cuidadoso o desenvolvimento de conteúdo para esse tipo de tecnologia.

Portanto, esse artigo visa avaliar a aplicação de algumas ferramentas utilizadas nos serviços multimídia, de forma a identificar, dentre elas, aquelas que melhor atendem à produção de conteúdo a ser transmitido em tecnologia de banda estreita. Para tanto, o artigo está estruturado em seis seções. Na primeira, é delineada a fundamentação do trabalho. Na segunda, é apresentado um *overview* do sistema DRM (*Digital Radio Mondiale*), destacando as característica técnicas, os serviços adicionais contemplados além do áudio, e a capacidade de transmissão em bps (bit por segundo) do sistema em função da escolha do modo de transmissão (robustez do sinal diante das características do canal de transmissão).

Na seção seguinte, por meio de algumas ferramentas, é realizado um conjunto de análises de conteúdo multimídia, identificando os formatos que mais se adequam ao sistema. Na seção IV, é apresentado o desenvolvimento de uma plataforma para transmissão e recepção do sinal na faixa de ondas curtas, utilizada na avaliação dos conteúdos transmitidos na seção V. Por fim, na última seção, são delineadas as conclusões e as considerações finais dos estudos realizados.

II. Sistema DRM

O Sistema DRM, foi criado em Guangzhou - China, em 1998, inicialmente com o objetivo de digitalização das bandas de radiodifusão AM até 30 MHz (ondas longas, médias e curtas). A especificação do sistema DRM para a transmissão abaixo de 30 MHz é denominado de DRM30, e foi publicada pela primeira vez pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute)* em 2001 [1], seguido de uma Recomendação ITU (*International Telecommunication Union)* definindo a utilização do sistema de radiodifusão sonora digital a nível internacional [2].

A. Características Técnicas

O sistema DRM30 foi desenvolvido de forma que alguns parâmetros técnicos possam ser ajustados, tais como: tipos de modulações, modos de transmissões OFDM (*Orthogonal*

Artigo submetido no dia 29 de maio de 2015.

H. Santos, engenheiro do Ministério das Comunicações, Goiânia-GO, Brasil, email: hebert.santos@comunicacoes.gov.br.

F.F. Lima, professor da Faculdade Anhanguera em Brasília, Unidade Facnet,, Brasil, email: flavio.lima@anhanguera.com.

G. C. Cavalcante, mestrando da Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, email: gilvandson.cavalcante@gmail.com.br.

A. A. Menezes, mestranda da Universidad Nihon Gakko, Ciudad Del Lest, Paraguai-PY, email: amanda@facnet.com.br.

S. Baumann, professor da Universidad Nihon Gakko, Ciudad Del Lest, Paraguai-PY, email: sidnei@qualityeletro.com.br.

Frequency Division Modulation), taxas de codificação de canal e variações de *interleaving*. Assim, o sistema pode ser configurado de maneira a adequar a sua transmissão às necessidades das emissoras, que podem optar por uma maior taxa de dados úteis ou uma maior robustez do sinal irradiado frente às imperfeições do canal de transmissão, tais como: efeitos dos ruídos, interferências, multipercursos e efeito Doppler.

Além dos parâmetros citados, é possível escolher uma dentre seis larguras espectrais para o sinal digital DRM30; são elas: 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz ou 20 kHz, o que permite uma transmissão *full digital* ou *simulcast*. Ademais, o sistema DRM30 é identificado de acordo com os modos de transmissão OFDM representados por meio de quatro letras, A, B, C e D, e classificados em função da duração dos símbolos OFDM e da duração do intervalo de guarda OFDM conforme ilustram a Tabela I e Tabela II [3].

TABELA I
PARÂMETROS OFDM DOS QUATRO MODOS DE ROBUSTEZ DO DRM30

Parâmetro	Modo de Robustez			
	A	B	C	D
Espaçamento entre portadoras (Δfp) [Hz]	41,667	46,875	68,182	107,143
Duração da parte útil do símbolo (Tu = 1/Δfp) [ms]	24	21,333	14,667	9,333
Intervalo de guarda (Tg) [ms]	2,667	5,333	5,333	7,333
Duração do símbolo OFDM (Ts = Tu + Tg) [ms]	26,667	26,667	20	16,667
Tg/Tu	1/9	1/4	4/11	11/14

TABELA II
MODOS DE ROBUSTEZ DO SISTEMA DRM30

Modo de Robustez	Condições de Propagação Típicas	Usos Típicos
A	Onda de superfície, com pouco desvanecimento.	Cobertura local ou regional usando onda de superfície nas faixas OL e OM. Cobertura local usando onda espacial na faixa OC 26 MHz.
B	Canais seletivos no tempo e na frequência, com maior *delay spread*.	Cobertura nacional e internacional usando onda celeste nas faixas OM e OC.
C	Idem modo B, mas com elevado *Doppler spread*.	Cobertura internacional usando onda celeste na faixa OC.
D	Idem modo B, mas com severos *delay spread* e *Doppler spread*.	Onda celeste requerendo robustez altíssima, particularmente onda celeste com incidência quase vertical para cobertura nacional na faixa OT.

Portanto, observa-se pela Tabela I e pela Tabela II que a capacidade de transmissão de dados úteis está diretamente correlacionada com a escolha do modo de transmissão, sendo maior a taxa quanto menor a robustez do sistema. Assim, a escolha da qualidade do áudio e da taxa de bits reservada para transmissão de dados fica a critério do radiodifusor, em função da sua necessidade.

A Figura 1 apresenta de forma simplificada a configuração de uma estação transmissora no sistema DRM30. O sinal DRM30 gerado por um servidor de conteúdo e um modulador, este último é conectado ao transmissor. O servidor de conteúdo é o equipamento onde o áudio é codificado, os parâmetros de transmissão são configurados e os demais dados multimídias são inseridos. O modulador gera os sinais que são enviados ao transmissor gerando o sinal DRM30. Nesta configuração o sinal AM e o sinal DRM30 estão em canais adjacentes, e o sinal na saída do transmissor AM constitui o sinal *Simulcast* ou híbrido.

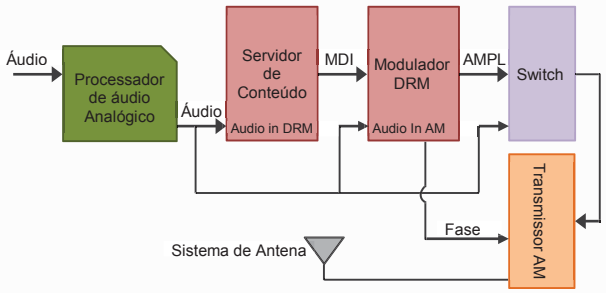


Fig. 1. Diagrama de bloco DRM30 transmissão *simulcast*.

1) *Estrutura Lógica do Sistema*

A estrutura lógica do sistema DRM30 é dividida em três canais: o canal de acesso rápido ou FAC (*Fast Access Channel*), o canal de descrição de serviço ou SDC (*Service Description Channel*) e o canal de serviço principal ou MSC (*Main Service Channel*) [2],[3].

O canal MSC contém os serviços de áudio e dados e, por isso, detém a maior parte da capacidade de transmissão do sinal DRM30, podendo transportar até quatro serviços distintos, de áudio e/ou dados. As portadoras que transportam dados do MSC podem utilizar a modulação 16-QAM ou a 64-QAM.

O SDC contém a descrição de como decodificar os serviços contidos no MSC. As portadoras que transportam os dados do SDC sempre usam uma modulação mais robusta (isto é, de menor ordem) do que aquela utilizada pelo MSC. Assim, o MSC e o SDC utilizam, respectivamente, 64-QAM e 16-QAM ou 16-QAM e 4-QAM.

O canal de acesso rápido ou FAC transporta dados que informam ao receptor a largura espectral do sinal DRM30, as modulações usadas com o SDC e com o MSC, o comprimento do embaralhamento (*interleaving*), quantos serviços contém o MSC e o nome desses serviços. O receptor decodifica primeiro o FAC, para depois decodificar o SDC e o MSC. Como o FAC transporta os dados mais críticos do sistema, ele requer maior robustez, que é conseguida com o uso da modulação 4-QAM e de um código FEC mais robusto.

2) *Codificação de Áudio*

O sistema DRM30 oferece grande flexibilidade na codificação de fonte, permitindo a utilização de dois esquemas de codificação para áudio mono e estéreo, MPEG xHE-AAC (*Extended High-Efficiency Advanced Audio Coding*) e o MPEG-4 AAC (*Advanced Audio Coding*) que pode ser utilizado em conjunto com as ferramentas SBR

(*Spectral Band Replication*) e PS (*Parametric Stereo*), conforme ilustra a Figura 2. Ambos os codificadores trabalham com qualquer taxa de bits onde a granularidade é de 20 bps.

Por exemplo, na faixa de ondas curtas o xHe-AAC precisa de uma taxa de 16 kbps (quilobit por segundo) para áudio com qualidade estéreo, e o MPEG-4 AAC de uma taxa de 20 kbps para áudio com qualidade mono sem uso das ferramentas SBR e PS.

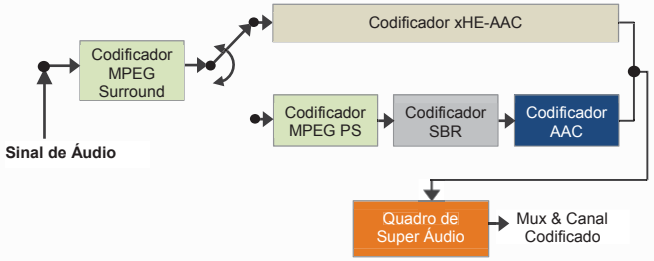


Fig. 2. Opções de codificação de áudio e voz no DRM30.

O codificador MPEG-4 AAC é usado para a codificação de áudio genérico, mono, estéreo ou surround. No sistema DRM30, as taxas de amostragem permitidas com o MPEG-4 AAC são de 12 kHz ou 24 kHz. A princípio, o áudio codificado teria então uma largura de banda menor que 6 kHz ou 12 kHz, respectivamente. No entanto, o sistema DRM30 permite o uso da técnica SBR, que é capaz de melhorar a percepção de um sinal de áudio realizando o truncamento das baixas frequências [4]. Ela usa, de forma dinâmica, o conteúdo espectral de informações de baixa frequência para criar uma imitação para as informações de alta frequência perdidas. Isto requer informações auxiliares do SBR que são aproximadamente de 2 kbps.

Neste caso, o codificador MPEG-4 AAC codifica um sinal de áudio de banda estreita - com largura de banda inferior a 6 ou 12 kHz - e em paralelo o codificador SBR extrai e codifica apenas a forma (ou envoltória) do espectro de áudio original para frequências acima de 6 ou 12 kHz. Essas duas informações, a da saída do codificador MPEG-4 AAC e a da saída do codificador SBR, são transmitidas e usadas pelo decodificador para criar uma imitação das informações de alta frequência espectral perdidas, que são combinadas com as informações de baixa frequência espectral para produzir um sinal de áudio que se estende a 15 kHz ou mais.

A combinação do codificador AAC com o esquema de SBR é chamado aacPlus ou HE AAC (*High Efficiency AAC*). O aacPlus é capaz de fornecer sinais de áudio estereofônico de alta qualidade, equivalente à qualidade oferecida por CDs, com taxas de bits em torno de 48 kbps, e sinais de áudio mono com qualidade próxima ao proporcionado pelas estações de FM com taxas de bits em torno de 20 kbps.

O sistema DRM30 permite também o uso de um sistema estéreo paramétrico, que usa uma técnica de síntese para decodificar o sinal de áudio para melhorar o mono AAC, dando a percepção de um sinal estéreo. Essa técnica também exige a transmissão de informações auxiliares de aproximadamente 2 kbps, e é extraído pelo codificador do sinal original de áudio estéreo. Portanto, para implementar a expansão de largura de banda, SBR, e o estéreo paramétrico é necessária uma taxa extra de bits de 4 kbps. No entanto, essas duas técnicas, quando combinadas com a codificação MPEG-4 AAC, proporcionam uma excelente qualidade de áudio com uma taxa de bits total inferior a 20 kbps [5].

B. Serviços Adicionais

Uma das principais vantagens na digitalização do rádio é a possibilidade de oferecer serviços adicionais além da melhoria na qualidade do áudio. Assim, atualmente o sistema DRM oferece um conjunto de serviços agregados à programação ou não, a saber [6].

1) Alerta de Emergências

Envio de sinais de alerta aos receptores provocando uma mudança automática de sintonia para os canais emergenciais. Os programas de Alertas Emergenciais contêm áudio e texto criando uma plataforma multilíngue para orientação e informação das populações em tempo real.

2) Mensagem de Texto

Acompanhamento da programação em áudio com textos curtos, tais como título da música ou artista (tela atualizada pelo radiodifusor), com suporte Unicode completo (scripts).

3) Journaline

Serviço de informação de texto Unicode (todos os Scripts), com pesquisa interativa de informações na tela do receptor, semelhante a uma navegação web.

4) Geolocalização de Conteúdos

Permite a oferta de serviços em zonas específicas.

5) Slideshow

Imagens e animação transmitidas em carrossel.

6) Electronic Programme Guide (EPG)

Inclui "*What'supnow&next*"; o ouvinte pode visualizar a programação atual e futura da emissora, com opção para busca de conteúdos e memorização de programas.

7) Transport Protocol Experts Group (TPEG) e Traffic Message Channel TMC

Informações e mensagem de trânsito para sistemas móveis (automóveis).

8) Diveemo

Vídeo em pequena escala para serviços de informação e educação (em processo de homologação).

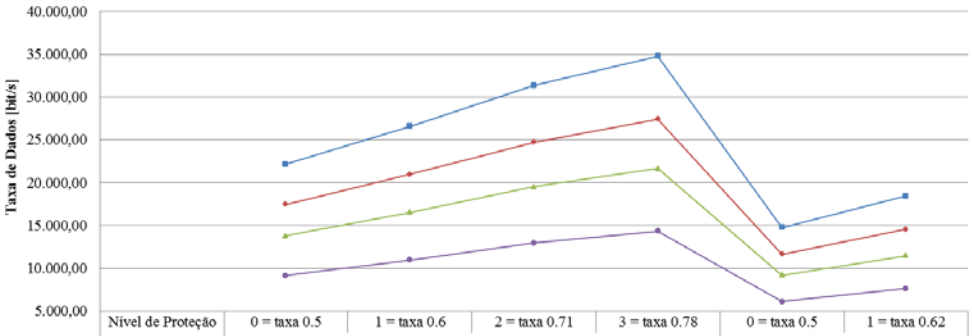
C. Capacidade de Transmissão

O sistema DRM30 permite transmitir vários tipos de serviço, no entanto, a possibilidade destes serviços serem oferecidos simultaneamente é restringida pela capacidade do canal. Essa limitação pode ser observada na Figura 3, com a taxa de dados (bits/s) em função do modo de transmissão e do

nível de proteção, adotando uma largura de banda de 10 kHz.

Para cada modo de robustez, A, B, C ou D, existem dois esquemas de modulação para o canal MSC, 16-QAM ou 64-QAM, os quais podem ser utilizados em combinação com o codificador de canal. Cada nível de proteção é caracterizado por um parâmetro específico definido para os codificadores convolucionais, resultando em uma determinada taxa média de código para o multinível global do processo de codificação no modulador.

Assim, à medida que a taxa de nível de proteção vai se alterando dentro do mesmo modo de robustez, a taxa de dados em bps úteis também se altera, caracterizando a capacidade do canal.



Nível de Proteção	0 = taxa 0.5	1 = taxa 0.6	2 = taxa 0.71	3 = taxa 0.78	0 = taxa 0.5	1 = taxa 0.62
	Modulação 64-QAM				Modulação 16-QAM	
Modo A	22.142,50	26.570,00	31.367,50	34.770,00	14.760,00	18.452,50
Modo B	17.477,50	20.975,00	24.750,00	27.450,00	11.655,00	14.565,00
Modo C	13.785,00	16.537,50	19.520,00	21.635,00	9.187,50	11.487,50
Modo D	9.150,00	10.977,50	12.962,50	14.365,00	6.097,50	7.625,00

Fig. 3. Taxa de dados em função da modulação e nível de proteção.

III. Análise de Conteúdos Multimídias

Diante de um sistema de largura de banda estreita de 10 kHz, quanto menos bits forem atribuídos para proteção do sinal, maior será a capacidade de transmissão de dados úteis do sistema. Por outro lado, ao atribuir uma baixa proteção, o mesmo poderá não conseguir desempenhar sua tarefa principal, que é a decodificação do conteúdo recebido, deixando o sistema vulnerável aos ecos, e consequentemente a erros de operação. Diante desse cenário, verifica-se a importância de se estabelecer critérios para a elaboração dos conteúdos multimídias que irão trafegar no sistema, possibilitando a maximização e a eficiência dos recursos disponíveis.

A. Arquivos de Imagens

Uma das principais características dos sistemas multimídia consiste na utilização de imagens para compor o conteúdo a ser transmitido. Assim é extremamente importante analisar quais formatos de dados possuem melhor desempenho na transmissão do conteúdo e que são factíveis de codificação e decodificação pelo sistema DRM30. Para essa avaliação, foi utilizado o banco de imagens TID2008 [7], por ser gratuito e de alta qualidade.

O banco de dados TID2008 conta com um total de 25 imagens de referências no formato bitmap (BMP), e 1700 imagens degradadas por 17 diferentes meios de distorção, provenientes das imagens de referências. Ele reflete uma boa diversidade de conteúdo. As imagens incluem rostos, pessoas, animais, cenas naturais e objetos.

Três imagens de referência foram selecionadas pela sua riqueza de detalhes, conforme ilustra a Figura 4, proporcionando assim uma análise mais evidente dos tipos de conversão aplicados. As imagens originalmente possuíam dimensões 512 × 384 pixels. No entanto, os receptores padrões de rádio digital possuem telas de tamanho de 320 × 240 pixels. Assim, para transmissão das imagens, as mesmas foram reduzidas para 320 × 240 pixels, possibilitando assim uma redução para aproximadamente 39% de seu tamanho, em se tratando de ocupação de armazenamento e transmissão, passando de 577 kB (quilo Byte) para 226 kB cada uma.

(a) Imagem I01 (b) Imagem I02 (c) Imagem I03

Fig. 4. Imagens escolhidas.

Após o redimensionamento das imagens BMP para 320 × 240 pixels, cada imagem de referência foi convertida nos padrões JPEG (*Joint Photographics Experts Group*), PNG, (*Portable Network Graphics*) GIF (Graphics Interchange Format), Webp com fator de compressão de 75 e SVG *(Scalable Vector Graphics)*, conforme ilustra a Figura 5.

Observa-se que os três arquivos de imagens de referência apesar de possuírem o mesmo tamanho no formato Bitmap, ao serem convertidos para um outro formato, por exemplo, o JPEG, apresentam tamanhos diferentes. Esta característica se deve ao fato de como cada algoritmo de conversão de imagens trata as riquezas de detalhes. Observando as imagens e comparando-as, pode-se verificar que a imagem I02 possui maior quantidade de detalhes e cores, resultado assim em um arquivo final JPEG maior que os demais.

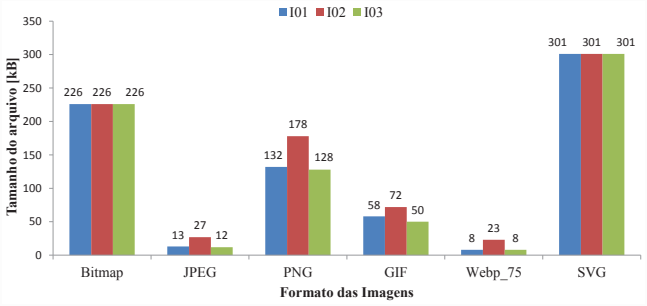


Fig. 5. Comparação entre os tipos de padrões de imagens.

Nos processos de compressão utilizados neste trabalho, todos apresentaram perdas de informação que resultam na degradação da imagem convertida. No entanto, estas perdas podem afetar a qualidade visual da imagem ou não. Para se identificar o grau dessa degradação, utiliza-se a comparação por meio da Razão Sinal Ruído de Pico (PSNR), onde o sinal é a imagem original e o ruído o erro introduzido pela compressão [8]. Observando a Figura 5, tem-se que os dois padrões de imagens que apresentaram melhor comportamento no que se refere à economia de espaço em disco foram o JPEG e o Webp. Assim a análise da PSNR restringiu-se a estes dois padrões.

Para o cálculo da PSNR do padrão JPEG, foi implementado no software MatLab um código onde as três imagens em JPEG, uma de cada vez, foram submetidas a uma variação de seu Fator de Compressão (FC), de 0 a 100% com intervalos de 5%, sendo que o fator 0% corresponde a uma máxima compressão e o fator 100% corresponde a nenhuma compressão.

A Figura 6 ilustra o valor de PSNR em função da quantidade de bit por pixel. Uma imagem com valor de PSNR maior que 41 é considerada adequada para utilização, ou seja, a degradação não é significativamente perceptível ao usuário [9]. As Figuras 7, 8 e 9 ilustram a qualidade das imagens em função da variação do Fator de Compressão (FC), da PSNR, e da quantidade de Bits por Pixel (B/P).

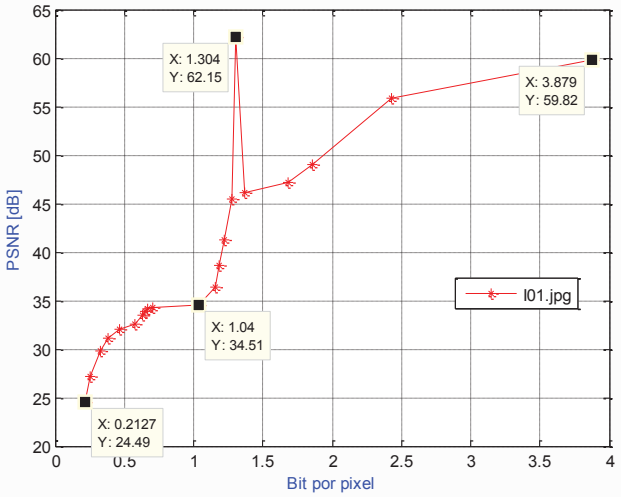
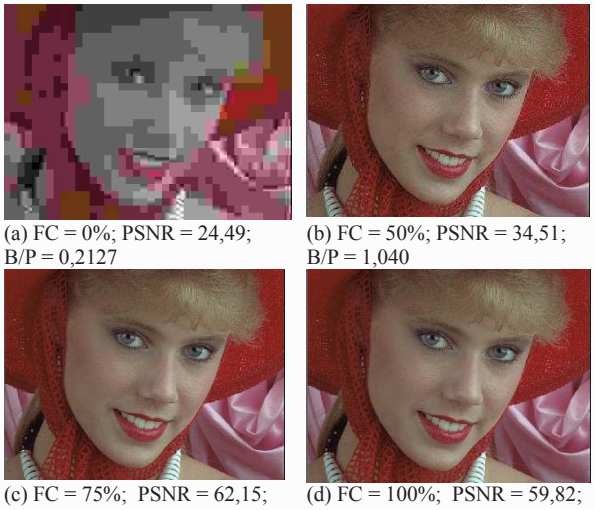
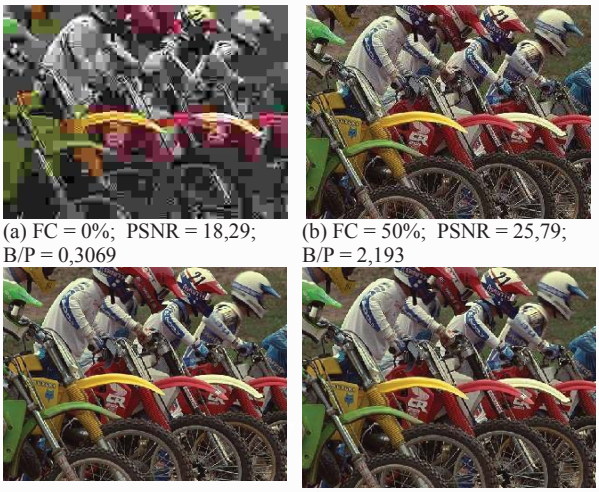


Fig. 6. PSNR em função de Bit por pixel da Imagem I01.



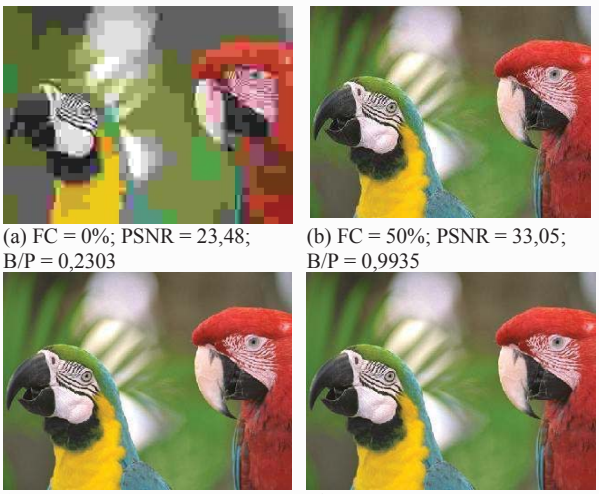
(a) FC = 0%; PSNR = 24,49; B/P = 0,2127
(b) FC = 50%; PSNR = 34,51; B/P = 1,040
(c) FC = 75%; PSNR = 62,15; B/P = 1,304
(d) FC = 100%; PSNR = 59,82; B/P = 3,879

Fig. 7. Representação da Imagem I01 com variação do FC.



(a) FC = 0%; PSNR = 18,29; B/P = 0,3069
(b) FC = 50%; PSNR = 25,79; B/P = 2,193
(c) FC = 75%; PSNR = 54,44; B/P = 2,858
(d) FC = 100%; PSNR = 57,49; B/P = 8,107

Fig. 8. Representação da Imagem I02 com variação do FC.



(a) FC = 0%; PSNR = 23,48; B/P = 0,2303
(b) FC = 50%; PSNR = 33,05; B/P = 0,9935
(c) FC = 75%; PSNR = 58,47; B/P = 1,278
(d) FC = 100%; PSNR = 59,11; B/P = 4,083

Fig. 9. Representação da Imagem I03 com variação do FC.

Portanto, quando se observa a degradação da imagem devido à sua compressão, pode-se traçar um paralelo entre a

PSNR, o fator de compressão e a quantidade de bits por pixel. À medida que se comprime a imagem, a quantidade de bits por pixel diminui e o fator PSNR torna-se menor. Desta forma, ao se comparar um sinal antes e depois de um processo de degradação, deve-se verificar o valor do PSNR obtido. Se for um alto valor, significa que a imagem que foi submetida ao processo de compressão tem uma melhor qualidade. Verificada esta relação, uma comparação válida neste caso é o comportamento do arquivo em relação ao seu tamanho quando se varia o fator de compressão, tendo como resultado o PSNR.

Esse comparativo pode ser observado para cada uma das imagens, nos formatos JPEG e Webp, na Figura 10, Figura 11 e Figura 12. Nesse caso, pode-se observar que o padrão que possui melhor desempenho para as necessidades de transmissão multimídia utilizando a faixa de ondas curtas é o Webp, já que obteve um arquivo de menor tamanho com qualidade satisfatória para transmissão e recepção. Por exemplo, a imagem I01.webp, para um fator de compressão de 75%, obteve um arquivo de tamanho de 8 kB e um PSNR de 38,66 dB enquanto a imagem I01.jpg, para o mesmo fator de compressão, apresentou um arquivo de tamanho de 13 kB e um PSNR de 62,15 dB.

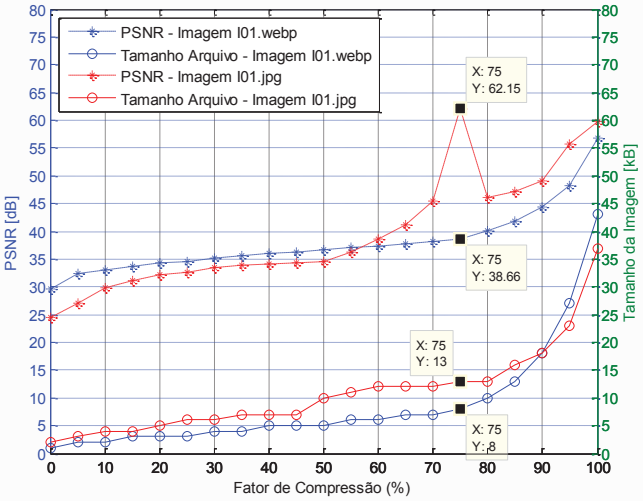


Fig. 10. Análise da imagem I01 em função do PSNR, do Tamanho do Arquivo e do Fator de Compressão.

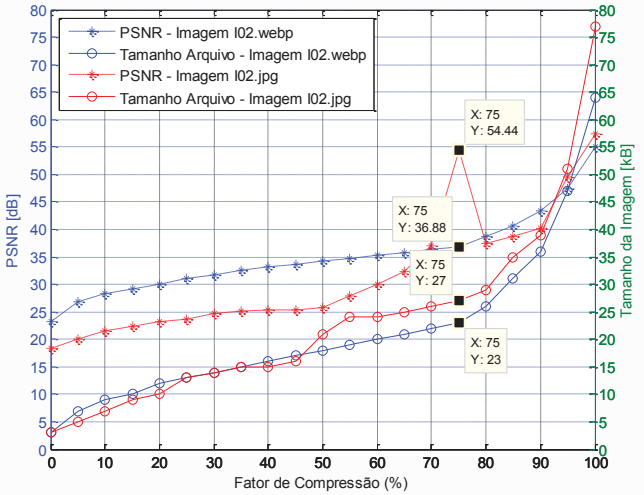


Fig. 11. Análise da imagem I02 em função do PSNR, do Tamanho do Arquivo e do Fator de Compressão.

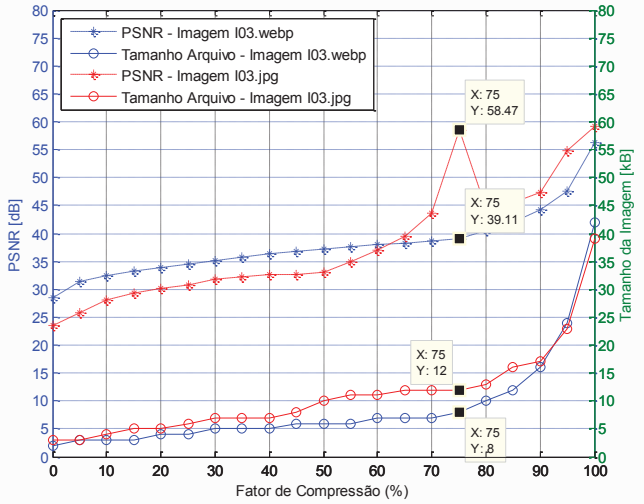


Fig. 12. Análise da imagem I03 em função do PSNR, do Tamanho do Arquivo e do Fator de Compressão.

B. Arquivo em Powerpoint

O programa PowerPoint da Microsoft é uma importante ferramenta na construção de documentos destinados às apresentações gráficas de instrução e aprendizado de um determinado tema. Assim, o seu estudo é necessário quando se decide utilizar essa ferramenta como meio de produção de conteúdo a ser transmitido por um dispositivo móvel, a exemplo do rádio digital. Portanto, foi definido um procedimento para viabilizar este estudo, com a montagem de arquivos em PowerPoint objetivando encontrar aquele que ocupasse o menor espaço em disco e mantivesse uma qualidade aceitável para a transmissão, por meio de um dispositivo com resolução de tela no formato de 320 × 240.

Assim foi criado um arquivo em PowerPoint sem qualquer informação inserida para se comparar com os arquivos preenchidos com as imagens. A esse arquivo vazio foi dado o nome de "PP_vazio_.pptx", com tamanho de 32 kB. Posteriormente foram criados arquivos com cada uma das imagens descritas na Tabela IV. O resultado dos arquivos em

PowerPoint com cada imagem pode ser observado na Figura 13.

TABELA IV
RESOLUÇÃO E TAMANHO DE IMAGENS UTILIZADAS NO POWERPOINT

Imagem	Formato	Resolução	Tamanho em disco em kB
I01	Bitmap	320×240	226
	GIF		58
	JPEG		13
	PNG		132
	Webp		8
I02	Bitmap	320×240	226
	GIF		72
	JPEG		27
	PNG		178
	Webp		23
I03	Bitmap	320×240	226
	GIF		50
	JPEG		12
	PNG		128
	Webp		8

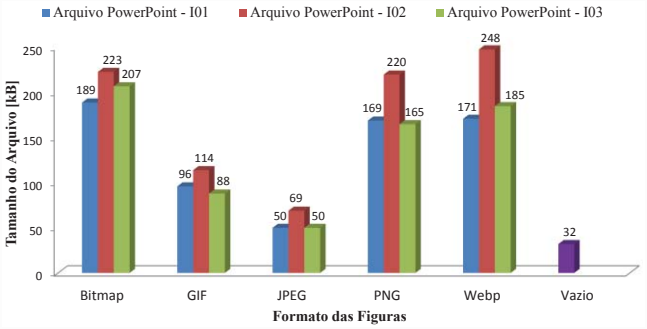


Fig. 13. Arquivos PowerPoint com figuras com resolução 320 × 240.

Da Figura 13 pode-se observar que os arquivos que cumpriram com o objetivo de menor ocupação de espaço em disco foram aqueles nos quais se inseriu imagens no formato JPEG.

Uma segunda análise foi realizada exportando os slides criados com imagens JPEG no PowerPoint (.pptx) para os formatos de figura JPEG, PNG, GIF e Webp. Com a exportação desses arquivos o objetivo era observar quais arquivos exportados apresentavam menor ocupação de espaço em disco. Os resultados podem ser analisados na Figura 14.

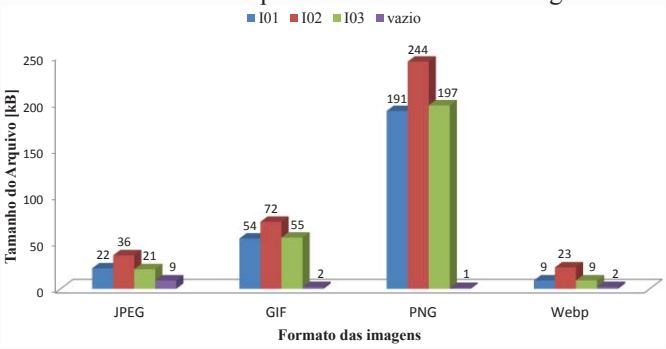


Fig. 14. Arquivos PowerPoint com figuras JPEG exportadas em imagens de resolução 960 × 720.

Observa-se que os arquivos PowerPoint exportados em formatos de imagens na resolução padrão do programa de 960 × 720 que cumprem com o objetivo procurado são os Webp, que foram criados a partir das imagens JPEG por meio do programa cwebp [10].

No entanto, todos os arquivos PowerPoint foram criados com as imagens ocupando apenas uma parte do slide, daí surge a necessidade de verificar qual seria o comportamento dos arquivos se as imagens inseridas ocupassem toda a área útil do slide. Para isso, os arquivos foram inseridos no slide e redimensionados para que ocupassem toda a área do slide. As imagens foram inseridas na resolução 512 × 384 no formato Bitmap e na resolução 320 × 240 no formato JPEG, conforme Figura 15.

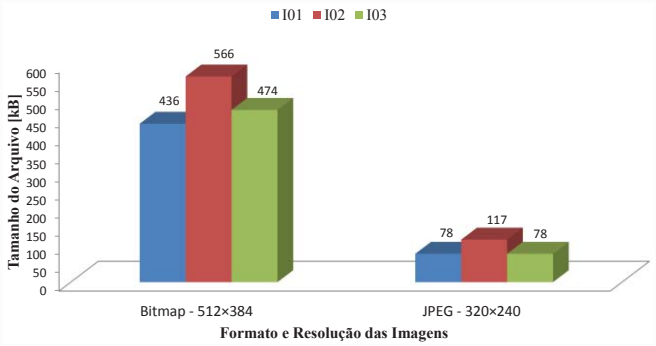


Fig. 15. Arquivos PowerPoint com figuras ocupando área total do Slide.

Após a construção dos arquivos em PowerPoint, eles foram exportados com formato de imagens JPEG, GIF, PNG, tendo sua resolução de exportação final alterada do padrão 960 × 720 para a resolução 320 × 240. O formato Webp foi obtido pela conversão do arquivo exportado em formato JPEG, por meio do programa cwebp. O resultado está ilustrado na Figura 16.

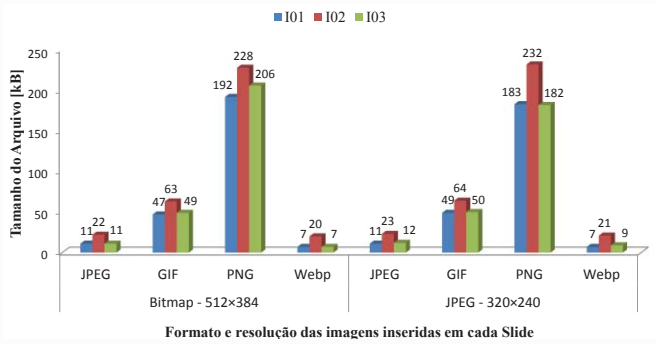


Fig. 16. Arquivos PowerPoint exportados como imagem de resolução 320×240.

Pode-se observar que, mesmo as figuras inseridas no formato Bitmap e resolução 512 × 384, que ocupam maior espaço em disco, quando inseridas em um arquivo PowerPoint e exportadas como imagens, ocupam menor ou igual espaço em disco que os arquivos aos quais foram inseridas imagens no formato JPEG e resolução 320 × 240. Com exceção das figuras 01 e 03 no formato PNG, o que representa uma amostra pequena desta relação.

Assim, conclui-se que, para chegar ao formato de arquivo do PowerPoint com resolução de 320 × 240 de melhor

desempenho para transmissão e características aceitáveis de qualidade, é necessária a inserção de imagens no formato JPEG, conforme Figura 15. Para estas condições, quando se trata de verificar a melhor imagem proveniente da exportação de um arquivo com origem no PowerPoint, observa-se que a resolução desta imagem inserida no Slide tem pouca influência no resultado final da exportação e conversão, desde que o arquivo final tenha o formato Webp, conforme Figura 16.

Para chegar aos resultados de menor resolução mostrados na Figura 16, foi necessário alterar a forma padrão de como o PowerPoint exporta os arquivos de imagens, essa alteração é feita na chave do registro do programa [11].

C. *Arquivo Fontes*

Seguindo a metodologia de se encontrar os arquivos em PowerPoint que ocupem o menor espaço físico em disco foi realizada a criação de slides apenas com caracteres alfanuméricos, seguindo a variação dos arquivos de fonte do Windows, nos tamanhos de 12, 18, 24, 36, 48, 60 e 72 de três fontes, são elas: Arial, Times New Roman e Broadway.

Os caracteres alfanuméricos inseridos em todos os arquivos foram: "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz" e "1234567890". Primeiramente foram criados arquivos PowerPoint (.pptx) e observado seus tamanhos em disco, conforme ilustra a Figura 17.

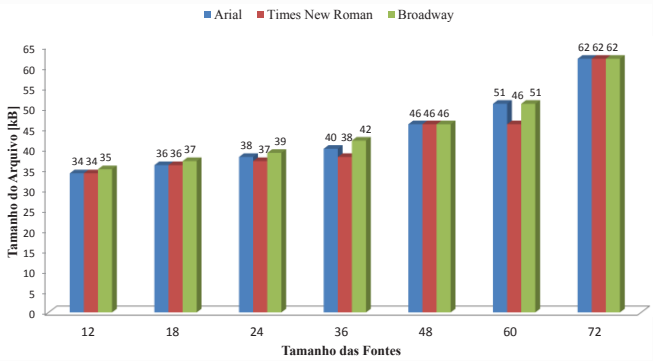


Fig. 17. Arquivos PowerPoint, Tipos e Tamanho de Fonte.

Após a criação dos arquivos em PowerPoint, os slides foram exportados no formato de figuras em JPEG, PNG, GIF e resolução 320 × 240. O formato JPEG foi convertido em Webp, com Fator de Compressão padrão de 75% utilizando o programa cwebp. O resultado é ilustrado na Figura 18, onde pode ser verificada a relação entre o tamanho do arquivo e a formatação das fontes em tamanho e tipo.

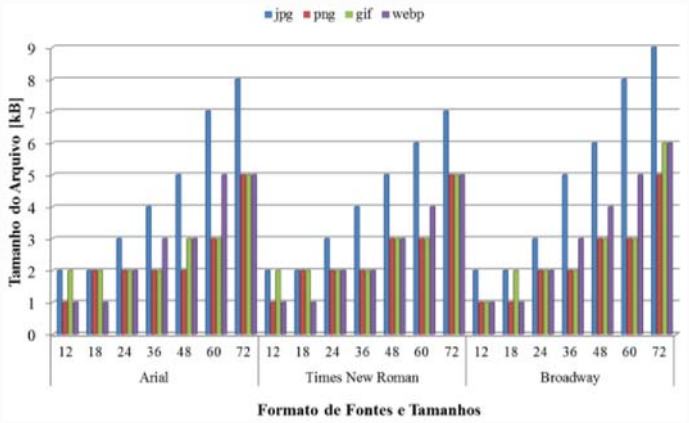


Fig. 18. Arquivos PowerPoint convertidos em imagens 320 × 240.

Nessa fase, conclui-se que os arquivos em PowerPoint, com apenas inserção de caracteres alfanuméricos, possuem uma alteração pequena quando se varia o tipo da fonte, sendo que a maior diferença ocorre quando se varia o tamanho da fonte. Essa relação também é verdadeira ao transformar estes arquivos em imagens.

Atualmente, o conteúdo em arquivos PowerPoint possui uma representação significante dentro do grupo de conteúdo multimídia direcionado a aprendizagem educacional. A sua transformação em imagem estática significa a perda de alguns recursos de interatividade deste programa, por exemplo, a animação. Por outro lado, representa grande ganho no que diz respeito ao tamanho final do arquivo, o que se mostra importante para a transmissão deste tipo de informação por meio do sistema apresentado.

IV. Plataforma para Testes

Para transmissão e recepção dos conteúdos analisados na seção III, foi implementada uma plataforma composta de três estágios, "Servidor de Conteúdo", "Sistema de Transmissão" e "Recepção", conforme ilustra a Figura19 [12].

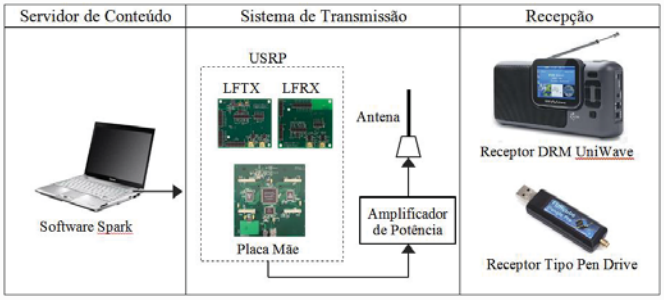


Fig. 19. Plataforma utilizada nos testes.

A. *Servidor de Conteúdo*

O Software Spark, além de Servidor de Conteúdo é um modulador DRM30, DRM+, FM e AM, que utiliza o conceito de Rádio Definido por Software – SDR (*Software Defined Radio*) para operar nas seguintes faixas de frequências: MF, HF e VHF. O SDR é um dispositivo de comunicação sem fio que possui parte de suas funções implementadas por software

em computador, em vez de usar componentes fixos de hardware [13]. Assim, é possível, utilizando o software, inserir vários tipos de serviços agregados ao áudio da emissora, mas sempre considerando as limitações da capacidade de transmissão de um sistema de comunicação digital [14]. A Figura 20 ilustra as telas de abertura do Spark e a configuração do Servidor de Conteúdo licenciado para os testes em OC no Brasil.

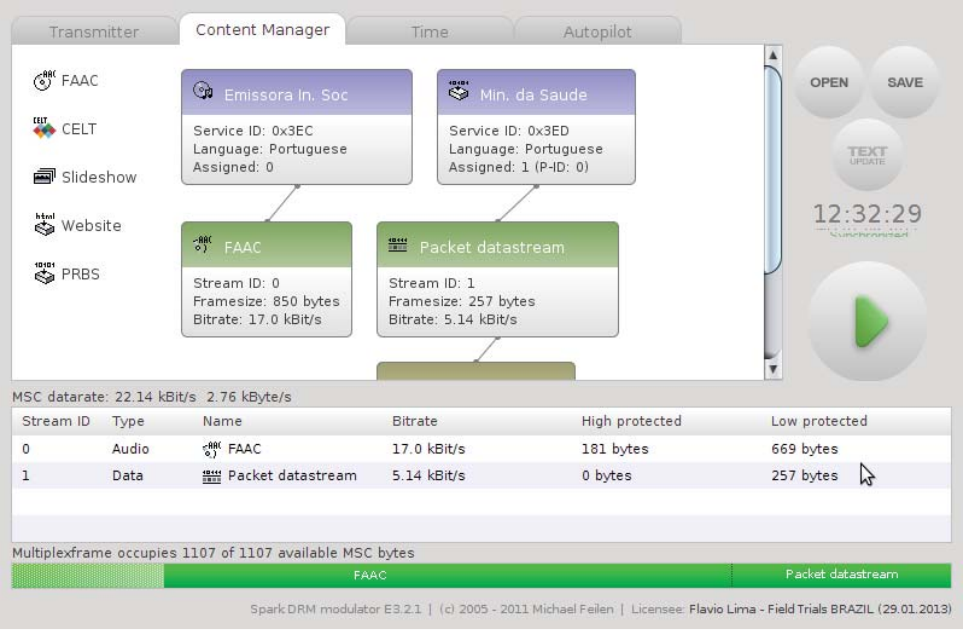


Fig. 20. Servidor de Conteúdo Spark.

B. *Sistema de Transmissão*

O Sistema de Transmissão tem como componente principal uma plataforma aberta de baixo custo, chamada de USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) [15], responsável pela segunda parte do processamento exigido em um sistema SDR, ou seja, transformar o processamento feito pelo software em Rádio Frequência – RF. Portanto, a USRP é formada por dois componentes principais: a placa mãe com conexão USB para comunicação com o computador, responsável pelas funções programáveis mais complexas, implementadas em uma Altera Cyclone FPGA (*Field Programmable Gate Array*), e duas placas filhas ou *daughterboards*, LFTX e LFRX, que contêm o módulo de radiofrequência, responsável pela sintonia da frequência central utilizada pelo dispositivo na transmissão e/ou recepção [16].

Devido às restrições impostas em cada país para a radiação de sinais não licenciados, cujo limite no Brasil é de 100 mW [17], a placa filha LFTX foi ajustada para disponibilizar em sua saída uma potência de apenas 2 mW, ou seja, de aproximadamente 3dBm. Assim, de maneira a obter um nível de sinal adequado à sensibilidade do receptor localizado a uma determinada distância do transmissor, foi colocado na saída da USRP um amplificador de potência, o *Ultra Linear PostAmp*, de 30 dB de ganho (de -10 dBm a +20 dBm), operando na faixa de frequência de 1 a 150 MHz e com potência máxima de saída de 100 mW [18]. Para irradiar o sinal, uma antena modelo CB-20 com ganho de 2,15 dB e VSWR≤1,5, operando em 27 MHz, foi acoplada ao amplificador de potência.

C. *Sistemas de Recepção*

Para recepção do sinal irradiado, foi utilizado um receptor comercial UniWave, modelo Di-Wave 100, que opera nas faixas de ondas médias, tropicais e curtas nos modos analógico e digital, e na faixa de FM apenas no modo analógico. O UniWave, além de prover o áudio como qualquer receptor convencional, foi desenvolvido para operar com o sistema DRM, sendo portanto um receptor multimídia capaz de decodificar textos, imagens estáticas e em movimento e vídeos. O receptor Di-Wave 100 permite a recepção de inúmeras imagens e conteúdos de dados no modo carrossel, o que significa que as imagens ficam à disposição do usuário durante todo o tempo em que o aparelho permanecer ligado, podendo ser salvas na memória interna do receptor ou em cartões de memória externos ao aparelho.

Concomitantemente foi implementado um receptor alternativo via computador utilizando um receptor de sinal RF FUNcube Dongle Pro+ Serial 13660 e o software Dream, que é gratuito, com mesmas funcionalidades do receptor UniWave além do recebimento de páginas da internet (arquivos em HTML) e monitoramento de parâmetros do sinal DRM tais como intensidade de campo elétrico, formato do espectro, constelações dos canais MSC, FAC e SDC, Densidade Espectral do Áudio, etc, conforme ilustra a Figura 20 [19].

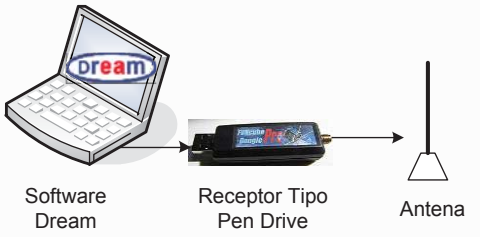


Fig. 21. Receptor alternativo implementado via computador.

V. Testes e Resultados

O critério adotado para se determinar o formato ideal da imagem a ser transmitida consistiu basicamente na economia de banda da transmissão, sendo adotado o formato que apresentou melhor relação entre a ocupação de espaço em disco e qualidade.

A. *Testes com Imagens e Áudio*

Para o formato de imagens, verificou-se que o padrão Webp para a transmissão era o mais adequado. No entanto, os codificadores disponibilizados na plataforma de teste não contemplavam o decodificador Webp. Assim, para a transmissão foi adotado o padrão de imagem JPG, qualificado em segundo lugar por meio dos mesmos critérios. A Tabela V apresenta a configuração utilizada no servidor de conteúdo.

TABELA V
Configuração no Servidor de Conteúdo para transmissão de imagens JPEG.

Configuração dos Dados		Configuração do Canal MSC	
Conteúdo	Tamanho em kB (kilo Byte)	Tipo	Taxa de Transmissão em kbps
I01.jpg	12,51	Áudio (AAC/FAAC)	16
I02.jpg	27,45	Pacote de Dados (Datastream)	5,54
I03.jpg	12,28	------	------

O tempo de recepção do pacote de áudio, foi praticamente instantâneo, sendo considerado apenas o tempo de processamento do sinal digital no decodificador. Já a recepção das imagens após o primeiro minuto de transmissão teve uma variação de 20 segundos, sendo a primeira imagem recebida pelo receptor UniWave após 1 minuto (1m00s) do início da transmissão, a segunda imagem após 1 minuto e 20 segundos (1m20s) e a terceira após 1 minuto e 40 segundos (1m40s). A Figura 22 ilustra a tela do receptor UniWave com as imagens recebidas.

Fig. 22. Tela do receptor UniWave.

B. *Testes com PowerPoint e Áudio*

Para o formato de arquivos PowerPoint, convertidos em imagens, novamente o padrão melhor qualificado foi o Webp, mas pelas mesmas razões encontradas nos testes de transmissão das imagens, foi adotado o padrão JPEG para a transmissão, mantendo a configuração apresentada na Tabela V.

Após a transmissão do pacote de informações, o tempo de recepção das imagens foi de 50 segundos (50s) para a recepção da primeira imagem, 1 minuto e 10 segundos (1m10s) para a segunda imagem e 1 minuto e 30 segundos (1m30s) para a terceira.

Para o formato de arquivos PowerPoint, convertido em imagens, com as fontes em caracteres alfanuméricos, o formato de arquivo melhor qualificado foi o PNG. Após a transmissão do pacote de informações com o tipo de fonte de Times New Roman e tamanho 36, o tempo de recepção das imagens foi de 04 segundos (04s) para a recepção da primeira imagem, 08 segundos (08s) para a segunda imagem e 12 segundos (12s) para a terceira.

C. *Testes com Página HTML e Áudio*

Por último, um pacote de dados (MOT Website) foi utilizado para transmissão de uma página HTML, contendo texto e imagem, conforme ilustra a Figura 23. Adicionalmente, foi incluído o áudio utilizado em todos os outros testes. A Tabela VI detalha a configuração utilizada. Na recepção, foi utilizado um receptor alternativo de maneira a verificar a recepção da página HTML, bem como a sua funcionalidade.

TABELA VI
Configuração no Servidor de Conteúdo para transmissão de imagens e páginas HTML.

Configuração dos Dados		Configuração do Canal MSC	
Conteúdo	Tamanho em kB	Tipo	Taxa de Transmissão em kbps
I01.jpg	12,51	Áudio (AAC/FAAC)	14
I02.jpg	27,45	Pacote de Dados para	5,54

		Imagens (Datastream)	
I03.jpg	12,28	Pacote de Dados para Páginas HTML (Datastream)	2,56
Página HTML	13	------	------

Fig. 23. Página HTML transmitida no DRM30.

Os pacotes transmitidos tiveram como resultado de recepção no software descrito, os seguintes tempos de recepção: Áudio sete segundos (07s), página HTML index cinquenta segundos (50s), Imagem 01 1 minuto e vinte e seis segundos (1m26s), Imagem 02 1 minuto e cinquenta e dois segundos (1m52s) e, Imagem 03 2 minuto e 28 segundos (2m28s).

A diferença entre os tempos de recepção e decodificação do áudio do primeiro teste utilizando o receptor UniWave e o segundo teste utilizando o receptor via software DREAM pode se atribuída ao tempo de processamento requerido por cada setup de recepção. Sendo assim, essa variação nos tempos de recepção era esperada devido ao processamento digital e à capacidade de processamento distinta de cada sistema de recepção.

VI. Considerações Finais

Este artigo apresentou os resultados da avaliação de algumas ferramentas utilizadas nos serviços multimídia, identificando o uso mais adequado para o desenvolvimento de conteúdos a serem utilizados no serviço de radiodifusão digital na faixa de ondas curtas, levando em consideração as melhores características técnicas para a produção do conteúdo a ser transmitido em tecnologia de banda estreita.

Dentre os formatos de imagens apresentadas e testadas, identificou-se que o padrão Webp possui o comportamento mais adequado dentre os avaliados para ser utilizado na transmissão de tecnologia de banda estreita. Arquivos com menores ocupações físicas em Byte, e com degradação não perceptível ao usuário em relação à imagem original, farão melhor uso da banda do sistema DRM30 e, consequentemente reduzirão o tempo de transmissão. No entanto, o DRM30 não contempla o decodificador Webp no receptor UniWave utilizado nos testes. Nesse caso, dentre os analisados, o padrão JPEG deve ser utilizado. Por outro lado, no tratamento de página HTML utilizando o Navegador Google Chrome para visualização do conteúdo recebido, o uso de imagens Webp é recomendável.

Adicionalmente, verificou-se que, no uso de arquivos originalmente gerados em PowerPoint, os slides devem ser exportados para o formato JPEG. Caso o DRM30 venha a contemplar o decodificador Webp, recomenda-se que o arquivo PowerPoint no formato JPEG passe por mais uma etapa de conversão, ou seja, de JPEG para Webp, obtendo assim o melhor uso da largura de banda disponível sem perda de qualidade perceptível ao usuário.

Diante dos resultados apresentados nesse artigo, o serviço em Ondas Curtas ressurge como uma nova alternativa para a inclusão social, principalmente em áreas remotas, possibilitando entreter e informar cidadãos, além de possibilitar a educação a distância, em localidades onde outros meios de comunicações não estão presentes ou acessíveis a uma parcela da população.

Finalmente, cabe salientar que outras análises deverão ser desenvolvidas, de maneira a identificar demais ferramentas não contempladas nesse trabalho, por exemplo, transmissão de vídeo e de aplicativos. Adicionalmente, pesquisas para elaboração e/ou adaptação de metodologias atualmente utilizadas por outros meios de comunicação devem ser testadas, sempre considerando as limitações da tecnologia do serviço em OC em relação à largura de banda e à transmissão simplex. Assim, surgem novos desafios para os profissionais da área de educação, informática, engenharia, entre outras.

Referências

[1] ETSI TS 101 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v1.1.1, 2001.

[2] Rec. ITU-R BS.1514-1: “Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz”, 2002.

[3] ETSI ES 201 980 V4.1.1. “Digital Radio Mondiale (DRM), System Specification”, 2014-01.

[4] M. Dietz, L. Liljeryd, K. Kjorling and O. Kunz. “Spectral Band Replication, a novel approach in audio coding,” in Proc. Audio Engineering Society, Munich, Germany, May 2002. Available: http://129.97.134.72:8888/000225.PDF.

[5] Dietz, M. e Meltzer, S, “CT-aacPlus – A state-of-the-art audio coding system”, EBU Technical review N°291, 2002.

[6] Apresentações do Conselho Consultivo do Rádio Digital, “Mapeamento dos serviços e dos aplicativos disponíveis no Digital Radio Mondiale”. Available: http://www.mc.gov.br/radiodifusao/acoes-e-programas/radio-digital/251-temas/radio-digital/26495-apresentacoes-da-reuniao-do-conselho-consultivo-do-radio-digital-no-dia-28-de-fevereiro.

[7] N.Ponomarenko, M.Carli, V.Lukin, K. Egiazarian, J. Astola, F. Battisti, “Tampere Image Database 2008 TID2008”, version 1.0. Available: http://ponomarenko.info/tid2008.htm.

[8] Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh and E.P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity,"IEEE Transactions on Image Processing, vol.13, no.4, pp. 600- 612, April 2004.

[9] Z. Wang, E. P. Simoncelli, and Alan B. Bovik, "Multi-Scale Structural Similarity for Image Quality Assesssment,"Proceedings of the 37th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, Nov. 9-12, 2003.

[10] Available: https://developers.google.com/speed/webp/download?hl=pt-BRZ.

[11] Available: https://support.microsoft.com/pt-br/kb/8277451111111.

[12] A.A Menezes, F. F. Lima, J. G. Silva, R. S. Motta, P. J. G. Mata; R. S. Almeida, R. F. S. Araújo, “Desenvolvimento de uma Plataforma para Estudos da Inclusão Social em Áreas Remotas por Meio da

Radiodifusão Digital na Faixa de Ondas Curtas", Anais do Conic-Semesp, Volume1, 2013, ISSN 2357-8904.
[13] J. Mitola, "The software radio architecture. Communications", Magazine, IEEE, p. 26 –38, 1995.
[14] Leon, W. C, "Digital & Analog Communication Systems", 6 Edition, January 2001.
[15] Ettus, M. Universal Software Radio Peripheral, 2009. Available: http://www.ettus.com.
[16] P. Balister. & J. Reed, "USRP Hardware and Software Description", Virginia Tech Edition, June 2006.
[17] Anatel, Regulamentos. Available: http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do.
[18] PostAmp, "Ultra Linear PostAmp," Edition 08/2009. Available: http://www.nti-online.de/ePostAmp1-150.htm.
[19] Dream, "DRM Receiver". Edition 08/2009. Available: http://sourceforge.net/projects/drm/.

Hebert Santos recebeu o título de Especialista em TV Digital, Radiodifusão e Novas Mídias de Comunicação Eletrônica pela Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, em 2014 e a Graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, em 2006.
Em 2006 ingressou na carreira pública do Poder Executivo Federal no cargo de Engenheiro Eletricista, atuando em funções de Direção e Assessoramento Superior, ao longo do tempo integrou Grupos de Estudos e Normas Técnicas de Radiodifusão, Grupo Permanente de Estudos de Radiointerferência, Comitê de Tecnologia da Informação e do Grupo de Execução e Acompanhamento dos testes dos padrões de Rádio Digital.

Amanda Abreu Menezes Graduada em Sistema de Telecomunicações pela Faculdade Facnet em 2006, e em Pedagogia pela mesma Faculdade em 2014. Recebeu o título de Especialista em Redes de Telecomunicações pela Faculdade Anhanguera unidade FACNET, Brasília, Brasil, em 2009. Atualmente é professora e coordenadora do Curso de Pedagogia na Faculdade Anhanguera e Mestranda na Nihon Gakko University (Ciudad del Lest, Paraguai). Sua área de pesquisa é voltada para novas tecnologias de radiodifusão digital aplicada à educação à distância.

Gilvandson Costa Cavalcante Graduado em Engenharia Eletrônica pela Universidade de Brasília (UnB) em 2014. Atualmente é Mestrando na mesma universidade, e servidor público federal do Ministério das Comunicações.

Sidnei Baumann recebeu o título de Mestre em Ciências da Educação pela Universidade Tecnológica Intercontinental Ciudad del Lest, Paraguai, em 2010, e o título de Doutor da Universidade Nihon Gakko, Ciudad del Lest, Paraguai, em 2014. Atualmente é professor da Universidade Nihon Gakko e desenvolve pesquisa sobre novas plataformas tecnológicas voltadas à educação à distância.

Flávio Ferreira Lima recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília, Brasil, em 2002 e o título de Doutor da mesma universidade em 2008 na Área de Radiodifusão Digital. Atualmente é professor da Faculdade Anhanguera em Brasília, Brasil, e colaborador das Universidades Nihon Gakko, Ciudad del Lest, Paraguai e Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, e engenheiro do Ministério das Comunicações, Brasília, Brasil. Sua área de pesquisa é voltada para novas tecnologias de radiodifusão, incluindo DRM (*Digital Radio Mondiale*), HD Radio System e ISDB-T (*Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial*).

Cite this article:
Santos,H., A. Menezes, A., C. Cavalcante,G., Baumann, S., F. Lima, F.; 2015. Análise de Conteúdo Multimídia para Radiodifusão Digital Operando na Faixa de Ondas Curtas. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1.doi: 10.18580/setep.2015.1.5 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.5

Técnicas de Projeto para Atendimento aos Requisitos de Cobertura de Estações de FMs

Paulo E. R. Cardoso
Yuzo Iano
Silvio R. M. Carvalho
Hermes J. Loschi
Rafael F. Pinheiro
Thiago V. Silva

Técnicas de Projeto para Atendimento aos Requisitos de Cobertura de Estações de FM

Paulo E. R. Cardoso, *Member, IEEE*; Yuzo Iano, Senior *Member, IEEE*; Silvio R. M. Carvalho, *Member, IEEE*; Hermes J. Loschi, *Member, IEEE*; *Rafael F. Pinheiro e Thiago V. Silva*

***Abstract*—Presents the assessment of 16 FM stations coverage held in the metropolitan region of São Paulo, pointing methodologies for prediction and measurement adopted by Anatel, analyzing the coverage gaps and showing, by simulations, the variations that the design features can causing to the coverage of a station, directly linked to the quality of service.**

***index*—coverage, fitting, design, siganatel**

***Resumo*—Apresenta a avaliação da cobertura em 16 estações de FM na região metropolitana de São Paulo, mostrando as metodologias de predição e de medição da cobertura adotadas pela Anatel, analisando as falhas de cobertura e mostrando, por meio de simulações, que alterações nas características de projeto podem alterar a cobertura, diretamente ligada à qualidade do serviço prestado.**

***Palavras Chave*—cobertura, enquadramento, projeto, siganatel**

I. Introdução

Os Serviços de Radiodifusão devem ser livre, direta e gratuitamente recebidos pelos usuários. O poder concedente leva em conta, dentre outros itens, a área de cobertura e a população atendida quando da outorga destes serviços, cabendo à Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel - a aprovação e fiscalização das características técnicas das estações, garantindo a prestação do serviço de acordo com os parâmetros determinados pela legislação. Neste cenário, as entidades prestadoras dos serviços estão obrigadas a manter as instalações de suas estações em condições de atendimento aos requisitos dos Regulamentos Técnicos.

O Ministério Público Federal - MPF - solicitou a Anatel uma verificação em 16 estações do serviço de radiodifusão em frequência modulada, na região metropolitana de São Paulo. Os resultados desta atividade de fiscalização podem ser obtidos no Relatório [1], onde foi verificado que 12 das 16 estações não cumprem os critérios de cobertura determinado pelo Regulamento Técnico [2]. As avaliações foram embasadas nas predições de cobertura, determinadas pela Recomendação UIT-R P.1546 [3], confrontadas com medições de intensidade de campo elétrico, de onde foi possível determinar se as coberturas reais das estações atendiam ao regulamento técnico.

Este artigo tem por objetivo apresentar as causas do não atendimento ao regulamento e das diferenças entre a intensidade de campo elétrico predita e medida, bem como alertar aos engenheiros de radiodifusão como as características de projeto afetam diretamente os parâmetros de cobertura da estação.

P. E. R. Cardoso é doutorando em Engenharia Elétrica, atuando no Laboratório de Comunicações Visuais, do Departamento de Engenharia de Comunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Estadual de Campinas (perc@decom.fee.unicamp.br).

Y. Iano é professor e coordenador do Laboratório de Comunicações Visuais, do Departamento de Engenharia de Comunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Estadual de Campinas (yuzo@decom.fee.unicamp.br).

S. R. M. Carvalho é pesquisador no Laboratório de Comunicações Visuais, do Departamento de Engenharia de Comunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Estadual de Campinas.

H. J. Loschi é mestrando em Engenharia Elétrica, atuando no Laboratório de Comunicações Visuais, do Departamento de Engenharia de Comunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Estadual de Campinas eng.hermes.loschi@ieee.org).

R. F. Pinheiro e T. V. Silva são Técnico em Regulação na Coordenação de Fiscalização 3, da Gerencia Regional da Agência Nacional de Telecomunicações, em São Paulo.

II. Procedimentos de avaliação

Para a efetiva operação das estações de radiodifusão, os regulamentos técnicos de cada serviço determinam as condições para a prestação do serviço. Primeiramente é verificado se o canal desejado pode ser incluído no Plano Básico, implicando em uma operação livre de interferências com os canais existentes. Em seguida é analisado se o canal desejado cumpre os critérios mínimos de cobertura para o município de outorga. Por fim, é verificado se as condições de projeto se enquadram no canal do Plano Básico.

Utilizando a Unidade Móvel de Radiomonitoragem, a Anatel realiza medições para verificar remotamente os parâmetros das estações de radiodifusão. Dentre os parâmetros avaliados esta a intensidade de campo elétrico, de onde é possível obter a cobertura da estação.

A. Predição da Cobertura

A Anatel utiliza as curvas de propagação da Recomendação UIT-R P.1546 [3], que é um método de predição ponto-área e que determina a distância máxima que cada intensidade de campo pode ser atingida levando-se em conta a frequência, a potência de transmissão e a altura do sistema irradiante sobre o nível médio do terreno.

A Recomendação UIT-R P.1546 [3], em seu anexo 5, apresenta diversas correções que podem ser necessárias para uma melhor predição da cobertura de uma estação. Utilizando-se destas correções pode-se obter uma predição de cobertura mais próxima da realidade. A Fig. 1 apresenta a estimativa de

cobertura de uma estação, compensada pela rugosidade do terreno, nas características máximas para o canal.

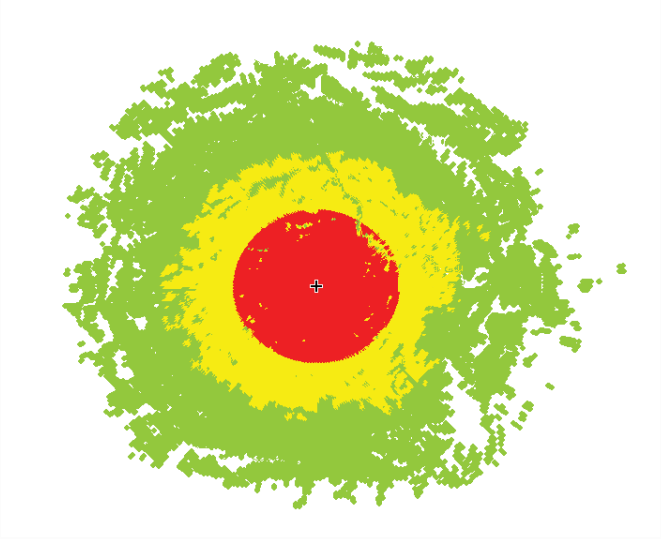


Fig. 1. Cobertura de uma estação, corrigida pelo terreno

Na situação apresentada na Fig. 1 temos as manchas de cobertura dos contornos de 74, 66 e 54 dBµV/m, em vermelho, amarelo e verde, respectivamente. De acordo com o Regulamento Técnico [2], a mancha em amarelo corresponde ao Contorno Protegido da estação, e indica os locais onde o serviço deve ser prestado com qualidade, isto é, livre de interferências. Observe que há granulação nestas manchas devido ao relevo e em algumas direções observa-se uma redução significativa nas distâncias. Devem-se considerar ainda os efeitos da potência efetiva irradiada e do diagrama de irradiação da antena, que com exceção da direção de máxima irradiação, atenua os sinais da estação.

A localização do sistema de transmissão é essencial, tanto que situações onde o sistema de transmissão se localiza fora do município de outorga somente são autorizadas excepcionalmente, e quando esta condição melhora a recepção no município de outorga.

Objetivando de atender com qualidade o município de outorga, os regulamentos determinam intensidades de campo mínimas para as regiões central e urbana do município. E toda emissora deve planejar seu sistema de transmissão focada neste requisito. No Serviço de FM a sede do município de outorga, que geralmente é a localização da prefeitura municipal, deve ser coberta pela intensidade de campo de 74 dBµV/m e a maior parte da área urbana pela intensidade de campo de 66 dBµV/m.

A simulação de cobertura na Fig. 2 mostra um exemplo em que estas condições são atendidas. Em vermelho esta o contorno de 74 dBµV/m e em amarelo o de 66 dBµV/m. Observe que a sede do município está contida no contorno de 74 dBµV/m e a área urbana, destacada em laranja, está contida no contorno de 66 dBµV/m. A linha amarela não ultrapassa em nenhum ponto a linha em azul, que é o contorno de 66 dBµV/m teórico do Plano Básico, indicando que a estação não extrapolou os limites do canal, atendendo os requisitos. Neste caso, a propagação é calculada para cada radial, levando-se em conta a altura sobre o nível médio da radial, a potência efetivamente irradiada e o diagrama da antena.

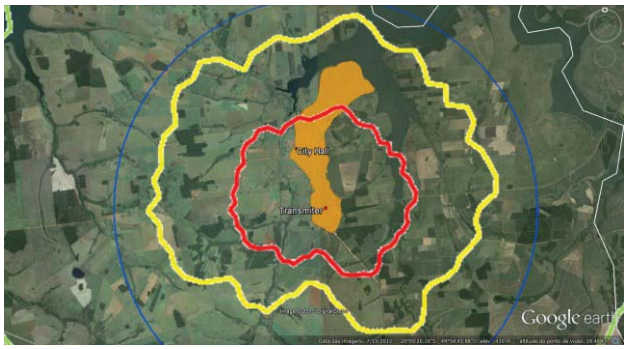


Fig. 2. Cobertura de acordo com os requisitos o regulamento técnico

A simulação apresentada na Fig. 2 é realizada com as características de projeto da estação. A diferença entre o contorno teórico, em azul, e a cobertura simulada, em amarelo, é provocada primariamente pelo relevo, e secundariamente pelas características de projeto da estação. Porém, o projeto pode ser realizado de forma a compensar as atenuações provocadas pelo relevo, e é esta discussão que será feita neste trabalho, de forma a poder contribuir com a melhora no desempenho da cobertura das estações de radiodifusão.

B. Procedimento de Medição

Para verificar os requisitos de cobertura das estações de FM, foi executado um procedimento para a medição da intensidade de campo. Para cada estação foram medidos, quando possível, três pontos na região central do município de outorga (P3, P4 e P5), sendo um na sede; em relação ao transmissor: dois pontos, mais e menos distantes, do limite urbano (P2 e P6) e; dois pontos, mais e menos distantes, do limite do município (P1 e P7). O valor obtido é a média aritmética de 100 medidas consecutivas.

A Unidade Móvel de Radiomonitoragem foi programada conforme o setup para a realização de medidas que está apresentado na Tabela I, extraída do Procedimento [4].

TABELA I CONFIGURAÇÕES DE MEDIDA

JANELA DE FREQUÊNCIA FIXA		JANELA DE PARÂMETROS MEDIDAS UIT	
CAMPO	**AJUSTE**	**CAMPO**	**AJUSTE**
Frequência	Frequência avaliada	**Arquivos de salvaguarda**	Nome do arquivo
Antena	UMR – ANT184A	**Tipo de Medidas**	Completa
Squelch	6 dB S/R	**Referência 0 dB**	Raia Máxima
Demodulação	F3E	**Modo de Medidas**	Ciclos
Ganho de RF	Normal	**Ciclos**	FN=100
Filtro FI	FN=100 KHz		M/LB= 500
	M/LB= SEM	**FFT / Resolução**	1024
Filtro B. Larga	FN= SEM	**FFT / Janela**	Blackman – Harris
	M/LB= 300kHz	**Filtro Video / Passa-baixa**	Sem
Filtro broadcast	Não habilitado	**Filtro Video / Passa-alta**	300 Hz
Controle Ganho	Médio	**Limiar X dB 1**	M= 15 dB
COR	Inativo	**Limiar X dB 2**	LB= 26 dB
		Razão B	-

LEGENDA: M/LB= Medidas de Modulação e Largura de Banda,
FN= Medidas de Frequência e Nível,
S/R= Relação Sinal Ruído;

III. Resultados

A. Localização das Estações

Primeiramente a atividade de fiscalização localizou os pontos onde os sistemas irradiantes das estações estavam instalados. Foi confirmado que todas as 16 estações estavam fora do município de outorga. A Tabela II apresenta os municípios envolvidos com as distâncias entre a sede do município de outorga e o local de instalação do transmissor.

TABELA II Municípios e Distâncias

Distâncias de Deslocamento		
Município de Outorga	***Local de Instalação***	***Distância (km)***
Aruja	São Paulo	38,9
Aruja	Mogi das Cruzes	15,4
Atibaia	Mairiporâ	20,3
Diadema	São Paulo	14,7
Diadema	São Paulo	12,7
Guarulhos	São Paulo	16,6
Itanhaem	S. B. do Campo	38,3
Itapecerica da Serra	São Paulo	25,5
Itapecerica da Serra	São Paulo	24,9
Itatiba	Jundiaí	32,1
Mogi das Cruzes	São Paulo	48,1
Osasco	São Paulo	15,7
Osasco	São Paulo	13,7
Santo André	São Paulo	16,4
Santo André	São Paulo	15,2
São José dos Campos	Mogi das Cruzes	46,3

O MPF solicitou o acompanhamento de cobertura, pois nenhuma das 16 estações possui o sistema irradiante no município de outorga. Não cabe aqui discutir se estas emissoras possuem ou não autorização para instalação fora do município de outorga, somente se, nesta condição de instalação, os parâmetros de cobertura são atendidos. A Fig. 3 mostra os municípios envolvidos nesta atividade. Em verde estão os municípios onde as estações possuem outorga, em vermelho os municípios onde as estações estavam realmente instaladas, e em laranja, um caso particular, onde a estação que tinha outorga mudou-se para outro município e uma estação de outro município instalou-se.

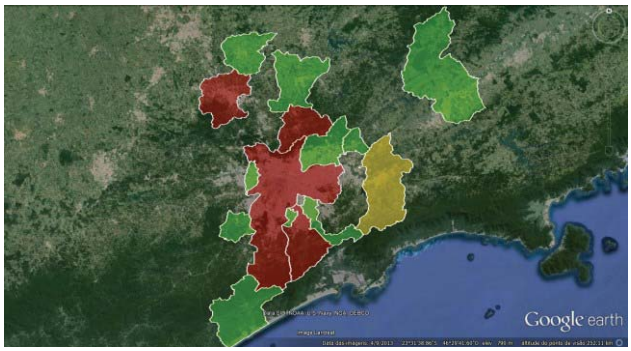


Fig. 3. Municípios envolvidos.

B. Diferenças entre as Áreas de Cobertura

A primeira análise a ser feita com a constatação da instalação fora do município de outorga é verificar o quão diferente é a área de cobertura. Neste caso foram plotadas as circunferências para o contorno protegido teórico do Plano Básico, com a estação localizada no município de outorga, em verde e no local real de instalação, em vermelho. As Fig. 4 e 5 apresentam esta análise.

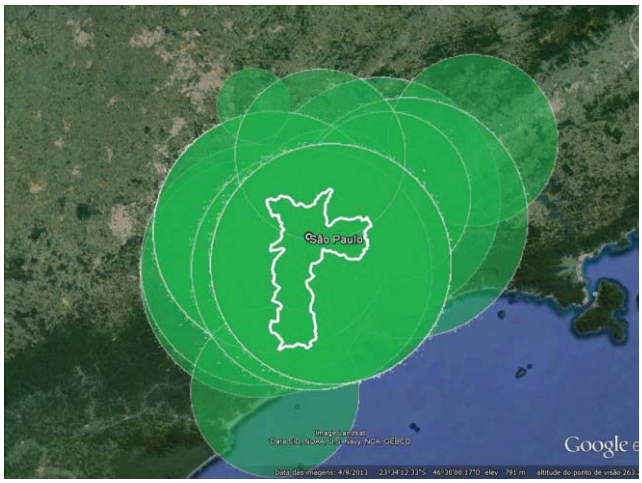


Fig. 4. Contorno Protegido Teórico, estações no município de Outorga.

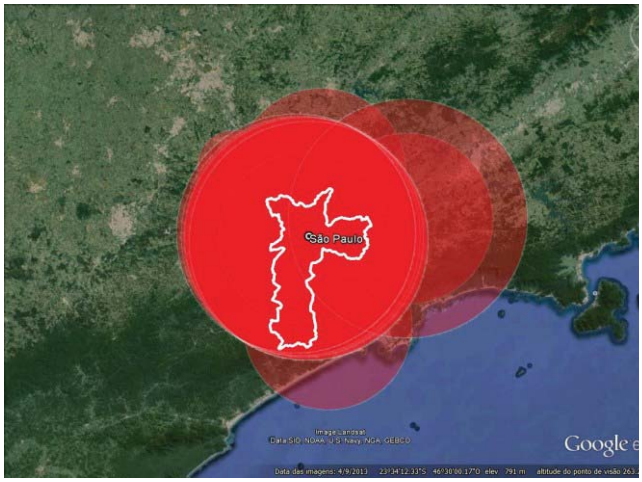


Fig. 5. Contorno Protegido Teórico, estações no local de instalação real.

Observa-se que a região de interesse de grande parte das estações envolvidas nesta atividade de fiscalização é o município de São Paulo e os dados da Tab. II corroboram com esta constatação, sendo que 11 das 16 estações estavam instaladas no município de São Paulo.

C. *Avaliação das Coberturas*

Foram simuladas as manchas de cobertura de cada estação, tendo como parâmetro o local de instalação real e as características de Plano Básico. Foram feitas as correções em relação ao terreno, de acordo com a Recomendação UIT-R P.1546 [3]. Nestas condições é possível avaliar qual seria a cobertura máxima teórica da estação e qualquer diferença pode ser tratada como uma infração ao regulamento técnico, provocada pelas características de projeto e instalação.

Posteriormente foram confrontadas as medições em campo com as predições de cobertura. Foi elaborada uma tabela de avaliação para cada estação e com base nesta análise pode-se determinar se a estação atende ou não os requisitos do Regulamento Técnico [2]. A Tabela III exemplifica a analise para uma das estações.

TABELA III AVALIAÇÃO DA COBERTURA

Exemplo de avaliação de uma Estação			
Ponto	***Previsto (dBµV/m)***	***Medido (dBµV/m)***	***Situação***
P1	NC	44,72	NA
P2	66	61.33	N
P3	74	72.67	N
P4	66	49.23	N
P5	74	78.96	A
P6	NC	---	---
P7	NC	50.93	NA

NC – Não Previsto NA – Não se Aplica N – Não Atende A - Atende

Dos sete pontos avaliados, apenas quatro (P2, P3, P4 e P5) tem intensidade de campo mínima determinadas pelo regulamento, sendo que três (P2, P3 e P4) não atenderam os requisitos de cobertura. Assim, entendeu-se que a estação não cumpre o Regulamento Técnico. O mesmo ocorreu com mais 11 estações das 16 avaliadas [1].

A Anatel tem a função de fiscalizar e autuar as entidades, cabendo à equipe técnica da entidade fiscalizada, no caso de uma irregularidade, buscar as causas e soluções pertinentes para a eliminação da irregularidade.

D. *Diferenças entre a Predição e a Medição*

Cabe discutir a respeito das diferenças entre as predições de cobertura e as medições. De modo geral, apenas 29 dos 88 pontos medidos apresentaram uma intensidade de campo superior ao previsto. A Fig. 6 mostra as avaliações para os 88 pontos, que abrangeram as 16 estações.

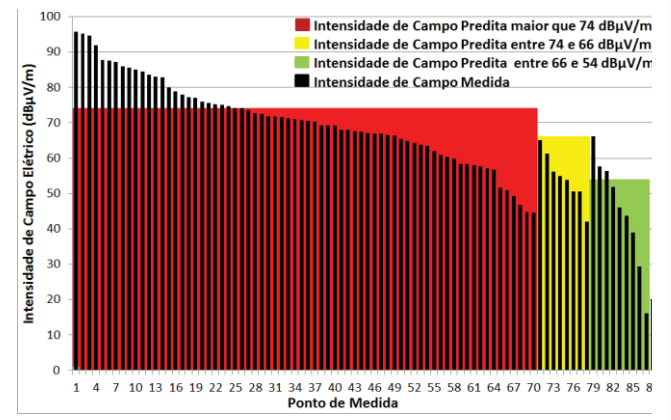


Fig. 6. Diferenças entre a Predição e a Medição.

A maioria das emissoras envolvidas é de classe especial, isto é, tem potencia de operação superior aos 50 kW e raio de cobertura superior aos 40 km. Desta forma, apesar do sistema irradiante estar fora do município de outorga, a quase totalidade dos municípios estaria coberta pelo campo de 74 dBµV/m. Na Fig. 6 observa-se que dos 88 pontos, 70 estão com previsão de campo elétrico superior a este valor, fundo em vermelho.

Analisando as diferenças entre as coberturas previstas e medidas, principalmente na maioria dos pontos que está abaixo da intensidade de campo prevista, podemos analisar quais são as causas deste não atendimento. A seguir são apresentadas algumas simulações que podem demonstrar que as características de projeto e de operação contribuem de forma significativa para este fenômeno.

IV. SIMULAÇÕES DE PROJETO DE UMA ESTAÇÃO

Diversos fatores podem modificar a cobertura de uma estação de radiodifusão além do relevo. Como citado anteriormente, o local de instalação, o diagrama da antena, a potencia irradiada e a altura do sistema irradiante são fundamentais para uma boa cobertura.

Para demostrar isto, foi utilizado o SIGAnatel [5] e [6] para simular uma estação de FM, no canal 250 (97,9 MHz), classe A4, no município de Campinas/SP. A potência de transmissor de 1,0 kW; altura do centro de fase da antena de 65 m; ganho da antena de 3 dB, comprimento da linha de transmissão de 70 m, com atenuação de 0,4 dB/100m; e demais perdas de 1 dB.

Em Campinas/SP há dois locais onde se concentram as estações de radiodifusão, o bairro São Gabriel (22ºS 56’ 37” / 47°W 01’ 50”) e o bairro Castelo (22ºS 53’ 24” / 47°W 04’ 37”). Inicialmente foi simulada a cobertura com o diagrama omnidirecional teórico nestes dois locais para que somente os efeitos do terreno fossem observados e a partir deste resultado, escolhido o local para as demais simulações.

TABELA IV COBERTURA PELA COORDENADA GEOGRÁFICA

Comparação de Cobertura		
Local	***São Gabriel (km²)***	***Castelo (km²)***
Área de Cobertura	1.100,43	1.074,21

Com as características de projeto das duas estações idênticas, apenas alterando-se a coordenada geográfica dentro do município de Campinas, obteve-se o melhor resultado, apesar da pequena diferença, no São Gabriel, Tabela IV. Nestas condições foi possível obter uma cobertura que atende aos requisitos de enquadramento do Regulamento Técnico [2], isto é, não há extrapolação em nenhuma radial. A Fig. 7 apresenta o resultado desta simulação.

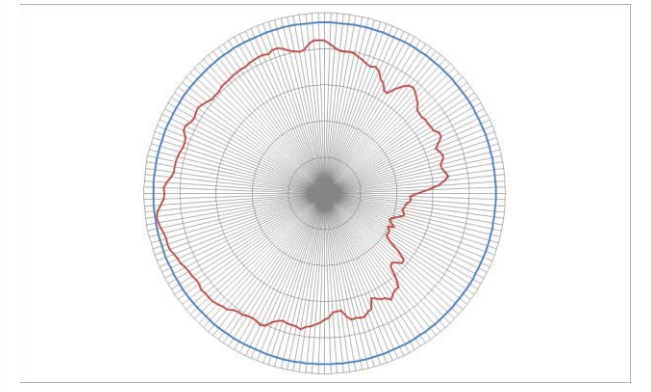


Fig. 7. Simulação de Cobertura – Referência do Terreno.

Pode-se observar a grande perda da cobertura provocada pelas irregularidades do terreno. A área de cobertura resultante, em vermelho, é 62,50% da área da circunferência teórica, em azul, de uma emissora classe A4.

Partindo-se para casos reais, foram simuladas as coberturas para duas antenas comerciais [7] e [8] com diagramas de irradiação diferentes, apontadas para o norte verdadeiro (0º NV). Tomando-se como referencia a simulação com a antena omnidirecional teórica, obtiveram-se os seguintes resultados, apresentados na Tabela V.

TABELA V COBERTURA PELO DIAGRAMA DA ANTENA

Comparação de Cobertura		
Diagrama	***Referência***	***Teórico***
Omnidirecional	100 %	62,50 %
Antena 1	95,76 %	59,85 %
Antena 2	88,98 %	55,61 %

Com as simulações destas duas antenas, comparando-se com a cobertura de referência da antena omnidirecional verificam-se perdas de 4,24 e 11,02% da cobertura. Em relação à cobertura ideal do canal, as perdas foram de 2,65 e 6,89 %. Estas perdas podem ser reduzidas alterando-se o apontamento da antena.

Foram simulados os apontamentos onde a máxima irradiação do diagrama era direcionada para a radial de menor propagação (110º), que no caso seriam os azimutes 185º NV e 25 º NV para [7] e [8], respectivamente. Do mesmo modo, simularam-se os apontamentos onde a máxima irradiação do diagrama era direcionada para a radial de maior propagação (260º), que no caso seriam os azimutes 335º NV e 175 º NV para [7] e [8], respectivamente. Os resultados destas simulações estão na Tabela VI.

TABELA VI COBERTURA PELO AZIMUTE

Comparação de Cobertura		
Diagrama	***Max 110º***	***Max 260º***
Antena 1	59,35 %	59,90 %
Antena 2	55,21 %	55,87 %

Mudando-se o apontamento da antena é possível alterar o percentual de cobertura. Observa-se que o apontamento onde a máxima irradiação do diagrama era direcionada para a radial de maior propagação (260º) apresentou melhores resultados para os dois fabricantes.

Analisando uma situação de queda de rendimento do transmissor, em que a potência efetiva irradiada sofra uma redução de 90 e de 50 %, podemos simular qual será a que da percentual da cobertura. Para estas simulações, vamos comparar com o diagrama de irradiação [7], apontado para o azimute 335º NV, que corresponde a 59,90 % da cobertura ideal do canal.

TABELA VII COBERTURA PELA POTÊNCIA DO TRANSMISSOR

Comparação de Cobertura		
Diagrama	***0.9 TX***	***0.5 TX***
Antena 1	56,98 %	42,56 %

O resultado da simulação com o diagrama de irradiação da Antena 1, apontado para o azimute 335º NV ainda pode ser melhorado, aumentando-se a altura da antena. Porém simplesmente aumentar a altura provoca uma extrapolação dos limites teóricos para a classe A4. Para contornar esta extrapolação pode-se recorrer a limitações no diagrama do sistema irradiante. Simulando a estação com altura de antena de 150 m e com limitação da potência efetiva irradiada de 50% entre os azimutes 205° a 320° e de 80% entre os azimutes de 320° a 360° e de 0° a 5°, obtemos uma cobertura correspondente a 78,74 % da cobertura ideal da classe A4. A Fig. 8 apresenta o resultado desta simulação.

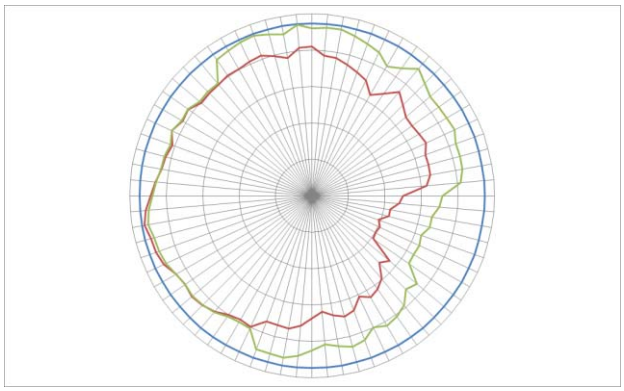


Fig. 8. Simulação com Melhora na Cobertura.

A Fig. 8 apresenta, em vermelho, a cobertura prevista para a simulação com o diagrama de irradiação [7], apontado para o azimute 335º NV, a 65 m de altura, que corresponde a uma cobertura de 59,90 % da cobertura ideal do canal, em azul. Aumentando a altura do sistema irradiante e limitando o

diagrama conforme indicado anteriormente, temos a cobertura representada em verde. Observa-se uma significativa melhora de 16,24 % na cobertura da emissora, apenas trabalhando com o sistema irradiante mais próximo ao ideal, com limitações; apontado para a direção de melhor propagação; e altura da antena adequada.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, ao CNPq, e à Fapesp. Também aos demais professores e funcionários do DECOM, da FEEC e da Unicamp.

VI. CONCLUSÕES

A partir das avaliações das coberturas de 16 estações de FM na Região Metropolitana de São Paulo, onde se verificou que 12 destas não cumprem com os requisitos de cobertura, pode-se analisar as diferenças entre as predições e as medições em campo.

Apesar de ser um tema estudado há bastante tempo, os resultados da avaliação das emissoras demonstram que ainda existem falhas nos projetos das estações, que prejudicam a prestação do serviço com qualidade.

Tais diferenças, que tem grandes contribuições do relevo, mas que também podem ser provocadas pelas características de projeto e operação, que são de responsabilidade dos engenheiros das estações.

Foi demostrado, por meio de simulações, que um pouco de trabalho sobre as características do projeto pode melhorar o desempenho da cobertura, inclusive compensando as atenuações do relevo.

REFERÊNCIAS

[1] "Relatório de Fiscalização nº 0277/2013/ER01FT", Agência Nacional de Telecomunicações, São Paulo, Brasil, March 2013.

[2] "Resolução Anatel nº 67 - Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Freqüência Modulada", Agência Nacional de Telecomunicações, Brasília, Brasil, November 1998.

[3] Recommendation ITU-R P.1546 - Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz, October, 2009.

[4] Procedimento de Fiscalização de Gestão e Monitoramento do Espectro de Radiofrequência – FIS.PF.041, January, 2010.

[5] SIGANATEL - Sistema de Informações Geográficas (Ferramenta para Calculo de Viabilidade de Canais de Radiodifusão de TV e FM). Disponível em: http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel/.

[6] P. H. F. Silva, M. G. Passos, "Analise Numérica da Ferramenta SIGANATEL para o Calculo de Viabilidade de Canais de FM", XXV SIMPOSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBrT 2007, 03-06 September 2007, RECIFE, PE.

[7] Antenna FM 01 http://www.idealantenas.com.br/produtosport/fm/PDF%20Antena%20FMV.pdf .

[8] Antenna FM 02 http://teeltele.com/equipamentos/antenas-de-fm-polarizacao-circular/.

[9] E. S. Bueno, G. Bedicks Jr., C. Akamine, E. L. Horta, "Results of Field Tests of the ISDB-TB System at 8 MHz in Botswana" Revista de Radiodifusão, v.07 n.08 2013, São Paulo, SP.

Paulo E. R. Cardoso (M'15) Possui graduação em Engenharia Elétrica pela FEEC-Unicamp (2002) e mestrado em Engenharia Elétrica (Eletrônica) pelo DEMIC-FEEC-Unicamp (2005).
Atualmente é Doutorando no DECOM-FEEC-Unicamp, pesquisando TV Digital.
Está licenciado do cargo de Especialista em Regulação da Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel, onde atua na Coordenação de Outorga e Recursos à Prestação, na Gerência Regional da Anatel em São Paulo, trabalhando com o Licenciamento e Alteração de Características Técnicas das estações de Radiodifusão. Anteriormente, atuou na Fiscalização Técnica em entidades de Radiodifusão e na solução de problemas de radiointerferência em qualquer sistema de telecomunicação. Foi responsável pelo Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada e pela análise de processos de viabilidade técnica para inclusão ou alteração do Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada. Participou como observador do Governo Federal nos testes de Radiodifusão Sonora Digital, tanto nos testes do padrão americano - HD Radio, em 2008 e 2012, como nos testes do padrão europeu - DRM, em 2010. Atuou como Pesquisador de Telecomunicações da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações - CPqD.

Yuzo Iano Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Unicamp (Universidade Estadual de Campinas - 1972), mestrado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (1974) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (1986). Atualmente é Professor Titular MS6 do Decom/Feec/Unicamp (Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp).
Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações, Eletrônica e Tecnologia da Informação, atuando principalmente no campo das comunicações audiovisuais e de dados. Os principais temas de interesse são: processamento e transmissão digital de sinais/imagens/vídeo/áudio/dados, hdtv, tv digital, redes 3G/4G/5G, middleware, transmissão/canalização/radiodifusão de sinais de televisão, reconhecimento de padrões, codificação digital de sinais, transmissão/armazenamento de dados e cidades inteligentes/digitais.

Silvio R. M. Carvalho Possui graduação em Engenharia Elétrica pela FEEC-Unicamp, Mestre em Telecomunicações e Telemática pela FEEC-DECOM-Unicamp, Doutor em Telecomunicações e Telemática pela FEEC-DECOM-Unicamp, pesquisador do LCV-Unicamp especialista nas áreas de TV Digital, Redes SFN.
Engenheiro de Projetos de Infraestrutura para Televisão na EPTV.

Hermes J. Loschi Formado em Engenharia de Controle e Automação (Universidade Paulista - 2014). Atualmente, M.Sc Candidato pelo Decom / Feec / Unicamp (Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp).
Atualmente, um pesquisador do laboratório de comunicações visuais, departamento de comunicação. Os principais temas de interesse são: Wireless Network, TV digital, células e sistemas fotovoltaicos, energia e rastreamento solar.

Rafael F. Pinheiro Possui especialização em Direito Público sobre o tema "Espectro de radiofrequências como bem público" pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2014), graduação em Relações Internacionais pela Universidade de São Paulo (2009) e formação de nível técnico em Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo (2004).
Desde 2005, exerce cargo de Técnico em Regulação na Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel, trabalhando na área de fiscalização técnica e resolução de radiointerferências da Gerência Regional em São Paulo. Anteriormente, atuou na Gerência Operacional de Outorga e no Centro Regional do Sistema de Gestão e Monitoragem do Espectro (SGME) em São Paulo. Participou como observador nos teses de Radiodifusão Sonora Digital com o padrão europeu (DRM), em 2010. Em 2012, participou do programa "Spectrum Management Sequence", organizado pela USTTI, FCC e NTIA, nos Estados Unidos da América, sobre a regulação, gestão e monitoragem do espectro de radiofrequências naquele país.

Thiago V. Silva Possui especialização em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, com temas correlatos a instrumentação e controle ótimo (2008), graduação em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (2005) e atualmente estuda Bacharelado em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC. Atua, desde 2009, como Técnico em Regulação na Agência Nacional de Telecomunicações, Anatel, desempenhando atividades relacionadas a controle e uso do espectro, fiscalização técnica de entidades e resolução de conflitos em radiointerferência.

Cite this article:
E. R. Cardoso, P., Iano, Y., R. M. Carvalho, S., J. Loschi,H., F. Pinheiro, Rafael e V. Silva, T.; 2015. Técnicas de Projeto para Atendimento aos Requisitos de Cobertura de Estações de FM. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.6 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.6

Método de cálculo de MCL entre TVD e LTE

Marcus Aurélio Ribeiro Manhães

Marcos Baracho Trindade

Método de cálculo de MCL entre TVD e LTE

Marcus Aurélio Ribeiro Manhães e Marcos Baracho Trindade (Fundação CPqD)

***Abstract*—This article displays a methodology for calculating a Minimum Coupling Loss (MCL) to estimate the minimum distance between DTV receivers and LTE transmitters that must share spectral adjacency. The release of the 700 MHz frequency range, considered the digital dividend, implies the necessary interaction between the DTV and the LTE systems. The method estimates the number of mitigation filters to be installed with to TV receivers in the vicinity of a base station. However, it can also be used to analyze the coexistence of LTE with analog TV, since the related parameters are considered.**

***Index Terms*— 700 MHz, Convivência TVD/LTE, Dividendo Digital, MCL, Mitigação.**

I. Introdução

Este trabalho contribui para a análise da convivência entre o Sistema de Televisão e o Serviço Móvel Pessoal (SMP) em 700 MHz, ao propor um método de cálculo de Minimum Coupling Loss (MCL), para quantificar o afastamento mínimo entre a antena residencial de TV e a torre de transmissão SMP.

Por meio da Portaria Nº 481 de julho de 2014 do Ministério das Comunicações [1], foi definido o cronograma de desligamento da TV Analógica, efetivando a transição desta faixa de espectro até novembro de 2018.

A convivência entre os sistemas de TV, digital e analógico, está consolidada e sustentada em normas técnicas. Porém, até findar o desligamento (*switch off*) das transmissões analógicas e consequente realocação espectral de canais de TV acima de 698 MHz, ocorrerão situações nas quais os sistemas de TV estarão se sobrepondo em uma mesma parte do espectro eletromagnético, ora reatribuída para o SMP. Consolidar a convivência da TV com o SMP ainda exige aplicação teórica e prática com o propósito de dirimir todas as questões.

Com a Resolução nº 640, de 11 de julho de 2014 [2], foi aprovado o Regulamento sobre as condições de convivência entre os serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) e os serviços de radiocomunicação operando na faixa de 698 MHz a 806 MHz, que é referenciada também

como a faixa de 700 MHz. Este regulamento oferece informações para a mitigação das possíveis interferências, mas não traz considerações diretas para o período de transição, sem abordar o sistema de TV analógica.

No Brasil inúmeros testes foram desenvolvidos com o intuito de determinar a relação de proteção e limiar de bloqueio nos sistemas em convivência. Conforme relatório de testes em campo da Anatel [3], podem ser destacados:

- Testes realizados pela Anatel no Centro de Comunicações e Guerra Eletrônica do Exército;
- Determinação da Relação de Proteção realizada pelo Laboratório de Pesquisas em TV Digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie;
- Considerações da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET) sobre os testes de interferência do sinal LTE;
- Testes Laboratoriais e Benchmarking realizado pela Fundação CPqD;
- Testes Laboratoriais realizados no Laboratório CertLab (Ibrace-ICBr);
- Teste laboratorial realizado pela Anatel junto ao Inatel;
- Testes de campo realizado pela Anatel em conjunto com inúmeras instituições dos setores de radiodifusão e de telecomunicações;
- Testes de convivência, elaborado pelo Centro de Estudos em Telecomunicações, da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Determinar as condições em que a convivência entre todos os sistemas possa ocorrer favoravelmente ainda é essencial. Portanto, desenvolver metodologias que subsidiem a compreensão dos fenômenos interferentes deve repercutir na estimativa de interferências e na identificação de dispositivos aptos à mitigação dos mesmos.

Nesse artigo é apresentada uma metodologia de cálculo de MCL, com o propósito de estimar o afastamento mínimo entre sistemas de Televisão digital (TVD), de modo a atender a uma Relação de Proteção (PR) preestabelecida para receptores de TV, frente aos transmissores do SMP que operem em tecnologia Long Term Evolution (LTE).

Este artigo está estruturado da seguinte forma: A Seção II apresenta o desenvolvimento do método de cálculo. Na Seção III são desenvolvidas as funções matemáticas com as quais se torna possível calcular o afastamento necessário entre os sistemas em avaliação. Na Seção IV é exercitada a aplicação do método proposto. Na Seção V se avalia um possível desdobramento do método, com possibilidade de estimar o número de filtros necessários para a mitigação da interferência

Artigo submetido à avaliação de publicação em 19/06/2015. Este trabalho foi desenvolvido durante o processo de suporte e consultoria realizado pela Fundação CPqD à Entidade Administradora de Processo de Redistribuição do sinal digital de TV aberta em todo o Brasil – EAD. Os autores são consultores/pesquisadores da Fundação CPqD, vinculados à Diretoria de redes de Comunicações.[manhaes@cpqd.com.br , trindade@cpqd.com.br]

do LTE em receptores de TVD. Por fim, na Seção VI apresentam-se conclusões decorrentes da elaboração do método, de sua aplicação e possíveis desdobramentos.

II. Desenvolvimento Metodológico

Segundo o relatório 101 do European Radiocommunications Committee (ERC Report 101) [4], o cálculo de MCL determina o isolamento (em decibel - dB) requerido entre um sistema interferente e um sistema vítima, a fim de assegurar uma perda mínima de acoplamento para que não ocorram interferências.

O método de cálculo de MCL é fundamentado em uma análise de pior caso, decorrente da determinação crítica de parâmetros sistêmicos para a transmissão LTE e recepção TVD; desempenho de limiar de sensibilidade do receptor de TVD; visada desobstruída entre antenas de transmissão e de recepção e, por fim, um modelo de propagação.

A partir da função matemática definida pela ERC Report 101 [4] para o cálculo do MCL, pode-se definir a perda necessária ao sinal interferente de modo a se obter o isolamento entre elementos dos sistemas distintos:

- Transmissor interferente LTE e
- Receptor vítima TVD.

Para a determinação do MCL tornam-se implícitas as considerações:

a. Emissões indesejáveis do sinal interferente (ACLR do inglês Adjacent Channel Leakage Ratio) que se sobrepõem à faixa de recepção do receptor vítima;
b. Seletividade do receptor vítima (ACS do inglês Adjacent Channel Selectivity).

A perda necessária ao isolamento é avaliada sob um modelo de propagação, com o qual se define o afastamento mínimo entre os elementos, conforme ERC Report 101 [3].

O propósito do método se torna explicito a partir da determinação do afastamento entre os dois sistemas, com o que é possível definir áreas de exclusão ao redor dos transmissores LTE e avaliar a possibilidade de convivência operacional. Da determinação da área de exclusão torna-se possível avaliar a necessidade de uma ação de mitigação, por exemplo, conforme previsto na Resolução nº 640, que sugere a adoção de filtros à frente dos receptores de TVD.

A metodologia é composta de 5 etapas, cuja sequência lógica é representada a seguir:

1. **Parâmetros críticos do transmissor interferente**: são determinados de modo a maximizar as potências emitidas, a largura de ocupação espectral, os efeitos intermitentes (emissão impulsiva ou burst) menores afastamentos espectrais (banda de guarda) e número de portadoras no sistema interferente;
2. **Parâmetros críticos do receptor vítima**: são determinados pela sensibilidade sistêmica, menor robustez na hierarquia de modulação, forma de recepção por antena interna ou externa, canalização crítica por batimento de frequências, adjacência à faixa espectral interferente, co-atribuição espectral (mesma subfaixa do espectro);
3. **Condição mínima não interferente**: é determinada pela avaliação da recepção. No caso da TVD, em geral, utiliza-se o conceito de TOV – Threshold of Visibility – Limiar de Visibilidade no qual se busca identificar artefatos não desejados na imagem. Esta condição pode ser estabelecida com base em uma PR determinada em um experimento prático;
4. **Minimum Coupling Loss – MCL**: definido isolamento em dB, com o qual se estabelece a mínima perda (atenuação) do sinal interferente, para que não produza artefatos interferentes na imagem do receptor vítima.
5. **Afastamento mínimo**: é a distância mínima entre o receptor de TVD instalado na residência e a antena de transmissão do SMP, atendendo a PR preestabelecida para receptores de TV.

III. Funções matemáticas do Método

O cálculo do MCL foi tratado amplamente no ERC Report 101 [4] que objetivou um método unificado para determinar a separação mínima, em frequência, entre dois sistemas operando em faixas adjacentes. A Equação 1, para MCL, definindo o isolamento para emissões não desejáveis é:

$$Is_{lim} = P_{INT} + dB_{BW} + MC_{INT} + G_{VICT} + G_{INT} - (S_{VICT} - C/I_{VICT}) + f(dBc_{INT}, P_{INT}) \quad (1)$$

Onde:

Is_{lim} = Isolamento no limiar de recepção da vítima (dB)
P_{INT} = Potência máxima de transmissão do interferente (dBm)
dB_{BW} = Fator de conversão de largura de banda entre interferente e vítima (dB)
MC_{INT} = Margem multiportadora para interferente com mais de uma portadora (dB)
G_{VICT} = Ganho da antena vítima (dBi), subtraindo-se a perda do cabo (dB)
$GINT$ = Ganho da antena interferente (dBi), subtraindo-se a perda do cabo (dB)
S_{VICT} = Nível de sensibilidade da vítima (dBm)
C/I_{VICT} = Relação de proteção sistêmica da vítima (dB)
$F\ (P_{INT}/dBc_{INT,})$ = Função que define a potência do ruído de banda larga e offset a ser considerado em relação à potência da portadora do interferente (dB)

Com uma reorganização dos termos da Equação 1, podem-se identificar aqueles que representam fenômenos interferentes específicos, destacados na Figura 1:

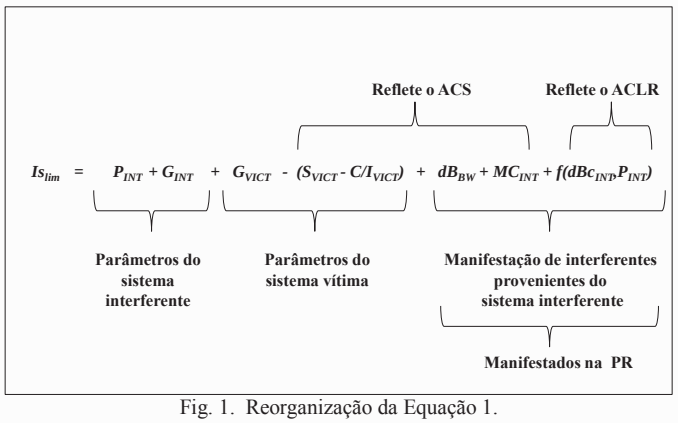


Fig. 1. Reorganização da Equação 1.

A partir da reorganização da Equação 1 é possível correlacionar termos aos conceitos ACS e ACLR.

Seguindo a definição da Anatel [5] o "ACS é uma medida de desempenho do receptor relacionada à sua capacidade de receber um sinal em seu canal consignado, dada a presença de outro sinal em um canal adjacente".

O ACS define a capacidade do receptor de receber a energia do canal desejado e de rejeitar interferências provenientes de frequências adjacentes, ou seja, uma expressão intrínseca à seletividade. O valor de ACS é calculado pela Equação 2, conforme o Anexo 2 da Recomendação ITU-R 1368-10 [6]:

$$ACS = -10 \log (10^{-(PRo-PR/10)} - 10^{-(ACLR/10)}) \quad (2)$$

Onde:
ACS = Seletividade de Canal Adjacente
PR0= Relação de Proteção de Co-canal
PR = Relação de Proteção
ACLR = Relação de vazamento de Canal Adjacente

O ACLR, que também está associado ao ACS, conforme Anatel [5], "é uma medida de desempenho de um transmissor relacionada à capacidade de supressão de energia no canal adjacente. O ACLR é definido como a razão, em dB, entre a potência média do sinal gerado integrada na sua faixa designada, e a potência média de emissões no canal adjacente."

Da etapa 3 da lógica do método, assumindo que avaliações práticas repercutem em uma determinada PR ao sistema vítima, em atendimento aos requisitos de relação C/I (*Carrier to interference*) e sensibilidade de recepção, admite-se que a manifestação dos interferentes já está neutralizada a partir do atendimento ao valor de PR mensurado.

Admitindo-se a manifestação do desempenho de ACS e de ACLR na medida de PR, a Equação 1 pode ser reescrita conforme Equação 3, consolidando a etapa 4:

$$MCL = Is_{lim} = P_{INT} + G_{INT} + G_{VICT} - (S_{VICT} + 3dB) - PR - D_{ant} \quad (3)$$

Onde:

Is_{lim} = Isolamento no limiar de recepção da vitima (dB)
P_{INT} = Potência máxima de transmissão do interferente (dBm)
G_{INT} = Ganho da antena interferente (dBi), subtraindo-se a perda do cabo (dB)
G_{VICT} = Ganho da antena vítima (dBi), subtraindo-se a perda do cabo (dB)
S_{VICT} = Nível de sensibilidade da vítima (dBm)
PR= Relação de Proteção
D_{ant} = Discriminação de polarização

Na Equação 3 é inserida uma margem de segurança de 3dB, a fim de atender ao critério de operar acima da sensibilidade de referência.

O termo D_{ant} é adicionado para considerar a discriminação de polarização no acoplamento do sinal com a antena de recepção do sistema vítima, pois a frente de onda é emitida em 45º em relação ao plano horizontal da antena de recepção.

Na Figura 2 há uma representação gráfica dos níveis relativos aos sistemas, relevando-se as diferenças entre máximos interferentes do LTE, decorrentes de Uplink e de Downlink, em relação ao nível de recepção da TVD, e que resultam no valor de isolamento (MCL).

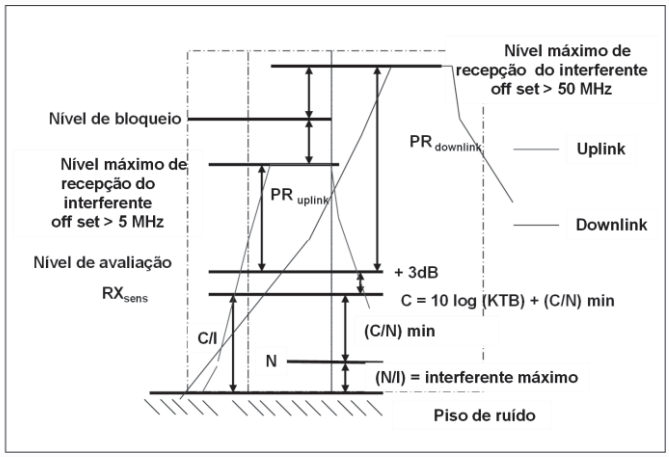


Fig. 2. Representação gráfica do Isolamento para anular interferências de emissões indesejáveis.

A etapa 5 da lógica do método é caracterizada pela Equação 4, derivada da perda de espaço livre, para calcular o afastamento entre as antenas dos sistemas SMP e TVD residencial:

$$A = (10^{(Islim\ -32{,}5-20 \log F)/20)}) \times 1000 \quad (4)$$

Onde:
A= Afastamento
Is_{lim} = dado pela Equação 3
F = frequência centra da faixa do LTE

A partir da aplicação desta etapa é possível identificar se há necessidade de instalar filtros junto aos receptores residenciais de TV.

IV. Aplicação da Metodologia

Nesta seção é apresentado um exemplo de aplicação do

método proposto. O objetivo escolhido é estimar o número de filtros necessários para mitigar interferências em receptores de TV Digital, quando instalados nas proximidades de elementos transmissores do LTE. Por finalidade didática, segue-se a aplicação das etapas da metodologia:

Etapa 1: Sistema interferente LTE

Identificação dos parâmetros do LTE, particularizados para o Uplink e para o Downlink, conforme Tabela I:

TABELA I
PARÂMETROS DO SISTEMA LTE

Parâmetro LTE		Valor	Unidade
Downlink	Potência do transmissor LTE	46,00	dBm
	Ganho Antena TX LTE	14,00	dBd
	Ganho do dipolo/isotrópica	2,15	dBi
	Perdas (cabo e conectores)	0,00	dB
	Potência Eirp do transmissor LTE	62,15	dBm
	Altura da antena LTE	30	m
	Blocos 2 e 3	763 a 773	MHZ

Etapa 2: Receptor vítima

Determina-se limiar de recepção normativo, conforme ABNT 15604 [7], ganho de antena e altura de instalação da mesma, conforme valores sugeridos em trabalho de planejamento de Canais, CPqD [8]. Neste exercício é avaliada a recepção com antena externa. Os parâmetros de transmissão da TVD são definidos de forma a se obter o desempenho em situação de menor robustez sistêmica, conforme previsto na ABNT 15601 [9]. De fato, tais parâmetros de configuração de transmissão foram pertinentes na obtenção da PR e, portanto, devem ser registrados para a compreensão plena do resultado obtido. As emissoras de TVD têm generalizado transmissões em configuração correlata, conforme Tabela II

TABELA II
PARÂMETROS DO SISTEMA TVD

Parâmetro TV Digital		Valor	Unidade
Recepção	Limiar de Rx TV	-77	dBm
	Altura da antena RX TV	10	m
	Ganho da Antena RX TV	8	dBd
	Ganho do dipolo/isotrópica	2,15	dBi
	Correção acima do limiar de recepção	3	dB
	Discriminação polarização	3	dB
	Perda na linha (15m)	3	dB
Transmissão	Modulação	64	QAM
	FEC	3/4	n/a
	Intervalo de Guarda	1/16	n/a
	Canal	51	n/a
	Banda de guarda com os blocs LTE	15	MHz

OBS: n/a – unidade não aplicável

Etapa 3: Condição mínima não interferente

Sendo necessário eleger resultados de PR, considera-se que a consistência da fonte é muito importante. Tomam-se valores determinados nos testes desenvolvidos em laboratório pela Anatel [5], conforme Tabela III.

TABELA III
VALORES DE PR OBTIDOS EM TESTES DA ANATEL

Tecnologia	Link	RX	Blocos	BW	Troughput	PR (dB)
Silicon tuner	Downlink	2	2 + 3	10 MHz	idle	58
		3			idle	61
		1			idle	53
		2			100%	63
		3			100%	61

Estes resultados decorreram de condições de convivência entre os sistemas TVD e LTE, avaliados sob o pior caso. Estão coerentes com o método aqui proposto, exatamente, adotando os mesmos parâmetros sistêmicos que serão explicitados no passo seguinte.

Das informações colhidas do relatório Anatel [5] adiciona-se a variação de desempenho dos receptores. Esta variável é relevante para compreender que no legado de receptores de televisão, em uso pela população, haverá aqueles com maior ou menor suscetibilidade para evidenciar interferências. Portanto, do pior caso decorrente das condições de convivência, ainda se deve utilizar os limites superior e inferior do desempenho dos receptores. Para efeito deste exercício, serão tomados os seguintes valores:

a) Pior caso RX 2, troughput de 100%, PR = 63dB
b) Melhor caso RX 1, troughput em idle mode, PR= 53 dB

Etapa 4: Minimum Coupling Loss – MCL

Com base na Equação 3, bem como nos parâmetros definidos nos passos anteriores, torna-se possível determinar o MCL, resultando em:

- Pior caso MCL: 87,30 dB
- Melhor caso MCL; 77,30 dB

Etapa 5: Afastamento mínimo

Para o cálculo do afastamento mínimo é necessário considerar a posição relativa das antenas de transmissão e de recepção.

Objetivando avaliação mais crítica, determina-se o alinhamento entre os sistemas, conforme a Figura 3 Destaca-se que foram desconsideradas as discriminações de ganho decorrentes de apontamento e de elevação das antenas envolvidas. Desta forma é assegurada a maximização de acoplamento entre os sistemas irradiantes.

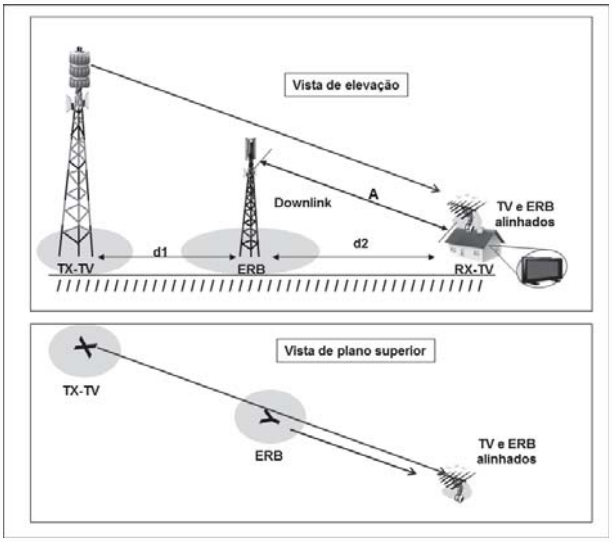


Fig. 3. Posição relativa dos sistemas TVD e LTE.

Admitindo-se visada entre as antenas das Estações Rádio Base (ERB) e de RX TV na residência e ausência de efeitos de discriminação no acoplamento, é utilizada a perda de espaço livre, conforme Equação 4, para determinar o afastamento mínimo.

Como há diferença de alturas das antenas, Figura 3, o Afastamento (A) é corrigido pela função trigonométrica, conforme Equação 5:

$$Afst = (A^2 - (Hlte - Htv)^2)^{0,5} \quad (5)$$

Onde:

Afst = Afastamento corrigido (distância d2 na Figura 3)

Hlte = Altura da antena do LTE, considerando a cota da base da antena

Htv = Altura da antena da TV, considerando a cota da base da antena

Considerando a PR para dois desempenhos de receptores, são obtidos os seguintes afastamentos mínimos indicados na Tabela IV:

TABELA IV
VALORES DE MCL

Parâmetro LTE		Valor	Unidade
Pior Rx	Relação de proteção downlink (PR)	**53**	dB
	Isolamento Islim (MCL)	**87,30**	dB
	Frequência central do canal LTE	768	MHz
	Afastamento	716	m
	Afastamento horizontal	**715**	m
Melhor Rx	Relação de proteção downlink (PR)	**63**	dB
	Isolamento Islim (MCL)	**77,30**	dB
	Frequência central do canal LTE	768	MHz
	Afastamento	226	m
	Afastamento horizontal	**225**	m

Diante das variáveis de pior caso utilizadas como entrada nos cálculos, considera-se que, para a diversidade de receptores de TV, o afastamento mínimo entre uma ERB operando em 700 MHz e um receptor de TV Digital estará situado entre 225 e 715 metros.

V. DESDOBRAMENTO DA METODOLOGIA

Chegar ao valor de afastamento é um resultado importante. Entretanto, a finalidade de uso deste resultado ainda pode ser mais significativa: estimar o número de filtros necessários para a mitigação de interferências em receptores de TVD que estejam próximos de ERB do sistema LTE.

Tomam-se as seguintes premissas:

1. Densidade de antenas receptoras (D_{arx}) para um cenário urbano residencial de 4,44 x10^{-3} antenas por m^2, ou seja, uma antena de recepção de TVD a cada 225 m^2. Essa densidade corresponde ao número de residências distribuídas em uma área urbana de bairros populares, com edificações de um nível.
2. A interferência será efetiva em apenas 120º no entorno da ERB.

A estimativa do número de antenas é dada pela Equação 6:

$$\#\ Filtros = (1/Darx) \cdot (\pi(Afst2)/3) \quad (6)$$

TABELA V
NÚMERO DE FILTROS

Receptor	Rx2	Rx1	Unidade
Afastamento	225	715	m
Área de interferência da ERB	159044	1606064	m2
Área critica 1/3	53015	535355	m2
# de filtros	236	2379	p/ERB

VI. CONCLUSÃO

Observando os desenvolvimentos do método e do caso de aplicação, considera-se que sua proposição é favorável para a estimativa ampla do número de filtros necessários à mitigação de interferências provenientes do sistema LTE sobre a recepção de TV.

Os dados práticos das relações de proteção para receptores de TVD já permitem uma extrapolação de números que, todavia, carecem de um desenvolvimento mais elaborado para determinar a distribuição filtros à população. Ou seja, ainda é necessário desenvolver um trabalho que estime a distribuição, e o desempenho correlato dos receptores de TVD nos lares.

Outro ponto relevante é que, até o momento, não há definição de PR para receptores de TV analógica em convivência com o sistema LTE. Entretanto, a partir desta definição, desde que os parâmetros relativos sejam considerados, torna-se factível utilizar o método aqui apresentado para estimar o afastamento mínimo e, com este, o número de receptores de TV analógica sujeitos à interferência.

Com o método foi possível estimar o número de filtros a serem distribuídos para as residências no entorno de uma ERB. Todavia, por decorrer de exercício de pior caso, admite-se que uma melhor disponibilidade do sinal da TV será significativa para neutralizar efeitos interferentes. Com base na Equação 3, sugere-se avaliar o efeito da redução do afastamento mínimo com o incremento do sinal recebido de TV.

Cabe destacar que o cálculo do afastamento apresentado define uma área, em situação de pior caso da interferência do LTE sobre a recepção da TVD. Para obter a avaliação de interferência da TVD sobre o sistema LTE, o método pode ser aplicado, modificando-se os parâmetros do sistema vítima, nos casos de recepção da ERB e do terminal móvel LTE, e do sistema interferente para aqueles da TVD.

Neste artigo foi apresentada uma estimativa da interferência decorrente do Downlink LTE e, também, seria importante avaliar aquela decorrente do Uplink LTE, bem como, o efeito na recepção de TV com uso de antena interna. Porém, considera-se que empregando medidas de mitigação, tais como uso de filtros no receptor, redução de potência da transmissão interferente ou, por fim, ações que elevem o nível de recepção do sinal desejado no receptor vítima, a convivência entre os sistemas torna-se favorecida.

Finalmente, considerando o resultado do *switch off* , não foi avaliada a convivência co-canal, prevendo-se que não haverá dois serviços compartilhando a mesma faixa.

Referências

[1] Ministério das Comunicações; Portaria nº 481, de 09 de julho de 2014;consultado em 20/05/2015.

[2] Anatel; Resolução nº 640, de 11 de julho de 2014; consultado em 20/05/2015.

[3] Anatel; Relatório do Teste em Campo sobre a Convivência do LTE na faixa de 700 MHz com ISDB-T Abril, 2014.

[4] European Radiocommunications Committee; Erc Report 101; A Comparison Of The Minimum Coupling Loss Method, Enhanced Minimum Coupling Loss Method, And The Monte-Carlo Simulation; Menton, May 1999.

[5] Anatel; Relatório de Teste Laboratorial de Interferência do LTE na faixa de 700 MHz no ISDB-T; Abril, 2014.

[6] ITU-R; Recommendation ITU-R BT.1368-10 Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands; 01/2013.

[7] ABNT; ABNT NBR 15604; Televisão digital terrestre — Receptores; Versão corrigida 07.04.2008.

[8] CPqD; Planejamento de Canais de TV Digital; setembro de 2003.

[9] ABNT; ABNT NBR 15601; Televisão digital terrestre – Sistema de transmissão; 2007.

Marcus A. R. Manhães nasceu em Guarulhos, SP, em 1960. Recebeu o título de Mestre em Educação pela Universidade de Campinas - UNICAMP, em 2003. De 1993 até a atualidade é pesquisador em sistemas de radiodifusão e de telecomunicações, na Fundação CPqD. Atuou diretamente no grupo de coordenação do processo de definição do sistema de TV Digital para o Brasil, com foco nas soluções de Canal de Interatividade e de Modulação. Desde 2012 produz estudos com base em testes laboratoriais e de campo para a atribuição do dividendo digital, focando o serviço de comunicação. Foi consultor representante do Sinditelebrasil nos testes realizados em Pirenópolis-GO, tornando-se um dos protagonistas na elaboração dos testes e relatórios de Laboratório e de Campo produzidos pela Anatel. Atualmente, perfaz consultoria técnica para a Entidade Administradora de Processo de Redistribuição do sinal digital de TV aberta em todo o Brasil – EAD, atuando no grupo de trabalho GT RX, coordenado pela Anatel, com participação de representantes do setor de radiodifusão pública e comercial.

Marcos B. Trindade nasceu no Rio de Janeiro, RJ, em 1959. Recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas - UNICAMP, em 1992, enfocando Sistemas de Otimização (Operational Research). Trabalhou na Telebahia e Promon/PHT em planejamento de Sistemas de Telecomunicações, abrangendo as disciplinas de tráfego, otimização/dimensionamento, engenharia econômica e confiabilidade de redes. Desde 1992 atua no CPqD como pesquisador/consultor em planejamento de redes de telecomunicações, focando as redes IP multisserviço com QoS, confiabilidade, simulação e otimização de redes NGN, otimização do backhaul LTE (comparando soluções em fibra, cobre, rádio e aluguel EILD) e planejamento de redes de transmissão PDH, SDH e DWDM otimizando a quantidade de comprimentos de onda para atender demandas 100Gbps. Experiência em coordenação de projetos multidisciplinares, de acordo com recomendações do PMI.

Cite this article:
Ribeiro Manhães, M.A. e Baracho Trindade, M.; 2015. Método de cálculo de MCL entre TVD e LTE. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.7 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.7

Técnicas de codificação de canal e modulação para a próxima geração de televisão digital

Leonardo F. Leone

Cristiano Akamine

Técnicas de codificação de canal e modulação para a próxima geração de televisão digital

Leonardo F. Leone, *Universidade Presbiteriana Mackenzie*, Cristiano Akamine, *Universidade Presbiteriana Mackenzie*

***Abstract*— This paper aims to explore the latest and well succeeded techniques for transmission and reception for the next generation of digital terrestrial television broadcasting system, more precisely in study fields of error correction codes and modulation, such as BICM (Bit-Interleaver Coding and Modulation) and NUC (Non Uniform Constellation). There is also an introduction about FoBTV (Future of Broadcast Television), an association created to make the next TV generation unified around the world. An overview of the latest standards generations being developed that employ these techniques is also made.**

***Index Terms*—BICM, FoBTV, NUC.**

I. Introdução

Desde a definição dos primeiros padrões de Televisão digital houve uma grande disputa de mercado entre os padrões desenvolvidos. Essa disputa não foi benéfica em alguns aspectos. A começar pelo consumidor que, por exemplo, ao comprar um dispositivo compatível com um padrão não pode utilizá-lo caso viaje para outro país que não adotou o mesmo padrão. A indústria teve que produzir equipamentos diferentes para locais diferentes do mundo, diminuindo sua escala de produção e aumentando o seu custo. Como curso natural do mercado, as tecnologias referentes à captação, reprodução e armazenamento de conteúdo audiovisual avançaram e houve uma mudança no comportamento do telespectador, que passou a requisitar uma quantidade maior de informação do conteúdo que assiste. O estilo de consumo de mídia está mudando drasticamente com o desejo de serviços *time-shifting, place-shifting,* conectados e de múltiplas telas [1].

Partindo da perspectiva exposta, foi criada em 2011 a associação do FoBTV (*Future of Broadcast Television*). Ela é formada por radiodifusores, fabricantes, operadoras de telecomunicações, organismos de normalização e institutos de pesquisa [2]. Entre os participantes estão entidades como NAB (*National Association of Broadcasters*), SET (Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão), IEEE *Broadcast Technology Society*, NHK *Science & Technology Research Laboratories, Video Broadcast Project* e ATSC (*Advanced Television Systems Committee*). Seu objetivo é desenvolver tecnologias para a próxima geração e fazer recomendações aos organismos de normalização [2]. Um Memorando de Entendimento foi assinado pelos membros. Nele foram abordados assuntos como: objetivos, estrutura da organização, obrigação dos participantes e propriedade intelectual. Do ponto de vista de possíveis cenários de uso da tecnologia, fica clara a necessidade de que os serviços *broadcast* e *broadband* sejam integrados. O maior grau de interoperabilidade cai sobre o compartilhamento entre as diversas redes de transmissão [3]. A estrutura da organização ficou definida da seguinte forma: Comitê de Gerenciamento, Secretariado e Comitê Técnico. Sendo o último subdividido nos seguintes grupos: Camada Física, Camada de Rede, Camada de Dados, Gerenciamento e Camada de Aplicação.

Existem inúmeras técnicas sendo estudadas e submetidas a simulações e testes de campo. Algumas ainda em fase de estudo e outras em estágio avançado de operação.

Esse artigo tem o objetivo de descrever as principais pesquisas e avanços tecnológicos para a radiodifusão terrestre. Iniciando pela Seção II, os principais padrões em desenvolvimento são apresentados. Nas Seções III e IV são detalhadas, respectivamente, as técnicas de codificação de canal e modulação adotadas pelos padrões apresentados na Seção II. Por fim, na Seção V, são feitas as considerações finais desse artigo.

II. Próximas Gerações

Nesta seção se encontram as atualizações dos principais sistemas de TV digital terrestre, além de novas propostas e desafios.

A. Cloud Transmission

Cloud Transmission, ou *Cloud* T_{XN}, é uma técnica de transmissão que tem como objetivo o uso eficiente do espectro. Ela permite que mais de um sinal possa trafegar sobre o mesmo espectro. Isso é possível graças à alta robustez do sistema que, segundo [4], deve ter um limiar de SNR de -2 a -3dB. O mesmo autor explica que o valor negativo significa que o sistema deve resistir a potências de ruído, co-canal e distorções causadas por multirpercurso superiores ao do sinal desejado. O diagrama da Fig. 1 demonstra como é possível transmitir esses sinais sobre o mesmo espectro.

Leonardo F. Leone é Engenheiro de Telecomunicações e mestrando vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil (e-mail: lf.leone@yahoo.com.br).

Cristiano Akamine é Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil (e-mail: akamine@ieee.org).

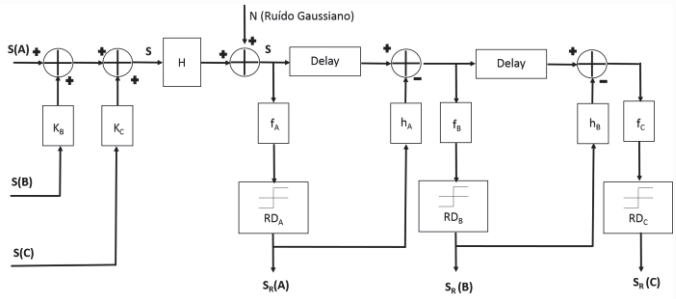


Fig. 1 Diagrama de transmissão e recepção do *Cloud Transmission*. Adaptado de [5].

Na Fig. 1 é possível observar que S(A), S(B) e S(C) são os sinais de entrada do sistema e que os sinais S(B) e S(C) sofrem atenuação nos blocos K_B e K_C, respectivamente. A diferenciação entre as potências é necessária para que seja possível a distinção dos sinais no estágio de recepção. Essa diferenciação é chamada de reutilização hierárquica do espectro ou técnica *spectrum underlay* [5]. Um outro nome dado à mesma técnica é *Layered Division Multiplexing* (LDM), na qual cada *layer*, ou camada, é representado por uma *stream*.

Na recepção a *stream* A é decodificada primeiro e retroalimentada para cancelamento no sinal S recebido. A *stream* B pode ser decodificada e retroalimentada da mesma maneira, antes da decodificação da *stream* C [5]. Como a *stream* A é decodificada primeiro para que as outras sejam decodificadas, existe a obrigatoriedade de que ela seja o sinal mais robusto.

B. ATSC 3.0

Em março de 2013 o ATSC publicou uma Chamada para Propostas para o ATSC 3.0, na qual são abordados assuntos como requisitos de funcionalidade, modelos de canal utilizados para comparação e técnicas de medida de desempenho. Como pontos em destaque dos requisitos de funcionalidade estão: eficiência espectral, maior taxa e suportar SFN [6]. Em outubro do mesmo ano, o ATSC publicou um sumário das respostas para a Chamada de Propostas presente em [7]. Nele estão reunidas as principais ideias sugeridas por empresas e institutos de pesquisa.

Em abril de 2015 o ATSC demonstrou na NAB *Show* os elementos-chave do padrão ATSC 3.0 [8]. Dentre os inclusos na definição do padrão estão BICM, LDM, MMT (MPEG *media transport*), HEVC (*High Efficiency Video Coding*) e HTML5.

Tendo como foco o ATSC 3.0, em [9] existe uma análise de complexidade do LDM considerando sua implementação em *Hardware*. Nesse trabalho, foram utilizados no sistema BICM, constelações não uniformes e OFDM. Segundo [9], O OFDM ainda possui parâmetros sob discussão, mas são muito similares àqueles do DVB-T2. O trabalho constata que um sistema com dois *layers* leva a um aumento de menos de 10% em uso de memória e lógica do *Hardware* se comparado com um sistema de um *layer*.

C. DVB-T2

O DVB-T2 possui modificações em relação ao DVB-T que resultam em um sistema com grande grau de liberdade de configurações, tornando mais flexível o dimensionamento do mesmo e mais adequado para cada cenário de transmissão.

Pode-se destacar a utilização de PLP's (*Physical Layer Pipes*), permitindo a transmissão de vários serviços, ou seja, cada PLP corresponde a um sinal de vídeo comprimido que pode ser tratado com parâmetros de codificação e modulação distinto.

Outra novidade trazida pelo DVB-T2 é a configuração das portadoras no símbolo OFDM, na qual existe um modo estendido para 8K, 16K e 32K de FFT (*Fast Fourier Transform)*. Nesse modo, é possível inserir mais portadoras no mesmo símbolo OFDM do que no modo normal, aumentando assim a eficiência espectral do sistema.

O número de pilotos espalhados inseridos também é um parâmetro configurável no DVB-T2. Oito padrões de piloto que se diferenciam ente si pela quantidade desses dados de referência em um quadro OFDM permitem que a robustez na transmissão do sinal seja condicionada às condições do ambiente em que ele será recebido.

D. *ISDB-Tn*

A próxima geração do ISDB-T prevê a utilização do sistema de transmissão por radiodifusão em conjunto com a Internet. Com esse propósito, a NHK tem desenvolvido uma plataforma para serviços avançados de radiodifusão que integra a tecnologia *broadband* com *broadcast* [10]. Com esse intuito, S. Takeuchi, et al relata em [10] que usa *HTML5* como método codificação de dados para facilitar a integração dentro de serviços de internet. Além disso, está sendo empregado o esquema de transporte por MMT e que, segundo [10], facilita a entrega híbrida utilizando redes de *broadcasting* e *broadband.*

Para a transmissão terrestre de alta capacidade, tem-se estudado o uso de transmissão por dupla polarização (vertical e horizontal) e altas ordens de constelação, como mostrado em [11]. Em [12], existe um relato de teste de campo no qual foi possível verificar a recepção bem-sucedida de uma transmissão em 8K a uma distância de 27Km entre os dois pontos. Isso foi possível fazendo uso de 4096 QAM, dupla polarização com configuração 2x2 MIMO (*Multiple In Multiple Out*) de antenas e concatenação dos codificadores BCH e LDPC. A relevância desse trabalho cai não só sobre o fato de se ter atingido uma taxa de 91,8 Mbps com um canal de 6,0 MHz mas também pelo ineditismo, pois segundo [12] este experimento representa a primeira transmissão terrestre em resolução 8K.

III. CODIFICAÇÃO DE CANAL

As técnicas de codificação de canal por FEC (*forward-error-correction*) têm sido amplamente estudadas com o intuito de diminuir a probabilidade de decodificação incorreta. Na prática, isso equivale a permitir que o sistema de recepção opere com valores de SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) cada vez mais baixos.

A. BICM

O BICM, do inglês *Bit-Interleaver Coding and Modulation*, é definido como uma cadeia de processos que tratam o fluxo de bits oriundo da codificação de fonte. O primeiro processo

dessa cadeia é a codificação por BCH. Em seguida o fluxo de bits sofre mais uma codificação através do LDPC. Em uma analogia com o sistema de codificação do ISDB-T, o BCH tem a função de codificação externa enquanto que o LDPC exerce a função de codificação interna. Passados os processos de codificação, o entrelaçador de bits age com o intuito de prevenir possíveis erros concentrados. O último processo dessa cadeia, Modulação, será explorado na Seção IV. O DVB-T2 utiliza tal cadeia para sua transmissão e, segundo [13] o ganho em BER (*Bit Error Rate*) alcançado após o codificador interno (LDPC versus Codificador Convolucional) é da ordem de 5 dB.

B. *RS-2D*

Como novidade na correção de erros, *Cloud* T_{XN} utiliza uma codificação bidimensional (*Product Code*) de Reed-Solomon (RS) e LDPC. Ela é formada por uma matriz que pode ser dividida em quatro regiões distintas: dados, paridade do LDPC, paridade do RS e paridade na paridade como mostra a Fig. 2. Nessa estrutura, pode-se considerar o LDPC como codificador interno e o RS como externo.

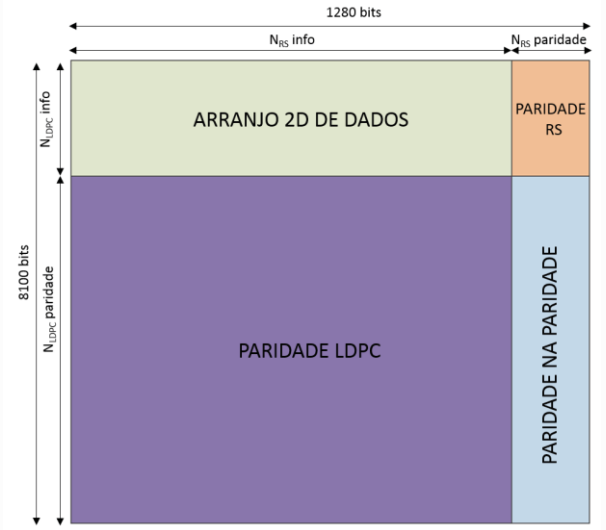


Fig. 2: *Product code* utilizado no *Cloud* T_{XN}. Adaptado de [14].

J. Montalban, et al, em [14], explicam que o LDPC tem melhor desempenho com curtos erros aleatório, enquanto que o código RS oferece robustez contra erros de rajada e remove o *error floor* do LDPC.

Outra caraterística a se destacar do RS-2D é o entrelaçamento de bits. O RS-2D é a versão entrelaçada de um código concatenado serialmente [15]. A estrutura de codificação mostrada na Fig. 2 dispensa o entrelaçamento após a codificação, pois o processo de escrita e leitura da matriz proporciona tal entrelaçamento.

De acordo com [15], como o RS, o LDPC e o *product code* possuem diferentes limiares de decodificação pode-se aplicar diferentes esquemas de decodificação considerando o SNR do sinal recebido. Isso significa dizer que a decodificação pode ser adaptativa, ponderando recursos de processamento a partir das condições de sinal recebido.

Em [14], pode-se destacar as simulações com modelamento de canal AWGN e SFN (*Single Frequency Network*) com condição de 0 dB de eco. Ambas com modulação QPSK, taxa de codificação R=0,30 , as simulações resultaram em SNR de 1,3dB (AWGN) e 2,1 dB (0 dB de eco) além do limite de Shannon considerando uma capacidade de canal C=0,60 bps/Hz.

Em [16] são apresentados resultados de teste de campo para recepção móvel, estipulando diferentes valores de SNR para diferentes cenários de recepção, analisando a viabilidade de um sistema que emprega *Cloud* T_{XN}, bem como estipulando valores de potência de transmissão como referência para planejamento de futuras redes.

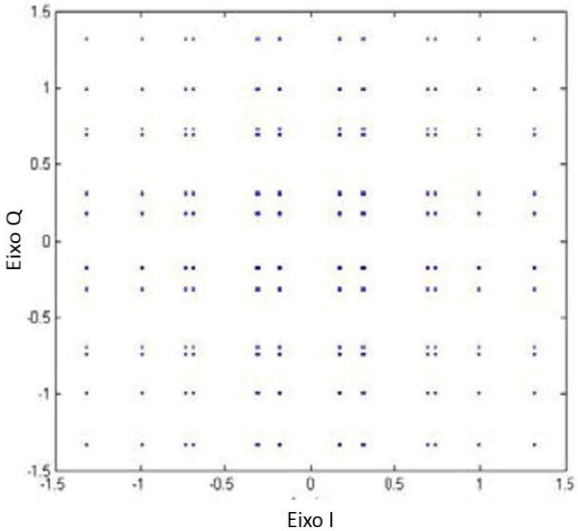
IV. MODULAÇÃO

Afim de se aproximar do limite teórico de capacidade de canal ou aumentar a capacidade de transmissão, estudos têm contemplado o desenvolvimento de novas maneiras de modulação. As modulações por chaveamento de fase (PSK) e por amplitude em quadratura (QAM) continuam sendo as técnicas utilizadas, entretanto as formas e ordens das constelações são alteradas.

A. *Constelações não uniformes*

Através de uma distribuição de símbolos diferente da constelação tradicional é possível alterar a capacidade do sistema. Para um esquema BICM, [20] relata que o gap entre o limite de Shannon e a capacidade real do sistema é imposto pelo formato retangular e os níveis igualmente espaçados do QAM uniforme. Segundo [19], técnicas conhecidas como *constellation shaping* são benéficas para reduzir esse *gap*, resultando em uma constelação com probabilidade de símbolos desigual.

Os resultados mostrados em [20] são de 256-NUQAM *(non uniform* QAM) unidimensional e bidimensional. A Fig. 3 mostra ambas as constelações.



(a)

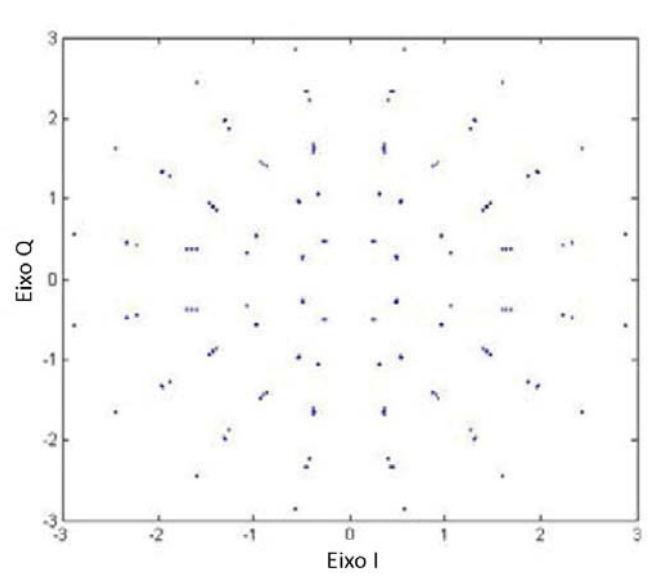


Fig. 3: Constelações Não Uniformes: (a) 1D-256NUQAM, (b) 2D-256NUQAM. Adaptado de [20].

O unidimensional mantém a estrutura retangular e altera o espaçamento entre símbolos enquanto que o bidimensional altera ambos os parâmetros. Para 1D-1024 NUQAM o ganho observado foi de 1,45 dB, enquanto que para 2D-NUQAM o ganho atingiu 1,55dB em relação ao QAM uniforme. Ambos considerando um canal AWGN.

Pode-se também destacar os trabalhos de [17] e [18]. No primeiro, são realizadas simulações com um arranjo circular não uniforme de constelação nos canais AWGN e com multipercurso. O resultado obtido foi que NUC apresenta ganhos para ambos os canais estudados. Em [18], são apresentados resultados de simulação para constelação APSK (*Amplitude Phase Shift Keying*) com mapeamento *gray*. Nesse trabalho são propostos dois métodos. No primeiro é alterado o espaçamento dos símbolos em um mesmo anel. O segundo altera a amplitude para cada anel. As simulações contemplaram o modelamento de canal AWGN e os resultados mostraram que para a cadeia BICM ambos os métodos produziram ganho em relação APSK Original.

B. Constelação rotacionada

O sistema DVB-T2 possui inovações na modulação em relação ao primeiro padrão DVB-T. Além de permitir constelação de maior ordem (até 256-QAM), neste padrão também pode ser habilitada a rotação de constelação. Devido à diferença de valor entre os eixos cartesianos para o mesmo ponto da constelação e ao *delay* na componente Q introduzido na transmissão, a recepção obtém uma informação redundante de cada ponto da constelação. A importância do *delay* incide sobre a diversidade. As componentes de um mesmo símbolo são transmitidas em subportadoras distintas dando ao sinal transmitido diversidade em frequência. Mesmo havendo desvanecimento severo em uma das componentes (I ou Q) o ponto é reconstituído através da outra componente. A Fig. 4 demonstra a constelação de um sinal 16-QAM que passou pelo processo explicado.

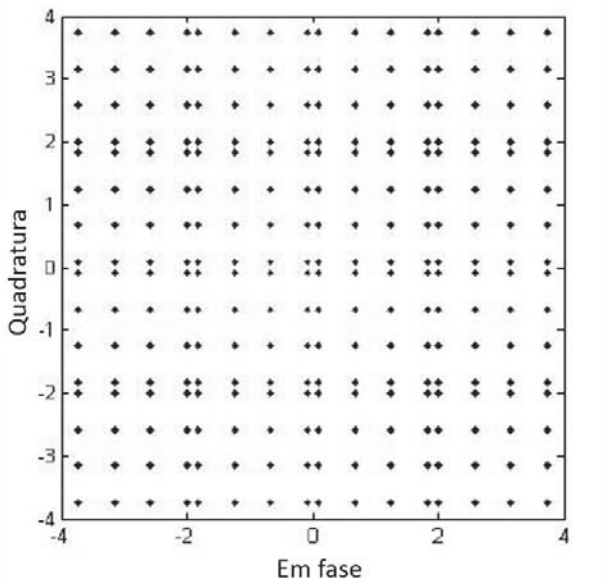


Fig. 4:16-QAM com constelação rotacionada após *delay* cíclico de Q. Adaptado de [21].

O ganho trazido pela rotação é condicionado ao canal em que o sinal está trafegando e a ordem da constelação. Os resultados obtidos em [21] mostram que os desempenhos dos sistemas com e sem rotação são quase iguais para um canal AWGN e, segundo [22], quanto menor for a ordem da constelação maior o ganho obtido. Isso mostra que tal técnica de modulação é mais vantajosa em sistema de recepção móvel, no qual são utilizadas menores ordens de constelação e a robustez tem maior prioridade que a taxa de bits trafegada.

V. CONCLUSÃO

Após a digitalização do sistema de TV existe um novo contexto em que a preocupação se volta ao desenvolvimento de técnicas que garantam à radiodifusão, junto com as telecomunicações, ofertar serviços integrados em redes de alta capacidade de transmissão

Nesse contexto os métodos de correção de erros e modulação são relevantes dentro da camada física do sistema. O desenvolvimento de novas técnicas e aprimoramento das existentes, como mostrado nesse artigo, têm viabilizado a definição dessa camada para a próxima geração de TV digital.

Um sistema implementado com as técnicas apresentadas poderia ser constituído de codificação de vídeo HEVC, esquema de transporte MMT, codificação de canal RS-2D e transmissão LDM. Para a recepção móvel de conteúdo HD poderia ser adotada rotação de constelação. Para a recepção fixa, constelações não uniformes de até 4096 QAM permitiriam transmissão de conteúdo 8K a uma taxa de aproximadamente 90Mbps.

VI. REFERÊNCIAS

[1] FOBTV, "Future of broadcast terrestrial television initiative: memorandum of understanding," Abr. 2012.
[2] FOBTV. About Us. [Online]. Disponível em: http://www.nercdtv.org/fobtv2012/en/aboutus.html

[3] W. Zhang et al, "Fobtv: Worldwide efforts in developing next-generation broadcasting system" *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, vol. 60, no. 2, p. 154–159, Jun. 2014.
[4] S. I. Park, et al,"A Newly Designed Quarter-Rate QC-LDPC Code for the Cloud Transmission System". IEEE Transaction on Broadcasting, vol. 59, no. 1, Mar. 2013.
[5] Y. Wu, et al,"Cloud Transmission: A New Spectrum-Reuse Friendly Digital Terrestrial Broadcasting Transmission System" IEEE Transaction on Broadcasting, vol. 58, no. 2, Set. 2012.
[6] ATSC, "Summaries of Responses to ATSC 3.0 Physical Layer Call for Proposals," Out. 2013.
[7] ATSC, "Call for Proposals For ATSC 3.0 PHYSICAL LAYER - A Terrestrial Broadcast Standard," Mar. 2013.
[8] ATSC, "ATSC 3.0 Going international with 2015 NAB Show demonstrations". [Online]. Disponível em: http://atsc.org/newsletter/atsc-3-0-going-international-with-2015-nab-show-demonstrations/?zoom_highlight=ldm.
[9] S. I. Park, et al. "Hardware Implementation and Complexity Analysis ofLayered Division Multiplexing (LDM) System for ATSC 3.0". em NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings. Las Vegas, Nevada. 2015, p77-81.
[10] S. Takeuchi, et al. "Super Hi-Vision Multimedia Broadcast Systems Based on "Hybridcast"". em NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings. Las Vegas, Nevada. 2015, p181-185.
[11] NHK STRL, "Annual Report 2013," NHK STR. Toquio Ago. 2014.
[12] S. Saito, et al, "Technology for next-generation digital terrestrial broadcasting — Field experiments of 8K Super Hi-Vision transmission using dual-polarized MIMO and ultra-multilevel OFDM" *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, vol. 60, no. 2, p. 1–6 Jun. 2014.
[13] ETSI, TS 102 831 v1.2.1. Digital Video Broadcasting (DVB) Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Ago. 2012.
[14] J. Montalban, et al "Cloud Transmission: System Simulation and Performance Analysis". IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. p 1-5, Jun 2013.
[15] L. Yaqi, et al. "On the performance of ldpc-rs product codes for mobile dtv". IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. p 1-4, Jun. 2012.
[16] U. Gil et al. "Cloud transmission system performance for mobile urban scenarios in the field". IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, p. 1 - 5, Jun. 2014.
[17] T. Shitomi, et al. "Study on circularly arranged non-uniform constellations in dual-polarized MIMO-OFDM transmission" IEEE Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). p 1-4, Jun 2014.
[18] D. He. et al. "Improvements to apsk constellation with gray mapping" IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. p 1-4, Jun. 2014.
[19] J. Zoellner, N. Loghin. "Optimization of High-order Non-uniform QAM Constellations". IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. p 1-4, Jun. 2013.
[20] B. Mouhouche, D. Ansorregui, A. Mourad." High Order Non-Uniform Constellations for broadcasting UHDTV". IEEE Wireless Communications and Networking Conference. p 600 - 605 Abr. 2014
[21] L. Polak, T. Kratochvil."Comparison of the Non-rotated and Rotated Constellations Used in DVB-T2 Standard". 22nd International Conference Radioelektronika, p. 1- 4, Abr. 2012.
[22] M. Breiling, J. Zöllner, J. Robert. "When do rotated constellations provides gain?". IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, p. 1 - 6, Jun. 2014.

Cite this article:
F. Leone, L., Akamine, C.; 2015. Técnicas de codificação de canal e modulação para a próxima geração de televisão digital. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.8 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.8

Determinação da potência interferente versus a distância da estação LTE na TV Digital

Bruno Rodrigues Ferraz Izario

Cristiano Akamine

Determinação da potência interferente versus a distância da estação LTE na TV Digital

Bruno Rodrigues Ferraz Izario e Cristiano Akamine

Resumo—Este trabalho tem por objetivo analisar a interferência entre o sistema LTE (*Long Term Evolution*) e ISDB-TB (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial version B*) na banda de 700 MHz.

Para a análise é determinada a distância mínima que assegura o funcionamento dos dois sistemas na gama de funcionamento. O impacto da interferência é avaliado em um cenário onde a estação de LTE, estação de TV digital e receptor de TV digital estão presentes na mesma área de cobertura.

Usando os parâmetros apresentados neste trabalho é calculado a potência de interferência que chega ao receptor de TV digital de acordo com a distância da estação de LTE e receptor de TV digital.

Além disso, o resultado também mostra que o filtro utilizado no receptor atenua a energia do sinal de LTE, e a distância entre a estação e o receptor de TV digital LTE diminui consideravelmente, o que permite uma interação entre os sistemas.

Palavra Chave—LTE, 4G, ISDB-TB, Interferência, 700 MHz.

Abstract— This work aims to analyze the interference between the LTE system (Long Term Evolution) and ISDB-T$_B$ (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial version B) in the 700 MHz band.

For analysis, the minimum distance is determined which ensures the operation of two systems in the operating range. The interference impact is evaluated in a scenario where the LTE station, digital TV station and digital TV receiver are present in the same coverage area. Using the parameters addressed in this paper, the interference power which arrives at the digital TV receiver is calculated according to the distance between the LTE station and the digital TV receiver.

Furthermore, the result also shows that the filter used in the receiver attenuates the energy of LTE signal, and the distance between the station and the LTE digital TV receiver decreases considerably, permitting an interaction between the systems.

Index Terms—LTE, 4G, ISDB-T$_B$, Interference, 700 MHz.

I. Introdução

Com a digitalização dos serviços de radiodifusão, a faixa de frequência de 700 MHz será liberada permitindo com que o sistema de telefonia móvel ocupe tal área do espectro.

Atualmente, o Brasil encontra se na fase de convívio entre os sistemas analógico e digital e planeja desativar a transmissão analógica a partir de 2015 e pretensão de finalização em 2018 [1].

O uso da faixa escolhida para implantação dos serviços móveis é importante, a frequência permite, entre outras características, um menor número de estações rádio base, o que mostra interesse para países em desenvolvimento que possuem grandes áreas com densidade populacional pequena.

Discussões sobre o convívio do sistema LTE (*Long Term Evolution*) e TV digital ocorrem. Porém, a preocupação dos radiodifusores e telefonia quanto a interferência de um sistema no outro é válida, apesar da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) impor regras para a integração e operação dos sistemas no Brasil.

Características eletromagnéticas na faixa de 700 MHz permitem com que as ondas possibilitem maior raio de cobertura e uma robustez no sinal, quando comparado com as frequências mais elevadas.

Vários estudos foram realizados sobre a convivência entre o sistema LTE e TV digital. Em [2], a interferência da TV digital no LTE é estudada tendo como conclusão que a interferência maior ocorre quando o sistema interferido realiza o *uplink*.

Em [3], o estudo mostra a interferência do sistema LTE operando em canal adjacente ao da TV digital, sendo levado em consideração as torres de transmissão situadas em grandes distâncias, as conclusões foram semelhantes às encontradas em [2].

Em [4-9], são apresentados testes realizados em laboratório e campo a fim de estudar a interferência entre os sistemas LTE e ISDB-T$_B$. Nos documentos os pesquisadores concluíram que ao se implantar o sistema LTE em um canal adjacente ao da TV digital, algumas precauções para proteger os receptores em ambos os sentidos de transmissão, *downlink* e *uplink*, devem ser tomadas.

Na Tabela 1 e Tabela 2 são apresentados resultados de [9]. Estes valores contribuem para o resultado deste artigo.

Tabela 1: Resultado da relação de proteção em [9].

Canal	Estação Rádio Base LTE	
	PR Medido (dB)	PR' Corrigido (dB)
38 a 45	-55	-50
47 a 50	-38	-38
51	-37	-37
Demais canais UHF	-58	-51

Tabela 2: Resultado do limiar de saturação em [9].

Limiar de saturação	Terminal Móvel LTE
Oth (dBm)	-29 a 7

Em [10], o estudo compara três metodologias para avaliar a frequência mínima de separação, a MCL (*Minimum Coupling Loss*), E-MCL (*Enhanced Minimum Coupling Loss*) e a Monte Carlo. Cada uma das metodologias tem suas vantagens e desvantagens. A escolha apropriada depende dos critérios utilizados e da ferramenta disponível para análise. Em níveis de complexidade o MCL é o mais simplista, abordando apenas um único interferente e vítima. Como resultado, o método Monte

Carlo expressa resultados favoráveis, porém o grau de dificuldade para análise comparado aos outros dois métodos é alto. Dependendo do cenário analisado o E-MCL provê resultados significantes para análise.

Complementando os trabalhos citados, este artigo tem como objetivo determinar a distância de separação para a convivência dos sistemas LTE e ISDB-T_B, visando garantir o funcionamento destes sistemas sem interferência entre ambos, ou que o nível de potência interferente seja o mínimo aceitável para a configuração escolhida.

Para análise uma ferramenta foi desenvolvida possibilitando que alguns parâmetros sejam configurados tanto para o LTE como para o ISDB-T_B, o resultado é expresso de forma gráfica.

Este artigo está organizado da seguinte forma: A Seção II, fornece uma visão do LTE operante em 700 MHz. Na Seção III, é apresentado o ISDB-T_B. Na Seção IV é abordado o conceito de interferência de radiofrequência. Na Seção V são mostrados os parâmetros utilizados para o cálculo da distância de convivência entre o LTE e ISDB-T_B através do software LB Network, além do resultado gráfico para os parâmetros escolhidos. Finalmente, a conclusão e trabalhos futuros são apresentados na Seção VI.

II. LTE – *Long Term Evolution*

A 4ª geração da telefonia móvel tem início com a tecnologia LTE e é gerenciada pelas normas estabelecidas no grupo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). O sistema está operante em diversos países, sendo que no Brasil o mesmo já está sendo implantado com suas limitações e em diferentes frequências [11].

O padrão LTE chama a atenção pelas velocidades com as quais se pode trabalhar; dependendo da combinação de recursos implementados na rede e do aparelho do usuário, pode-se chegar a taxas de 300 Mbps para *downlink* e 75 Mbps para *uplink*, porém essas taxas ainda não foram implementadas [12].

Existem uma série de fatores que determinam as taxas em rede LTE: a quantidade de antenas em uso de maneira simultânea MIMO (*Multiple-input multiple-output*), a largura de banda canal que, quanto maior a largura de banda disponível, maior é a taxa de transferência de dados, a frequência de operação, a modulação usada e técnicas de correção de erro.

O LTE também se diferencia pela forma de acesso. Enquanto as tecnologias legadas são baseadas no padrão W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), o LTE utiliza as especificações OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), que distribui as informações das transmissões entre diversos subconjuntos paralelos de portadoras, sendo este outro aspecto que favorece velocidades maiores para o *downlink* [13].

Para o *uplink*, o LTE utiliza o SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) que é uma especificação semelhante ao OFDMA, mas que consegue reduzir o consumo de potência, fazendo com que o gasto de energia por parte dos dispositivos conectados também diminua. Apesar do nome, o SC-FDMA também pode utilizar subconjuntos de portadoras [14].

A. *Arquitetura da Rede e de Protocolos*

A arquitetura escolhida para a tecnologia 4G é a EPS (*Evolved Packet System*), que é modelada para permitir a integração com outras redes de comunicação baseadas no protocolo IP. Essa tecnologia também permite conectividade com outras formas de acesso, tanto as padronizadas pelo 3GPP como as de banda larga fixa, como a DSL (*Digital Subscriber Line*).

A rede utilizada no LTE é considerada mais simples do que as utilizadas em redes anteriores, uma vez que os pacotes são processados e gerenciados no núcleo EPC (*Evolved Packet Core*). Esse processo produz respostas mais rápidas, melhorando a taxa de transmissão e o tempo de latência [15].

Uma característica comum em redes sem fio é a rápida variação na taxa de transmissão de dados, ocasionada pelas características do meio de transmissão e fenômenos climáticos. A fim de contornar esse obstáculo, a arquitetura EPS faz uso de retransmissão no eNodeB para gerenciar tal variação, onde adota algoritmos de controle de fluxo de dados no núcleo principal da arquitetura EPC que auxiliam na redução da perda de pacotes [16].

Através da utilização dos protocolos IP na arquitetura, a transmissão de vídeo em alta definição é possível, já que o sistema tem características para operar em tempo real e permite sincronizações entre os dispositivos interconectados, o que favorece uma maior qualidade de serviços.

Diferente dos outros releases ocorrentes no 3GPP, no LTE, a arquitetura de rede tem 4 grandes domínios conforme nota-se na Figura 1 que é explicada na sequência.

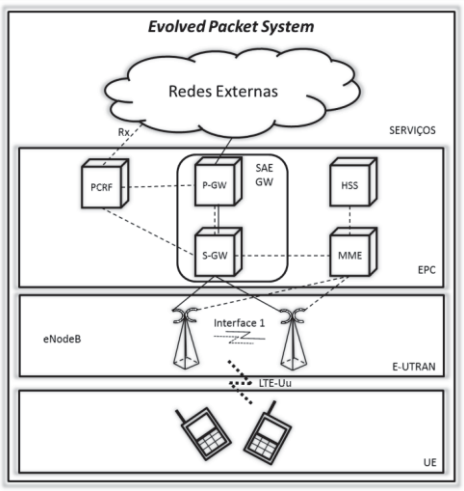


Figura 1: Arquitetura básica LTE EPS [17].

a) UE – *User Equipment*;
b) E-UTRAN – *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*;
c) EPC – *Evolved Packet Core Network*;
d) Serviços.

As grandes diferenças podem ser verificadas na E-UTRAN e no EPC. Na E-UTRAN, tem-se a remoção RNC (*Radio Network Controller*). De fato, a E-UTRAN é composta de uma rede MESH de eNodeBs que se comunicam através da interface 1 mostrada na Figura 1. No EPC existem diversos

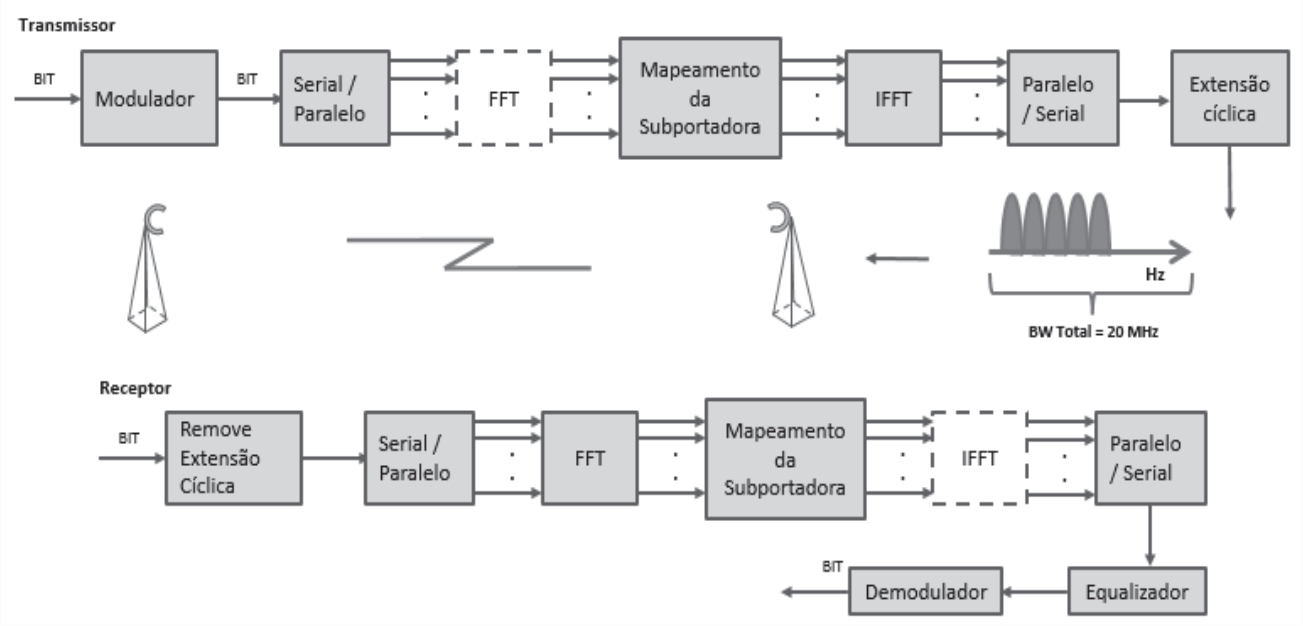


Figura 2: Transmissor e Receptor OFDMA e SC-OFDMA [18].

equipamentos, como: MME (*Mobility Management Entity*), S-GW (*Serving Gateway*), HSS (*Home Subscriber Server*), P-GW (*Packet Data Network Gateway*) e PCRF (*Policy and Charging Resource Funcion*) [17].

A 3GPP teve como premissas iniciais simplificar a arquitetura de protocolos, extinguir os canais dedicados com o objetivo de se obter uma camada MAC (*Media Access Control*) simplificada e evitar a existência de funções similares entre os elementos de acesso e os elementos centrais da rede.

Os canais lógicos no sistema proveem os serviços e funções requisitados pelas altas camadas NAS (*Non Access Stratum*) para a entrega de aplicações e serviços. Os canais lógicos por sua vez, são mapeados pelos canais de transporte na camada 2, através de elementos RRC (*Radio Resource Control*).

Os canais da interface rádio no LTE podem ser separados em dois tipos, canais físicos e sinais físicos. Os canais físicos correspondem a um conjunto de elementos que carregam informações originadas pelas altas camadas NAS. Os sinais físicos correspondem a um conjunto de elementos utilizados unicamente pela camada física, que não carregam informações originadas pelas altas camadas.

B. OFDMA e SC-FDMA

A tecnologia OFDMA transmite no domínio da frequência em diversas subportadoras paralelamente, o que no domínio do tempo, correspondem a múltiplas ondas senoidais com diferentes frequências. O OFDMA será utilizado apenas para enlace direto no sistema LTE, ou seja, para *downlink*.

Algumas características importantes no OFDMA são o excelente desempenho do OFDMA em canais com presença de fading seletivo em frequência, a baixa complexidade do receptor banda base e a compatibilidade com receptores avançados e novas tecnologias de antenas.

O conjunto de múltiplas subportadoras são independentes quanto a modulação, e no LTE elas podem ser moduladas em QPSK, 16-QAM ou 64-QAM.

Apesar de o OFDMA atender aos requisitos de *downlink*, suas propriedades não são recomendáveis para o *uplink*, principalmente devido ao desvanecimento do parâmetro chamado PAPR (*Peak to Average Power Ratio*).

O motivo para a utilização do SC-FDMA é o consumo de bateria do móvel. Sabe-se que o consumo de potência é algo fundamental para o *handset* sendo que, na estação rádio base o consumo de potência é algo fácil de ser controlado.

O transmissor e o receptor SC-FDMA são muito semelhantes aos da modulação OFDMA, a única diferença é a existência de uma FFT no transmissor SC-FDMA e uma IFFT no receptor SC-FDMA; por esta razão a modulação SC-FDMA é, muitas vezes, referida como *frequency-spread* OFDMA ou FFT-*spread* OFDMA.

No sinal SC-FDMA, cada subportadora utilizada para transmissão contém informação de todos os símbolos modulados transmitidos. Em contrapartida, cada subportadora com um sinal OFDM carrega informações relacionadas a um símbolo específico.

A Figura 2 mostra o transmissor e o receptor para o SC-FDMA, e desconsiderando os blocos tracejados é possível ter o diagrama do OFDMA.

C. Frequência LTE 700 MHz

Devido ao comportamento físico de operação dos meios eletromagnéticos, é notório que entre as frequências escolhidas o LTE possui uma maior cobertura na faixa de 700 MHz. Porém, a faixa de 700 MHz ainda não está sendo utilizada no Brasil, apesar de já leiloada. Esta implantação com as mitigações necessárias só ocorrerá com o fim da transição da TV aberta analógica para a digital, fato este que deve ocorrer a partir de 2015 até 2018.

De acordo com a resolução da ANATEL nº 625, de 11 de novembro, 2013 - as condições de uso de radiofrequências na faixa de 700 MHz - relata que a nova destinação da faixa aos serviços de telecomunicações está internacionalmente harmonizada. O Brasil adotará o arranjo definido na Recomendação ITU-R (*International Telecommunication*

Union - Radiocommunication) que permite o uso de 90 MHz (45+45 MHz) por serviços de telecomunicações, com ganhos de escala associados ao uso de infraestrutura e terminais produzidos em escala global [16]. Os canais correspondentes a faixa homologada pela ANATEL inicia-se em 52 e termina em 69.

Na Resolução nº 640, de 11 de julho de 2014, que aprova o regulamento sobre as condições de convivência entre os serviços de radiodifusão de sons e imagens, de retransmissão de televisão do SBTVD e os serviços de radiocomunicação operando na faixa de 700 MHz, é destacado que os transmissores e receptores terão que possuir filtros abruptos capazes de ceifar as frequências interferentes, a largura de faixa ocupada não deve causar interferências prejudiciais entre blocos adjacentes, além do que a potência deve ser a mínima necessária para atender com boa qualidade e confiabilidade os serviços necessários. Apresenta também as técnicas de mitigação que serão utilizadas e os casos que são considerados interferências prejudiciais [19].

III. SBTVD – Sistema Brasileiro de Televisão Digital

A TV digital está sendo implantada para substituir a TV analógica. Após o término das transmissões analógicas, os telespectadores serão obrigados a adquirir televisores com receptor digital integrado ou conversores do sinal digital (*set-top-box*) em analógico para que possam usufruir da tecnologia e seus recursos de interação.

Além da boa qualidade dos sinais de áudio e vídeo, a TV digital, permite um uso mais eficiente do espectro eletromagnético [20].

O sistema de TV digital é composto por um conjunto de padrões que compõem a codificação de áudio e vídeo e que representa o serviço essencial transmitido na TV, sendo alguns novos, como a interatividade

O sistema de transmissão e recepção da TV digital é apresentado, respectivamente, nas Figura 3 e Figura 4, porém existem seguimentos implementados neste padrão que são adotados por outros sistemas de modo a permitir um modelo de TV digital com características diferenciadas.

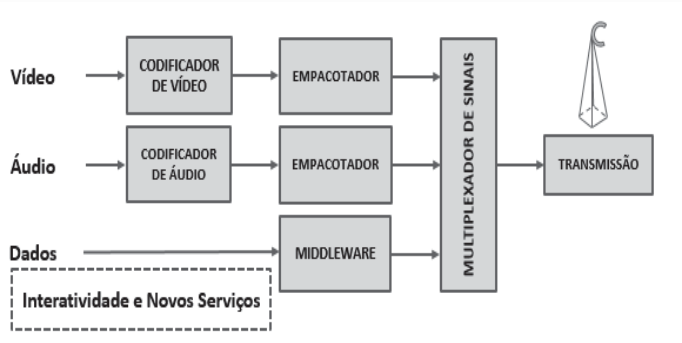


Figura 3: Padrão básico de transmissão da TV digital [20].

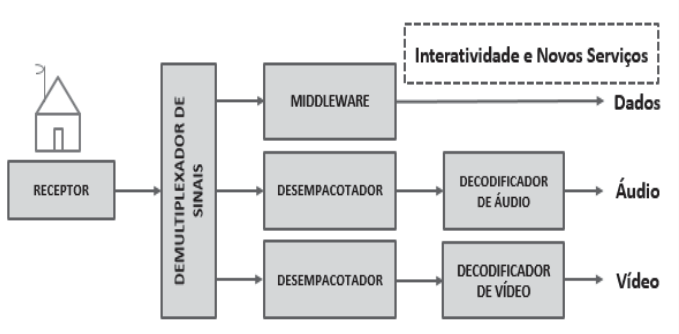


Figura 4: Padrão básico de recepção da TV digital [20].

Para os sistemas de TV digital a técnica de modulação usada na transmissão é a principal característica. No geral são usadas duas técnicas: a SCM (*Single-Carrier Modulation*) e a MCM (*Multi-Carrier Modulation*). Dessa forma, cada técnica de modulação causa diferentes comportamentos do sinal no canal, considerando também as diferenças no processo de codificação do sinal. Existem em operação cinco modelos ou padrões da TV digital terrestre no mundo [21]:

a) ATSC (*Advanced Television System committee*);
b) DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*);
c) ISDB-T/B (*Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial/version B*);
d) DTMB (*Digital Terrestrial Multimídia Broadcast*);
e) DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation*).

O sistema adotado no Brasil é ISDB-T_B, também conhecido por o SBTVD (Sistema Brasileiro de TV Digital) que foi desenvolvido a partir do padrão Japonês ISDB-T. Todo o sistema de transmissão e recepção é normalizado pela ABNT NBR 15601 - 15608, porém as técnicas utilizadas e os algoritmos podem variar de acordo com o desenvolvedor [21].

No ISDB-T_B os sinais são transmitidos usando a modulação BST - OFDM (*Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) que além de garantir uma melhor robustez comparada com outros padrões, tem a característica da banda segmentada, que permite a flexibilidade de diferentes tipos de serviços em um canal de 6 MHz. Para a compressão do vídeo, o padrão H.264, sendo a compressão de áudio feita pelo MPEG-4 AAC.

Diferente do sistema analógico, a transmissão do áudio e do vídeo passa a ser feita através de sinais digitais que, codificados e comprimidos, permitem um uso mais eficiente do espectro, devido ao aumento da taxa de transmissão de dados na banda de frequências disponíveis.

A. *Sistema de Modulação ISDB-T_B*

O sistema de modulação ISDB-T_B pode ser dividido em três estágios compostos pelo remultiplexador, codificador de canal e modulador, como pode ser visto na Figura 5.

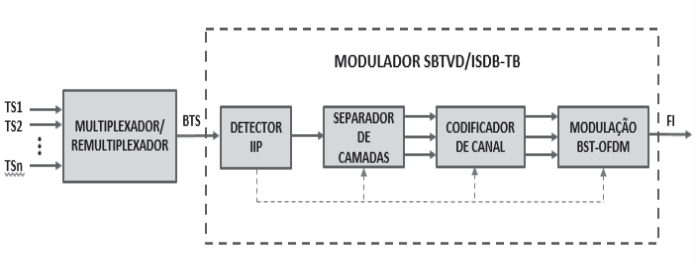


Figura 5: Diagrama simplificado do Modulador [22].

Os sistemas de multiplexação e remultiplexação são responsáveis pela geração do BTS (*Broadcast Transport Stream*). Em primeiro lugar, o sinal comprimido de áudio, vídeo, dados e tabelas de sistema devem ser multiplexados. Em seguida, informações sobre os parâmetros de modulação e sincronismo são inseridas no bloco chamado de remultiplexador [22].

Após o sinal contendo toda informação multiplexada o processo de codificação de canal inicia com a detecção do IIP (ISDB-T *information Packets*), na sequência o separador de camadas tem a finalidade de direcionar cada TPS (*Transport Packets Stream*) do BTS à sua respectiva camada, tendo como saída um MPEG-2 TS.

O estágio de codificação é dividido por um bloco de codificação externa e interna. O estágio de codificação externa é formado por um codificador Reed Solomon com entrelaçador de bytes. O estágio de codificação interna é formado pelo codificador convolucional de 1/2 com ajuste de puncionamento para 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 com entrelaçamento de bits e símbolos. É na codificação que o sinal MPEG-2 TS recebe redundância de forma a garantir robustez para o sinal a ser transmitido de maneira a permitir que na recepção o sinal seja decodificado [22].

No terceiro estágio o sinal é modulado em QPSK, 16-QAM ou 64-QAM, depois uma estrutura de sincronismo é adicionada com a inserção de pilotos de referência, sinalização e controle. Após esta primeira etapa de modulação o sinal passa por um modulador BST-OFDM que opera com IFFT de tamanho 2k, 4k ou 8k. Na saída do modulador OFDM é adicionado um prefixo cíclico que garante a robustez do sistema contra interferência intersimbólica. Os sinais em FI são convertidos para analógico em banda básica ou frequência intermediária de 44 MHz [20].

B. *BST-OFDM*

Cada segmento utiliza uma largura de banda correspondente a 6/14 MHz (428,57 kHz) como pode ser visto na Figura 6 [22].

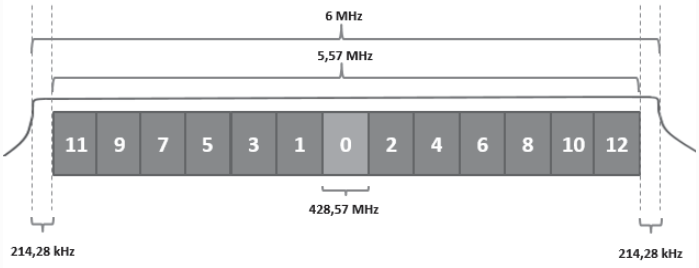


Figura 6: Divisão da Banda de 6 MHz em 13 segmentos mais banda de guarda [23].

Esses 13 segmentos podem ser combinados em até três camadas hierárquicas diferentes, que lhe conferem maior ou menor robustez, dependendo da aplicação a que se destinam. Um desses segmentos é reservado à transmissão para receptores móveis e portáteis, tais como celulares e notebooks, com parâmetros de transmissão adequados a essa aplicação. Ao mesmo instante de tempo e canal, os outros 12 segmentos podem ser utilizados para transmissão em alta definição para receptores fixos.

No Brasil, a maioria dos radiodifusores utilizam duas camadas: 1 segmento para a recepção em terminais portáteis ou telefones celulares (*One-Seg*) e 12 segmentos para recepção fixa (HDTV).

C. *Sintonizadores*

O sintonizador é o elemento que sintoniza um canal de TV, filtra sinais indesejáveis, amplifica/atenua o sinal de RF e realiza a translação do mesmo para uma frequência intermediária. Em alguns modelos, o sintonizador realiza a demodulação em quadratura (banda-base).

Existem dois tipos de sintonizadores usados em receptores de TV digital: *Can tuners* e *Silicon tuners*. Diferem quanto ao desempenho e, consequentemente, custo devido a sua composição e fabricação.

Sintonizadores do tipo *Can tuners* utilizam sintonizadores super-heteródinos tradicionais, formados por componentes discretos dentro de um encapsulamento de metal para minimizar as interferências externas [9].

Os *Silicon tuners* são baseados em circuitos integrados, conectados a uma placa principal. Esses circuitos integrados podem ter uma cobertura metálica para proteção contra interferências [9].

Após o estágio de sintonia, é realizada a demodulação em circuitos integrados específicos que recuperam o *transport stream*.

D. *Espectro da Radiodifusão*

O espectro destinado para transmissão da TV terrestre no Brasil abrange as faixas de VHF e UHF. O VHF Baixo e Alto corresponde as frequências de 54 - 88 MHz (canais 2 - 6) e 174 - 216 MHz (canais 7-13).

A faixa de UHF (470 MHz - 806 MHz) abrange os canais 14 a 69. Na faixa de 700 MHz estão presentes os canais da TV analógica/digital que serão extintos e realocados para aplicação da radiodifusão e telefonia móvel. Os canais, 50 e 51 são motivos de estudo devido a interferência co-canal existente.

A partir das Equações 1, 2 e 3 é possível calcular a frequência central do VHF baixo, VHF alto e UHF respectivamente.

$$F_{VHF_Baixo} = 57 + (n-2) \times 6 \quad [MHz] \tag{1}$$

$$F_{VHF_Alto} = 177 + (n-7) \times 6 \quad [MHz] \tag{2}$$

$$F_{UHF} = 473 + (n-14) \times 6 \quad [MHz] \tag{3}$$

onde,

n – Número do canal desejado para cada faixa de frequência.

IV. Interferência de Radiofrequência

Interferência é qualquer emissão, radiação ou indução que modifique, obstrua ou interrompa repetidamente um sistema de comunicação, operando de acordo com os procedimentos, normas e regulamentos aprovados pelo órgão regulamentador (ANATEL para o Brasil).

Os sinais interferentes são sinais de outras comunicações que adentram no canal em uso de modo a modificar o sinal original.

Nos sistemas de TV e de telefonia móvel, a interferência pode ser de natureza co-canal ou de canal adjacente.

A interferência co-canal ocorre quando duas ou mais emissoras atuam na mesma faixa de frequência, porém, em diferentes áreas de cobertura. Essa interferência geralmente surge quando, na instalação dos transmissores de TV ou das estações rádio bases não se respeitam as distâncias adequadas para o seu isolamento.

A interferência de canal adjacente ocorre quando duas emissoras que ocupam canais adjacentes transmitem sinais uma na faixa da outra, o que pode ser ocasionado quando imperfeições dos filtros nos receptores permitem a recepção de sinais indesejados, provenientes de faixas de frequências próximas, ou quando a potência mínima fora da banda não é respeitada.

O máximo nível de potência interferente aceito na entrada do receptor, Oth (*Overload Threshold*), foi apresentado em [9], sendo de -26 dB. Além do Oth, o parâmetro PR (*Protection Ratio*) é o valor mínimo da relação sinal desejado pelo interferente, sendo este necessário para manter a qualidade da recepção de TV. Para fins de parametrização, este artigo utilizará o PR igual a -50 dB apresentado em [9].

A interferência resulta na degradação do sinal transmitido, danificando toda e qualquer informação transmitida, sendo ela voz, vídeo ou dados.

Vários são os problemas que podem ocasionar interferência nos sistemas, porém o presente estudo considera a interferência co-canal, a interferência gerada pelo canal adjacente e a interferência gerada pela potência de transmissão do LTE saturando o receptor de TV digital.

Para o caso estudado e diversas outras pesquisas a utilização de filtros bloqueadores se torna indispensável para o convívio dos sistemas TV digital e LTE atuando em canais adjacentes.

V. Dimensionamento de Convivência LTE e SBTVD

Para projetar uma rede de radiodifusão ou de telefonia móvel, primeiramente, é necessário identificar quais as características que devem ser levadas em consideração para a otimização da rede. O objetivo é obter a maior cobertura com a menor quantidade de equipamento possível, e ao mesmo tempo prover a capacidade de rede necessária para se atender a demanda de usuários. Porém, se os dois sistemas estiverem operando na mesma faixa de frequência ou em canais adjacentes os cuidados no dimensionamento são ainda maiores. Problemas de interferência como descritos na Seção IV ocorrerão e regras concedidas pelo órgão responsável, a ANATEL no caso do Brasil, deverão ser respeitadas.

O planejamento da rede consiste em se obter informações como: a cobertura desejada, estimativas de tráfego por usuário, serviços a serem oferecidos, a qualidade de serviço requerida QoS (*Quality of Service*) e a capacidade necessária.

Para fins de dimensionamento faz-se necessário o cálculo de *link budget*. O software LB Network propicia realizar uma rede LTE calculando o número de estações rádio base necessárias para cobrir a área de interesse, sendo adotado como modelo de predição o SUI (*Stanford University Interim*). No entanto, este cálculo não é suficiente quando temos outro sistema na mesma região geográfica e que opera na mesma faixa de frequência.

Para que o LTE seja instalado seguindo os parâmetros de *link budget* e não interfira no sistema adjacente é possível calcular a distância necessária para o LTE de modo que seja respeitada a potência máxima permitida no receptor ISDB-T_B, ou seja, o telespectador da TV digital não terá seu sistema comprometido com a potência que chegará ao seu receptor gerada pelo sistema interferente.

As características básicas dos dois sistemas devem ser conhecidas. O LB Network calcula a perda de propagação levando em consideração a distância de atuação da célula, vide Equação 4.

$$L = A + 10 \times \alpha \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + S \quad (4)$$

onde,

L – Máxima perda no modelo de propagação de SUI;
A – Perda no espaço livre considerando a distância d_0;
α – Fator de perda do caminho em função da altura da estação rádio base;
d – Distância ou raio máximo de atuação da célula [m];
d_0 – Distância de referência [m];
X_f – Correção da frequência [dB];
X_h – Correção da altura da antena receptora [dB];
S – Desvanecimento de acordo com o tipo de Terreno [dB].

As Equações 5,6,7 e 8 são adendos a Equação 4, sendo o λ, na Equação 5, o comprimento de onda.

$$A = 20 \times \log\left(\frac{4\pi \times d_0}{\lambda}\right) \quad (5)$$

$$X_f = 6 \times \log\left(\frac{f}{2000}\right) \quad (6)$$

$$X_h = -10{,}8 \times \log\left(\frac{h}{2}\right) \quad (7)$$

$$X_h = -20 \times \log\left(\frac{h}{2}\right) \quad (8)$$

$$\alpha = a - b \times h_b + \frac{c}{h_b} \quad (9)$$

onde,

h – Altura da antena receptora [m];
h_b – Altura da estação rádio base [m];

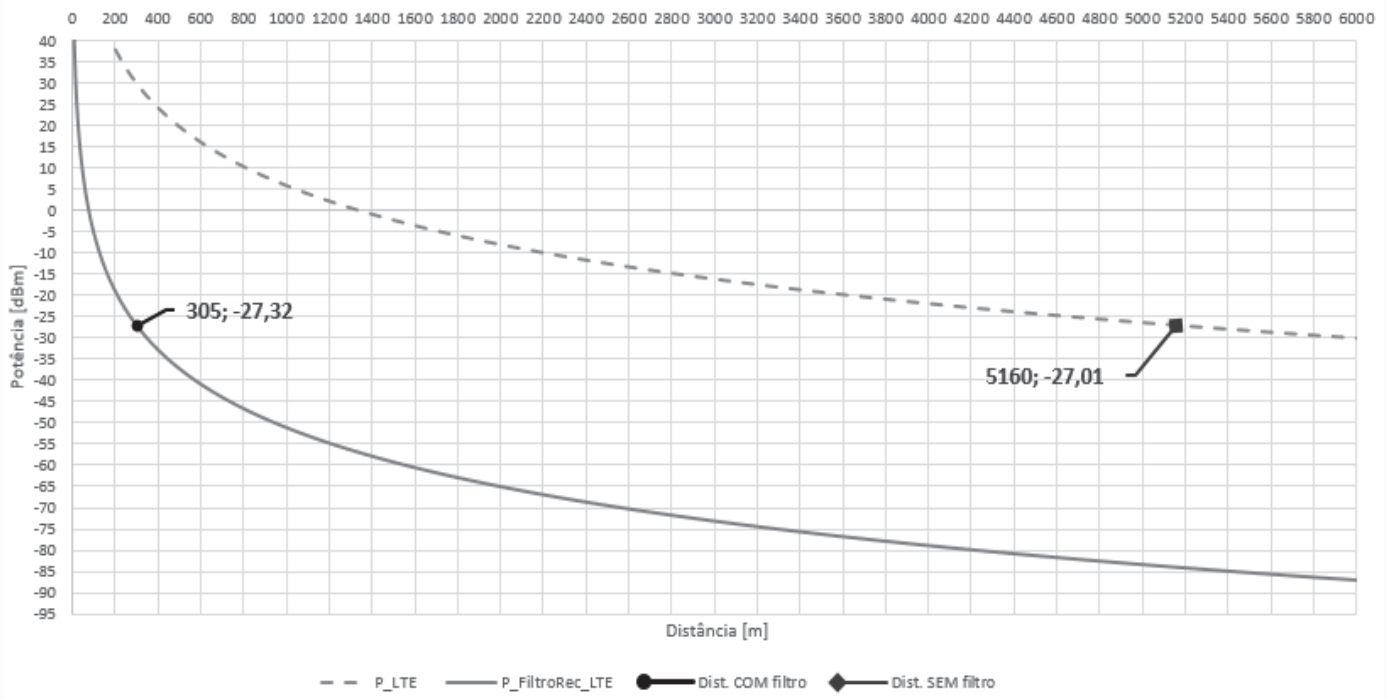


Figura 7: Gráfico da potência de interferência LTE em função da distância da estação rádio base LTE até o receptor da TV digital.

a, *b*, *c* – Valores empíricos do modelo SUI para o tipo de relevo.

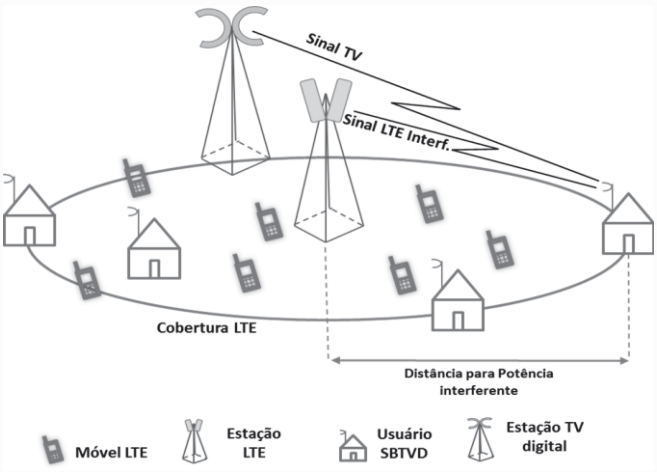


Figura 8: Cenário de convivência LTE e SBTVD.

Para o cenário da Figura 8, observa-se que o receptor de TV digital com antena externa recebe sinal da estação rádio base LTE e TV digital. Com os parâmetros da Tabela 3 é possível calcular o nível de potência interferente e estimar qual a distância necessária para não interferir o receptor TV digital.

Tabela 3: Parâmetros do Sistema LTE e TV Digital.

Parâmetros LTE	Valor	Unidade
Frequência central de Transmissão	768	MHz
Potência de Transmissão	46	dBm
Largura de Banda	10	MHz
Ganho da Antena Transmissora	14	dBi
Máscara da Estação Rádio Base	-26	dB
Parâmetros TV digital	Valor	Unidade
Ganho da Antena Externa	12,7	dBi
Filtro do Receptor	-56	dB

O parâmetro filtro do receptor respeita os valores de atenuação da Tabela 4 de acordo com a frequência de transmissão.

Tabela 4: Valores de atenuação para um filtro comercial utilizado no receptor TV digital.

Atenuação - Filtro do Receptor	
Frequência Transmissão [MHz]	Atenuação [dB]
<680,0	-1,47
686,0	-1,74
692,0	-2,25
698,0	-3,2
703,0	-5,0
708,0	-14,4
718,0	-27,3
748,0	-50,0
>758,0	-56,0

Após projetada toda a rede LTE, é necessário configurar o LB Network com os parâmetros mencionados na Tabela 3.

Considerando a potência do sinal de TV Digital em -77dBm e o parâmetro PR igual a -50 dB [9], sabe-se que o nível de sinal interferente LTE deve ser menor que -27 dBm.

A curva tracejada na Figura 7 mostra a potência LTE que chega no receptor da TV digital em função da distância que a estação rádio base está do receptor. Sem a presença do filtro no receptor, a distância mínima para que o sinal LTE não interfira na TV digital, de acordo com as considerações apresentadas em [9], é de 5,16 km.

Com a implementação do filtro no receptor digital, é possível observar que a distância da estação rádio base até o receptor diminuiu, sendo esta de 305 m de acordo com a curva contínua apresentada na Figura 7.

VI. Conclusão

Para que toda a capacidade e desempenho das redes de telefonia móvel e radiodifusão sejam atendidas, o dimensionamento do projeto da rede deve ser corretamente estabelecido, a começar pela área de atuação de cada estação rádio base, decorrente do raio máximo de atuação de cada célula e sua capacidade de dados, além do controle de potência emitido fora da área de cobertura.

O resultado deste trabalho mostra que o LTE irá interferir no receptor da TV digital caso os dois sistemas operantes na faixa de 700 MHz não forem dimensionados corretamente. Essa interferência torna-se prejudicial ao SBTVD a partir do momento que a potência máxima interferente é maior que a potência máxima aceita pelo receptor. Entretanto, o resultado obtido neste trabalho, aponta fatores que poderão influenciar no impacto da interferência do LTE no SBTVD. A largura de banda ocupada, a distância de separação entre os sistemas, o ganho da antena externa, a potência de transmissão do LTE e a máscara de bloqueio são parâmetros que devem ser controlados para que haja uma relação harmoniosa dos sistemas na faixa de 700 MHz.

A instalação de filtros nos receptores para o SBTVD visa aumentar a sua proteção contra as interferências, porém como pode ser observado na Tabela 4, a atenuação na banda passante é na ordem de 1 dB, ou seja, haverá também uma atenuação do sinal da TV digital.

O telespectador pode, ou não, optar pela utilização do filtro o que acarretará em custo para o mesmo.

Apesar das divergências de operação dos dois sistemas, o resultado também mostra que é possível a coexistência da TV digital e telefonia móvel na faixa de frequências dos 700 MHz, desde que, as distâncias de separação e potência sejam administradas pelo órgão responsável e as operadoras de telefonia móvel e emissoras de TV respeitem as primícias.

Para trabalhos futuros, espera-se acrescentar no software LB Network outros parâmetros que influenciam na interferência de radiofrequência sendo que estas possam ser observadas como manchas em mapas de cobertura, além de implementar as torres de radiodifusão como um elemento interferente nos receptores do LTE, ou seja, o software ser capaz de estimar a interferência e suas mitigações para os dois sistemas de modo que um não interfira direta ou indiretamente no outro. Da mesma forma que em [10], o software poderá selecionar o melhor método para analisar vítima-interferente, de modo a garantir o melhor resultado quando comparado com resultados práticos.

Referências

[1] Portaria N°481 de 9 de Julho de 2014.

[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"*. 2nd IEEE International Conference on, Sept. 2010.

[3] Wei Li; Jiadi Chen; Hang Long; Bin Wu, "*Performance and Analysis on LTE System under Adjacent Channel Interference of Broadcasting System*". IEEE 12th International Conference on, Oct. 2012.

[4] ANATEL, Relatório do Teste em Campo sobre a Convivência do LTE na faixa de 700 MHz com ISDB-T. Abril,2014.

[5] ANATEL, Relatório de Teste Laboratorial de Interferência do LTE na faixa de 700 MHz no ISDB-T. Abril, 2014.

[6] ABINEE, Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Janeiro, 2014.

[7] ABINEE, Projeto de testes para avaliação de interferência e análise de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700 MHz (Banda 28 3GPP) – Teste Laboratorial. Abril, 2014.

[8] ABINEE, Projeto de testes para avaliação de interferência e análise de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700 MHz (Banda 28 3GPP) – Teste de Campo. Maio, 2014.

[9] SET; MACKENZIE, Testes de interferência do sinal LTE na recepção de TV digital na faixa de UHF. São Paulo-SP. Fevereiro,2014.

[10] ERC Report 101: "*A comparison of the minimum coupling loss method, enhanced minimum coupling loss method, and the Monte-Carlo simulation*", Menton, 1999.

[11] ABDUL, S. B. "*Dimensioning of LTE Network – Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface*", Februery 2009.

[12] SESIA, S.; TOUFIK, I.; BAKER, M. *"LTE – The UMTS Long Term Evolution - From Theory to Practice"*. John Wiley & Sons Ltd, 2009.

[13] DAHLMAN, E. et al. "*3G evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband"*. Oxford, UK: Elsevier Ltd, 2007.

[14] Y., Bei, C. Joseph."*LTE uplink MIMO receiver with low complexity interference cancellation",* Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2012, Vol.73.

[15] 3GPP, *Tech. Specif. Group Radio Access Network - Physical Channels and Modulation*, 3GPP TS 36.211, Dec. 2009.

[16] D'ÁVILA, César Kyn. "*LTE: Long Term Evolution* – Arquitetura Básica e acesso Múltiplo". 2009. Disponível em: http://www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Telecom/lte-long-term-evolutionarquitetura-basica-e-acesso-multiplo.html

[17] ROHDE; SCHWARZ. *UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction*, 2008.

[18] S. MARTIN. *"Beyond 3G – Bringing NetworkS, Terminals and the Web Together – LTE, WiMAX, IMS, 4G Devices and the Mobile Web 2.0"*. John Wiley & Sons. 2009.

[19] RESOLUÇÃO Nº 640, DE 11 DE JULHO DE 2014 – Regulamento sobre condições de convivência entre os serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão do SBTVD e os serviços de radiocomunicação operando na faixa de 698 MHz a 806 MHz.

[20] 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: março, 2015.

[21] ALENCAR, *M. S. Digital Television*. New York: Cambridge University Press, 2009.

[22] AKAMINE, C. IANO, Y. Software de Simulação do Sistema de Modulação ISDB-TB. Revista de Rádio Difusão. Vol. 3, n. 3, p.297-307.

[23] ISHINI, A. K., AKAMINE, C. Técnicas de Estimação de Canal para o Sistema ISDB-TB. Revista de Rádio Difusão. Vol. 3, n. 3, p.151-157

Bruno Rodrigues Ferraz Izario Possui graduação em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (2007-2011). MBA em gestão de Negócios pela Universidade Nove de Julho (2012) e cursa mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Mackenzie (2013). Tem experiência na área de Elétrica/Telecomunicações, atuando em pesquisas com os seguintes temas: Antenas, Transmissão, Design de Redes e Rádio Frequência. Atualmente, trabalha na área de Comunicações Táticas na empresa SAVIS Embraer Defesa e Segurança implantando equipamentos de Rádio Frequência para o exército brasileiro.

Cristiano Akamine Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (1999), mestrado e

doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2004/2011). É pesquisador do Laboratório de TV digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie desde 1998, realizou estágio no NHK *Science and Technology Research Laboratories* (STRL), possui várias patentes e diversos artigos publicados. É professor no curso de Engenharia Elétrica e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC) da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em TV digital, comunicação digital, codificação de canal, sistemas embarcados, lógica reconfigurável e rádio definido por software. Atualmente é Professor Especialista Visitante na Faculdade de Tecnologia da Unicamp e participante do programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Unicamp.

Cite this article:
Rodrigues Ferraz Izario, B, e Akamine, C.; 2015. Determinação da potência interferente versus a distância da estação LTE na TV Digital. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.9 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.9

As mudanças nas transmissões esportivas de televisão com a chegada da Super Alta Definição (UHDTV)

Fernando C. Moura

volume 07 - número 07 - 2013

As mudanças nas transmissões esportivas de televisão com a chegada da Super Alta Definição (UHDTV)

Fernando C. Moura

***Abstract*—A última Copa do Mundo Brasil 2014 mudou a forma de captação, produção e transmissão de jogos de futebol mediante a utilização da tecnologia 4K, um formato que pode vir a substituir o padrão Full HD utilizado até hoje. Neste artigo relatamos o acompanhamento in loco dos testes realizados durante a Copa das Confederações 2013 e o Mundial 2014, as novidades da implantação do 4K e quais as possíveis consequências dessa mudança na retórica do discurso "futebolístico" com a utilização de novas tecnologias de captação, e damos um breve olhar sobre o 8K, o que pode ainda vir.**

***Index Terms*— Ultra HD, Super Hi-Vision, Transmissão ao vivo, Futebol, Narrativa televisiva, 4K, 8K.**

INTRODUÇÃO

Muito se tem escrito nos últimos anos sobre Ultra Alda Definição 4K (UHD) e 8K *Super Hi-Vision* (SHV), mas o tema não se esgota nem se esgotará tão depressa. A inovação tecnológica não para, e a corrida pela qualidade de imagem parece não ter fim, ou terá? Essa é uma das perguntas que os estudiosos do tema se fazem e que na opinião de quem escreve, parece não ter resposta ainda.

De fato, com a introdução do 4K as transmissões esportivas na última Copa do Mundo realizada no Brasil coordenadas pela FIFA (Federação Internacional de Futebol Associado), e as em 8K realizadas experimentalmente pela NHK, o conceito de transmissão esportiva mudou, e muito. E não mudou só a qualidade, mudou a forma retórica de fazer e a parafernália necessária para levar a alguns poucos duas formas de captação de vídeo altamente ricas em qualidade de imagem e imersão, mas também mudou a forma de gerar essas imagens.

Nesse marco, afirmamos que o discurso futebolístico é talvez, junto ao melodrama encarnado pela telenovela, o mais difundido na TV nos últimos anos. Ele sustenta emissoras de TV por todo o mundo e aos poucos se tem transformado em quase uma "*commodity*" que se espalhou nas últimas duas décadas ao redor do mundo.

Assim, após mais de meio século de existência, a TV aberta está mudando, e talvez não pela sua própria vontade, mas sim pelo advento de novas tecnologias e plataformas que permitem ao telespectador – termo que consideramos ultrapassado – usufruir de conteúdos audiovisuais em multiplataformas mediante sistemas de VoD (*Video-on-Demand*), OTT (*Over-the-Top*), FTH (*Direct-to-Home*) e plataformas de webTV.

Mas a questão não para por aí. Em 2020, nos Jogos Olímpicos de Tokio, a aposta é transmitir por espectro em 8K, e nesse momento, talvez aconteça a maior quebra de paradigma das transmissões esportivas dos últimos 50 anos, porque é possível que assistamos a transmissões feitas praticamente com uma só câmera, como eram realizadas as primeiras, mas mudando o conceito e o regime escópico do telespectador.

O fenômeno da TV

A televisão nasceu em 1936 e expandiu-se após o fim da 2ª Guerra Mundial. E com esta cria-se uma nova Galáxia de comunicação.

> Não que os outros meios de comunicação desaparecessem, mas foram reestruturados e reorganizados num sistema cujo coração era composto por válvulas eletrônicas e cuja fachada apelativa era uma tela de TV. A rádio perdeu a sua centralidade (...) os filmes foram adaptados para atender às audiências televisivas, com exceção da arte subsidiada pelo governo e dos espetáculos baseados em efeitos especiais das grandes telas. (CASTELLS, 2002, p. 432)

Mas a invenção de televisão "não foi um fato isolado (...) foi o resultado de um longo processo de investigações e descobrimentos, de experiências e conhecimentos adquiridos" (GIOVANNINI, 1987, p. 35). A sua história tem sido basicamente a necessidade de criar um dispositivo adequado para a exploração das imagens em movimento e o íntimo desejo de refletir a realidade. Segundo Wolton (1994), a televisão possui uma dupla função, de identificação e de representação que não é passiva, e resulta de uma interação constante entre os espectadores e o mundo que é mostrado pela televisão. De alguma maneira, então, a televisão cria a nossa representação do mundo, permite-nos imaginá-lo, estabelece parâmetros e mobiliza as atenções dos seus espectadores. Para alguns, a sua função principal é a de "informar", por isso, Sartori (2000) sustenta que a informação não significa necessariamente conhecimento, pois apenas a informação não faz compreender, pode-se estar informado, mas sem ter a compreensão daquela informação. A televisão dissemina conteúdos por meio de uma linguagem que utiliza o verbal e o não-verbal, por meio de um aparato técnico em constante atualização e avanços tecnológicos. Alguns autores já falam numa linguagem vídeo-tecnológica, na qual se desenvolvem "elementos e combinações semióticas novas e distintivas que começam a ser os sistemas linguísticos do futuro e que se diferenciam dos anteriores a partir da lógica das suas articulações" (OROZCO, 1997, p. 56), dando lugar a uma nova lógica, em que os signos de diversos tipos e procedências se justapõem para construir o espetáculo. É o espetáculo que caracteriza a televisão contemporânea.

> Não é a disseminação de informações, apresentadas enganosamente como conhecimentos, não é o objetivo ensinar: o objetivo primeiro da televisão é conquistar, manter e permanentemente ampliar a audiência e, para tanto, é preciso que cada vez mais o espetáculo se faça presente, sempre de maneira original, explorando-se novas combinações de códigos, de gêneros, de estilos que a tecnologia facilita. (OROZCO, 1997, p. 58)

Transmissões ao vivo

A ideia de construção social da realidade foi apresentada por Alfred Schultz durante as décadas de 1940/50, e mais tarde retomada por Thomas Luckmann e Peter Berger (1999). Para os últimos, a linguagem e a comunicação desempenham um papel fundamental na construção da realidade social porque só existirá devido aos mecanismos de relação existentes entre os indivíduos. A realidade difundida pela TV opera como uma seleção e uma construção das informações que são emitidas. Para Bourdieu (2005, p. 14), os produtores de TV (no caso dele, os jornalistas) usam uma espécie de óculos que vêem certas coisas e outras não. Esse princípio de seleção está ligado à busca do sensacional, do espetacular, aquilo que rompa com o habitual, mas que em nada altera as formas de pensar e refletir sobre o mundo. Além disso, a imagem carrega o agravante de poder produzir o que o Bourdieu chama de "*efeito do real*", ou seja, "poder fazer ver e fazer crer no que faz ver" (2000, p. 14). Portanto, a seleção realizada designa uma forma de censura acerca das ações e discursos transmitidos, moldando o posterior debate público sobre os mesmos.

Para Fechine (2001) a transmissão ao vivo é um formato televisivo que está intrinsecamente associado à simultaneidade entre a realização do acontecimento e sua transmissão.

> Nessa simultaneidade, está o próprio apelo estético do programa e/ou quadro. O acontecimento/fato transmitido determina toda a função comunicativa desse tipo de transmissão televisiva, cujo principal atrativo é justamente a imprevisibilidade, a espera pelo inesperado, proporcionados pela simultaneidade entre a produção, transmissão e recepção do fato através da TV (FECHINE, 2001).

Esse conjunto de fatores aparentemente eleva as transmissões ao vivo para um patamar de maior importância dentre outros formatos e gêneros televisivos. Um evento ao vivo se caracteriza como algo que deva ser mostrado no exato momento em que acontece, ou então, perde-se o seu valor televisivo. Alguns programas de variedades, shows e etc. estão voltando a ser transmitidos ao vivo por conta da participação popular via aplicativos de segunda tela e nas redes sociais, com o objetivo claro de valorizar e reter a audiência. Soma-se a isso, a qualidade técnica da imagem e do som em 4K que se mostra como mais um diferencial do espetáculo.

4K, uma nova forma de captação audiovisual

A tecnologia 4K UHD foi criada pela SONY em 2003, é uma resolução de 3840 × 2160 pixels (8,3 megapixels) e é uma das duas resoluções da televisão de Ultra Alta Definição (UHDTV). A outra é a 8K UHD, criada pela SONY em parceria com a SHARP especialmente para cinemas do Japão e cinemas da SONY em Hollywood, que é de 7680 pixels × 4320 pixels ou 33,2 megapixels (Moura, 2014). Assim, o dia 28 de junho de 2014 passou para a história da TV brasileira após a Rede Globo e a Globosat (empresa do grupo Rede Globo) produzirem e transmitirem de forma experimental, ao vivo para o Brasil e o mundo, pela primeira vez na história da televisão, um jogo da Copa do Mundo Brasil 2014 com tecnologia 4K.

A produção geral do evento esteve a cargo da empresa oficial de captação e transmissão da FIFA, a HBS (*Hosting Broadcast Services*) que, em conjunto com a Globosat e a Telegenic, trabalharam com suporte integral da Sony, patrocinadora oficial do evento. As transmissões foram realizadas por espectro (TV Globo) e por fibra e via satélite pela Globosat através das operadoras Net, Telefônica-Vivo e Oi no Brasil. As três transmissões realizadas – oitavas-de-final (28 de junho, jogo entre Colômbia e Uruguai), quartas-de-final (4 de julho, com o jogo entre Alemanha e França), e a partida da final da Copa do Mundo (13 de julho) entre Alemanha e Argentina – foram feitas integralmente com tecnologia 4K, já que desde o início até o fim foram utilizados equipamentos com esta tecnologia, ou seja, desde a captação até a produção em uma Unidade Móvel 4K montada especialmente para o evento, a transmissão via satélite até Globosat e as respectivas transmissões via espectro (TV Globo), fibra óptica e satélite para ser recebida por alguns telespectadores. Os três jogos transmitidos com esta tecnologia foram produzidos no Estádio do Maracanã, no Rio de Janeiro, onde foi montado um dispositivo especial, não só técnico e operacional, mas também intelectual para a realização dos jogos. De fato, a transmissão em 4K muda, entre muitas coisas, a forma de contar a história do jogo, muda o "discurso futebolístico" e o transforma em um novo discurso, que advém de discursos anteriores, mas tem características próprias que o fazem único.

Para a Copa do Mundo foram utilizadas câmeras F55 de Sony, um equipamento que possui um sensor CMOS de formato nativo 4K incluindo um obturador global para eliminar efeitos enviesados de rolamento de obturador e segmentação de *flash*, entregando vasta gama de cores fiéis para reprodução de cor verdadeira. A câmera possibilita ainda ampla exposição de latitude (14 stops), de alta sensibilidade e baixo ruído. Além de permitir gravação em formato Super 35mm, com uma resolução nativa de 4096 x 2160 (11,6 milhões de pixels, 8.9 milhões efectivos), com codec XAVC 4K (QFHD) 4:2:2, com um bit rate até 30 fps de 300 Mbps, e compressão MPEG-4 AVC/H.264. (Moura, 2014)

Enquanto as transmissões dos 64 jogos da Copa do Mundo foram produzidos com 35 câmeras HD – entre as quais uma em um helicóptero, 8 câmera SSM (Super Slow Motion – Câmera Super Lenta), 2 Hi Speed Cam (Câmera super rápida com até 2000 frames por segundo) e uma Spidercam (câmera montada sobre fios colocada encima do gramado e dirigida via Wirelles), além de 23 câmeras HD – (ver Imagem 1). Nos jogos realizados com tecnologia 8K foram utilizadas apenas 13 câmeras, das quais 12 foram as F55 de Sony e uma 1 F65 (câmera de cinema) (ver Imagem abaixo)

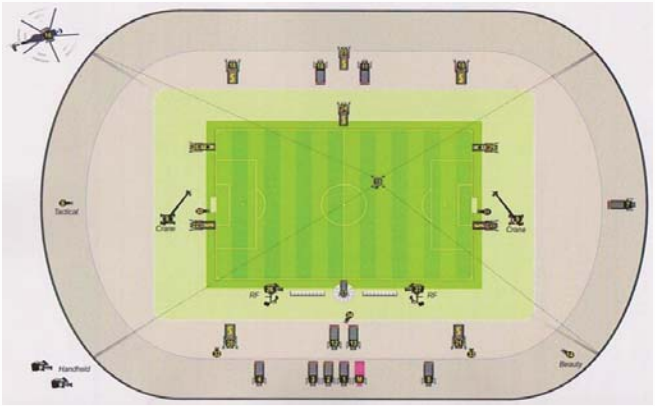


Imagem 1 – Fonte: EVS SPORTS – Congresso SET 2014

Plano de Câmeras para transmissões da FIFA durante a Copa do Mundo Brasil 2014 para a transmissão broadcast em HD

A seguir, o plano de câmeras utilizado para a transmissão realizada pela primeira vez na história da televisão em uma transmissão ao vivo em 4K:

Imagem – 2 Fonte: Sony Brasil

Plano de câmeras utilizado pela FIFA para realização dos jogos em 4K durante a Copa do Mundo

O discurso como fenômeno de Produção de Sentido

O discurso do futebol é um processo de produção de sentido, porque, segundo Verón, possui as suas características principais e gera sentido para os seus telespectadores. Toda a produção de sentido é necessariamente social: não se pode descrever nem explicar satisfatoriamente um processo significante, sem explicar suas condições sociais produtivas. Todo o fenômeno social é, numa das suas dimensões constitutivas, um processo de construção de sentido, qualquer que seja o seu nível de análise (VERÓN, 1996, p. 125).

Desta análise, podemos aferir que o "padrão FIFA" de transmissões é uma construção de sentido produzida por diversas opções retóricas e de sentido que são utilizadas na construção de uma transmissão esportiva ao vivo, e que as transmissões dos jogos realizados no Brasil pelas emissoras locais, seja TV Globo, TV Bandeirantes, Sportv, Fox Sports, ESPN Brasil – com as nuances próprias de cada emissora – são construções de sentido diferentes as que a FIFA gerou durante a última Copa do Mundo, pois o posicionamento das câmeras, enquadramento e objetos de primeiro e segundo plano são diferentes dos utilizados pelas emissoras no Brasil. Também muito diferentes do sistema de captação das câmeras 4K. Sua maior resolução de imagem e quantidade de píxels torna desnecessária a captura por um grande número de câmeras. Desta forma, a edição (menos cortes de imagens) segue uma narrativa diferente criada pelo diretor de imagens, com planos de maior duração, menor influência no direcionamento da atenção do telespectador para os detalhes na composição da imagem, o que altera diretamente a narrativa do jogo em si e também a própria narração do locutor. A experiência do telespectador passa a ser mais próxima daquela que tem o espectador na arquibancada do estádio. Assim, temos o mesmo esporte, no mesmo estádio, mas com construções retóricas diferentes.

Se consideramos a Teoria dos Discursos Sociais (Verón, 1996), estaríamos frente a criações discursivas diferentes baseadas em contextos e discursos anteriores diferentes, cada um pensado e estruturado em base a outros discursos e outros olhares da mesma manifestação, o jogo de futebol. Isso acontece, entre outras coisas, pela parafernália tecnológica utilizada e pela disposição e quantidade de câmeras utilizadas para contar e criar o "discurso jogo de futebol". Esta parafernália sofreu grandes modificações na última Copa do Mundo, talvez as maiores dos últimos 20 anos quando foi introduzido o HD (*High Definition*) nas transmissões esportivas.

Dimensões do discurso futebolístico

Uma vez mostrada minimamente a parte técnica e, com esta, apenas a diferença no plano de câmeras desenhado pela FIFA, trabalharemos a dimensão cognitiva, pragmática e Passional (Greimas & Courtês, 1979; Greimas e Fontanille, 1991) para mostrar as diferentes narrativas e como o discurso se transforma.

Como explicamos acima, o discurso é uma unidade de produção de sentido que gera significação. No caso analisado a significação muda por dois motivos. Primeiro porque as câmeras 4K utilizadas geram nos telespectadores o que é denominado de "imersão". Nesse sentido, e antes de chegar às dimensões do discurso mediático, é importante referir que dentro desse discurso existem estruturas de significação que se manifestam na comunicação porque é no ato de comunicação, não acontecimento-comunicação, que o significado encontra o significante. (GREIMAS, 1973)

Greimas & Courtes (1979) trabalham o discurso a partir de três dimensões constitutivas que são a dimensão cognitiva, pragmática e passional. A estrutura cognitiva elementar tem sido descrita como a relação entre um sujeito e um objeto de conhecimento, estabelecida pelo enunciado. Os autores reconhecem a existência de uma dimensão cognitiva do discurso, constituída pela integração desses enunciados elementares, que pressupõe necessariamente a existência de uma dimensão pragmática, que lhe serve de referente interno e à qual é hierarquicamente superior. Assim, a dimensão cognitiva designa conhecimento, praxis, envolvimento, todas situações encontradas no discurso analisado, já que tanto o produtor como o telespectador precisam ter conhecimento sobre o jogo, praxis e envolvimento, isso não só no seu nível primário senão, também, complementários, já que esta dimensão aparece tanto na produção como na comunicação do saber. De fato, segundo os autores, deve haver quanto às instâncias cognitivas, pelo menos um sujeito encarregado da produção, um sujeito encarregado da transmissão e outro da recepção do saber, ainda que sejam investidos num único ator, ou em vários atores.

Lopes (1990, p. 53) afirma que "todo saber, para produzir-se, requer a existência de uma dimensão pragmática como referente; todo saber, para ser comunicado requer ter sido-previamente produzido" e que o nível da comunicação pressupõe o nível da produção do saber, que lhe é hierarquicamente inferior. No caso estudado, aferimos que nas transmissões experimentais realizadas durante a Copa do Mundo com tecnologia 4K com uma nova disposição de câmeras e equipamentos necessários para repetições, grafismo, enlaces satelitais etc. a dimensão cognitiva ficou no sujeito encarregado da produção e no encarregado da transmissão (neste caso, o mesmo consórcio TV Globo/FIFA), e que o seu modo de recepção do saber se encontrou com um novo discurso futebolístico. Consideramos que mudou a história contada, não só pela forma de ser produzida e recriada, mas também pelo dispositivo técnico que foi necessário ter para se receber esta nova forma, neste caso, uma TV 4K 60p e um set-top box que pudesse decodificar o sinal emitido desde o Estádio do Maracanã.

Neste ponto, entramos na dimensão pragmática do discurso que indica o modo como este foi feito, desenvolvido e trabalhado. Afirmando que a televisão é uma das formas predominantes de criação da nossa representação do mundo, que ela nos permite imaginá-lo, estabelece parâmetros e mobiliza as atenções dos seus telespectadores inferimos que ela constrói discursos nos quais a realidade difundida pela TV opera como uma seleção e uma construção das informações que são emitidas. Isso permite afirmar que foi preciso criar uma praxis, um novo habitus (BOURDIEU, 1994) que permitisse aos produtores de sentido produzir o discurso futebolístico em 4K. Nesse sentido, temos um duplo problema, na produção e na recepção, porque para Bourdieu (1972), o gosto ou os gostos dos indivíduos, tende, neste sentido, a manifestar-se mediante a apropriação de determinados objetos ou a manifestar-se nas práticas em que os sujeitos se envolvem, traduzindo lógicas que funcionam enquanto classificadoras e distintivas, ou seja, traduzem as estratégias que os indivíduos adotam perante os sistemas classificatórios que interiorizam e que servem para que eles se posicionem socialmente, traduzindo igualmente a posição que atribuem a outros indivíduos ou grupos. Para Bourdieu o habitus é:

> A necessidade interiorizada e convertida numa disposição que gera práticas significantes e percepções significadoras; é uma disposição geral de transferência que leva a cabo uma aplicação sistemática, universal - além dos limites do que foi diretamente aprendido - da necessidade inerente nas condições de aprendizagem. (Bourdieu, 1972, p. 170)

Na nova transmissão com novas câmeras, novos planos e um discurso parecido, mas não igual, a dimensão cognitiva passa por uma transformação, por uma modificação, já que o telespectador não adquiriu o habitus desse novo discurso e na sua dimensão cognitiva ele nem sempre poderá impor um ponto de vista sobre o objeto (Greimas & Courtes, 1979) porque, se bem o conhece o discurso futebolístico, este mudou a sua estrutura narrativa e sua forma de exibição.

Ao passar de 35 para 13 câmeras e, sobretudo, a ter maior qualidade de imagem, mas menor capacidade de foco em movimento devido a maior distância focal e range dinâmico da imagem, foi necessário trabalhar com planos mais

abertos das ações do jogo e resignar a espectacularidade do plano fechado com câmera super lenta para captar lances com planos mais abertos, mas com uma profundidade de campos imensamente maior. Outra grande diferença retórica na hora da construção do discurso foi a possibilidade de repetições dos grandes momentos do jogo. Pela quantidade de câmeras e a qualidade de imagem que estas captam, não foi possível gravar todas as câmeras ao mesmo tempo no sistema de replays montado na Unidade Móvel que produziu os jogos, foi preciso seleccionar o que gravar, como e onde isso poderia ser reproduzido, e por isso foi necessário mudar a praxis de produção e emissão e utilizar os recursos possíveis frente ao novo discurso.

Por outro lado, foi criado um grafismo especial para as transmissões, e ele também mudou a praxis tanto na hora de produzir como na de receber o discurso, não só pela dimensão e formato de vídeo gerado, senão também pela forma em que foi inserido o grafismo em 4K. A área de segurança (espaço que se deixa aos lados da imagem para o telespectador não perder a informação) para o grafismo teve de ser ampliada. Na transmissão HD o formato é de 16x9, nas transmissões em 4K foi enviado um sinal em formato 17x9.

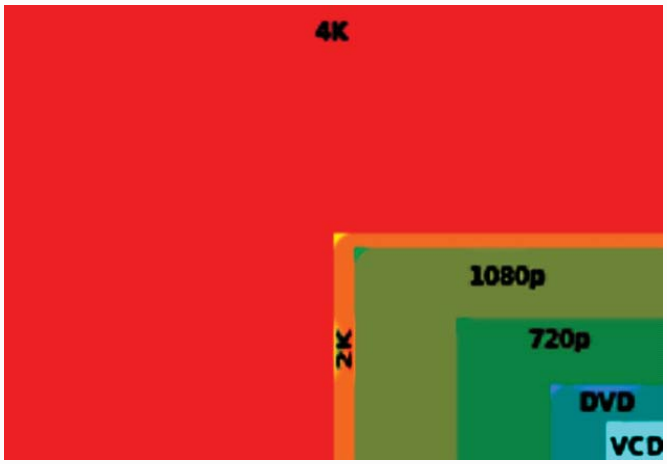


Imagem – 3 Fonte: SONY Brasil

Ainda é preciso aqui afirmar que outro ponto importante na recepção deste discurso aparece e se conforma com a nova realidade discursiva estabelecida. É a dimensão Passional, uma dimensão não controlada pelo telespectador e que se confronta com a decodificação do discurso unido à paixão pelo país, situação que não se explorará neste trabalho, mas que são importantes na hora de analisar o fenômeno.

De fato, a paixão concebida por Aristóteles aparece como uma contingência que provoca mudança na essência do sujeito. O filósofo afirma que ela foi criada pelo produtor de sentido (orador, no caso estudado por Aristóteles, em nosso caso, a FIFA) para comover o auditório. A paixão advém do Pathos e chega de forma abrupta ao receptor que se encontra em um estado contingente produzido pela influência externa.

Em Semiótica das paixões, Greimas e Fontanille (1993) ampliam o conceito de paixão aristotélica, e a concebem como estados de alma de um sujeito que podem ser depreendidos a partir da análise de um texto, neste caso, poderíamos afirmar que o discurso futebolístico cria um novo estado da alma, um estado que pode ir do êxtase à frustração, dependendo do resultado e do envolvimento deste com o espectáculo. Pensamos que no discurso futebolístico a paixão se junta com a praxis, com o habitus do receptor/torcedor, neste caso uma nova praxis, uma nova forma de produzir e receber o discurso do futebol, uma nova forma de produzir que não muda a essência do discurso, mas sim as nuances dele.

Analisando o novo discurso futebolístico em 4K, poderíamos afirmar que aqui há uma mudança de contrato de Leitura, definição utilizada por Verón (199, p. 70). Nessa mudança, a dimensão passional torna-se fundamental, já que, sem dúvida, existe um contrato entre quem emite e quem assiste. O contrato de leitura é a relação existente entre o suporte (produção de TV) e o telespectador, como esses dois se vinculam e como é produzido este vínculo, um vínculo que mudou, porque mudaram algumas das características discursivas do modelo anterior, o do Padrão FIFA ao qual o telespectador estava habituado, e introduziu novas formas narrativas e retóricas.

Conclusões

Na atualidade, o mundo "da bola", um dos mais rentáveis até hoje para as emissoras de TV aberta e de TV paga, precisa encontrar novas formas de desfrutar do fenômeno para que este continue sendo fonte de receita e, com

isso, de sustentação do modelo atual de negócio. Assim, na última Copa do Mundo Brasil 2014 realizada pela FIFA houve mudanças substanciais no discurso "futebolístico" e, com isso, do seu espetáculo, com a introdução da tecnologia 4K – 4 vezes HD (*High Definition*). A introdução desta tecnologia mudou a retórica das narrativas das transmissões de futebol e de como a FIFA "padronizou" o espetáculo.

Mudou a forma de fazer técnica e retoricamente, mudou o enquadramento, produto dos sensores CMOS que não permitem determinadas tomadas em um evento ao vivo, a quantidade de câmeras no campo – passando de 32 na transmissão broadcast oficial para apenas 13 na transmissão 4K e 5 na 8K – e, sobretudo, a forma como se conta a historia do jogo.

O conceito de TV se está reinventando e o destino do discurso futebolístico televisado está mudando porque já não se pensa somente em TV aberta ou TV paga Premium, senão em novas plataformas e soluções que podem viabilizar o consumo deste discurso, até parece ser possível inferir que não só o discurso está mudando, mas também o espectador, que aos poucos se vai transformando em um usuário de múltiplas plataformas de vídeo e não um mero "tele"spectador sentado em frente à TV.

Nesse campo, parece que a tendência é uma maior qualidade de imagem, menos câmeras em campo e uma nova forma de olhar, que talvez, segundo alguns dizem, se concretize com a implantação no formato em 8K, onde o fenômeno imersivo da imagem poderá ser ainda maior e fazer com que o discurso futebolístico possa voltar a ser contado como no início das transmissões esportivas, com apenas uma câmera.

Referências Bibliográficas:

BOURDIEU, Pierre. (1972). **La Distinction: Critique sociale du jugement**. Paris: Les Éditions de Minuit.

Raisons Pratiques. Paris: Éditions du Seuil. 1994.

The aristocracy of culture. In D. Miller (Ed.), Consumption, critical concepts in the social sciencies (pp. 239-245). London: RouHedge, 2001.

FECHINE, Yvana. **Gêneros televisuais:** a dinâmica dos formatos. In: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3195/3195.PDF. 2001. Acesso em 21 de fev. 2015, às 21h14m.

GIOVANNINI, Giovanni. **Del pedernal al sicilio. Historia de los medios de comunicación masiva Buenos Aires**: EUDEBA, 1987.

GREIMAS, Algirdas Julius & FONTANILLE, Jacques. **Semiótica das paixões**. Trad. Maria José Coracini. São Paulo: Ática, 1993.

LOPES, Paulo Eduardo. Por um modelo unificado da cognição discursiva in Revista SIGNIFICAÇÃO Outubro/1990 Nº 8 e 9, página 49-62

MOURA, Fernando Carlos. **A construção da identidade de uma comunidade imigrante portuguesa na Argentina (Escobar) e a comunicação social**. Universidad de Lisboa - FCHS: Tesis de doctorado en Ciencias de la Comunicación, 2010.

Portugal Hoje: o papel dos programas de rádio na comunidade portuguesa da Argentina. In: H. Carreiras & A. M. (Orgs.) Do Fado ao Tango. Os Portugueses na Região Platina. Lisboa: Editora Mundos Sociais, 2010.

Final da Copa do Mundo em 4K - IBC 2013 Parte I. Revista da SET, São Paulo, p. 42 - 68, 138, 2013.

Copa do Mundo em 4K por espectro. Revista da SET, São Paulo, p. 46 - 58, 144, 2014.

Novo Paradigma nas transmissões televisivas. A Copa do Mundo em 4K, XIV Congresso Internacional Ibercom 2015, 29 de março a 2 de abril, ECA/USP São Paulo, 2015

SARTORI, Giovanni. **Homo Videns – Televisão e Pós-pensamento** (S. Neto, Trans.). Lisboa: Ed. Terramar, 2000

VERÓN, Eliseo. **La semiosis social. Fragmentos de una teoría de la discursividad**. Barcelona: Gedisa, 1996.

WOLF, Mauro. **Teorias da Comunicação.** 5a ed. Lisboa: Editorial Presença, 2013.

Los Efectos Sociales de los Media (Libro de Bolsillo ed.). Madrid: Alianza Editorial, 2000.

WOLTON, Dominique. **Elogio do Grande Público**: Uma teoria crítica da televisão. Porto: Editorial Asa, 2013.

Fernando Carlos Moura é Doutor em Ciências da Linguagem e Comunicação com especialidade em Comunicação e Cultura pela Universidade Nova de Lisboa, Portugal (2010). Diploma de doutorado reconhecido pela Universidade de São Paulo (USP) como doutor em Ciências da Comunicação na área de Estudo dos Meios e da Produção Mediática. (2012). Experiência na área de Comunicação, com ênfase em *Ethnic Minority Media*, rádio e televisão. Interesse em migrações europeias, basicamente a portuguesa ao Cone Sul (Argentina, Brasil e Uruguai). Especialista em implantação de TV Digital no Brasil e América Latina com trabalhos realizados para a Revista da SET (Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão), onde desde 2013 é editor-chefe, nessa área e nas novas tecnologias de TV como 4K e 8K, transmissões televisivas e grandes eventos esportivos. Ainda é pesquisador do Centro de Investigação Media e Jornalismo (CIMJ), Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa (UNL). Email: fernandocarlosmoura@gmail.com

Cite this article:
C. Moura, F.; 2015. As mudanças nas transmissões de TV com a chegada da Super Alta Definição. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1.doi: 10.18580/setep.2015.1.10 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.10

Avaliação do Desempenho de um Sistema de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil Baseado em *Software* Livre para Geração de *Closed Caption*

Luiz Fausto de Souza Brito

Flávio Luis de Mello

Avaliação do Desempenho de um Sistema de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil Baseado em *Software* Livre para Geração de *Closed Caption*

Luiz Fausto de Souza Brito, Flávio Luis de Mello

***Abstract*— Automatic Speech Recognition (ASR) is a technique that may be applied to the generation of closed caption for live television programs with lower operating costs than stenotyping. However, there is a lack of satisfactory commercial systems that implement this technology for Brazilian Portuguese language. This paper presents the training and the comparative performance assessment of an ASR system for Brazilian Portuguese, using free software and public databases. The results analysis suggests that it is feasible to develop a system with superior performance compared to both stenotyping and currently available commercial Brazilian Portuguese ASR systems.**

***Index Terms*—Automatic Speech Recognition, Brazilian Portuguese language, Closed Caption.**

I. Introdução

A necessidade de utilização de legenda oculta (*closed caption*) na programação da televisão, tanto como recurso de acessibilidade, quanto para cumprimento de legislação específica, já foi discutida em um artigo anterior [1]. Naquele mesmo trabalho, foi apresentada a tecnologia de Reconhecimento Automático de Voz (processo de conversão do sinal de voz em uma transcrição textual correspondente), como uma alternativa à Estenotipia (digitação em tempo real utilizando símbolos fonéticos em teclado especial, convertidos em palavras de acordo com um dicionário) com menor custo operacional para viabilizar o uso de *closed caption* durante a ocorrência de fala espontânea ao vivo. Foram também apresentados alguns exemplos de utilização dessa abordagem relatados por diversos autores ao redor do mundo. Por fim, foram apresentadas as dificuldades específicas de implementação desse tipo de sistema utilizando o idioma Português do Brasil e alguns caminhos possíveis para a superação de tais dificuldades.

Entre as dificuldades relatadas está a falta de opções software comerciais de RAV em Português do Brasil otimizados para essa aplicação, citando em particular a obsolescência do IBM ViaVoice [2]. Desde então, surgiram algumas poucas opções de software comerciais de RAV utilizados para geração de legenda oculta no Brasil [3] [4], mas a acurácia relatada desses sistemas ainda está distante da meta de 98% de acerto para *closed caption* ao vivo estipulada pela norma ABNT NBR 15290 [5].

Como caminho possível para a superação dessas dificuldades, foi indicada a disponibilidade de diversas ferramentas de *software* livre que implementam os algoritmos de processamento de sinais e modelos estatísticos utilizados no Reconhecimento Automático de Voz, mas que para serem aplicadas ao Português do Brasil necessitam de treinamento com bases de dados brasileiras. Foram também indicadas algumas iniciativas que buscam disponibilizar publicamente as bases de dados necessárias para o Português do Brasil.

Este artigo apresenta os resultados de testes comparativos de desempenho de um sistema de RAV em Português do Brasil, desenvolvido a partir de ferramentas e recursos disponíveis publicamente, com o desempenho do IBM ViaVoice e da Estenotipia, uma síntese do trabalho desenvolvido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada [6].

II. Proposta de Avaliação

Neste trabalho foi realizada uma avaliação de desempenho da transcrição textual realizada por Estenotipia e por Reconhecimento Automático de Voz tomando como objetos de estudo um telejornal, um programa jornalístico sobre saúde e um programa de auditório. Estes três tipos de programas apresentam níveis distintos de dificuldade no que tange a transcrição textual, sendo o telejornal um caso menos complicado, o programa jornalístico sobre saúde um representante de um caso intermediário e o programa de auditório o caso mais complicado. O Reconhecimento Automático de Voz empregou a relocução (repetição das falas por um locutor específico em um ambiente acusticamente controlado) e utilizou o aplicativo IBM ViaVoice [2] e um

Luiz Fausto de Souza Brito é Mestre em Computação Aplicada pela Universidade Estadual do Ceará e Engenheiro de Projetos de Telecomunicações da Rede Globo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (e-mail: luiz.fausto@tvglobo.com.br).

Flávio Luis de Mello, DSc, é Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro da Escola Politécnica, do Departamento de Eletrônica e de Computação, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (e-mail: flavio.mello@del.ufrj.br).

sistema baseado em um *software* livre (CMU Sphinx) [7] treinado para o Português do Brasil utilizando bases de dados disponíveis publicamente.

O uso da relocução é conveniente porque o sistema pode ser adaptado à voz do relocutor, reduzindo a complexidade do reconhecimento de voz, por não precisar considerar a variabilidade fonética entre indivíduos. Além disso, como a relocução se dá em um ambiente acusticamente controlado, proporciona uma razão sinal/ruído melhor para o sistema de reconhecimento. Outra vantagem de utilizar a relocução, é que o relocutor pode reformular a fala, corrigindo as disfluências comuns na linguagem oral, tornando-a mais adequada a uma transcrição para a linguagem escrita. Em caso de fala muito rápida (e.g. locução esportiva), o relocutor pode resumir a fala, para que a velocidade de exibição do texto seja suficientemente lenta para permitir a leitura [8] [9]. Desta forma, o uso da relocução é uma abordagem que mitiga uma série de problemas difíceis de serem tratados computacionalmente.

O IBM ViaVoice foi utilizado como referência por ter sido o primeiro *software* de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil utilizado na geração de Legenda Oculta, sendo ainda hoje muito utilizado nesta aplicação. Chama-se a atenção para o fato de que este software foi descontinuado pelo seu fabricante e que atualmente não há atualização ou suporte técnico para o mesmo, criando uma vulnerabilidade às operações que dependem dele.

O CMU Sphinx foi escolhido para esse teste por ser um *software* de RAV livre bem conceituado atualmente, relativamente maduro (desenvolvido desde 1986) e que conta com uma comunidade de desenvolvimento bastante ativa. Além disto, contém todas as ferramentas necessárias ao treinamento e teste de um sistema de RAV, está bem documentado para permitir a realização de todos os testes pretendidos e adota uma licença de uso que não restringe sua aplicação comercial.

As bases de dados necessárias para o treinamento do CMU Sphinx são de dois tipos: um conjunto de textos (*corpus* de texto) e gravações de voz com transcrição textual (*corpus* de voz). O *corpus* de texto é utilizado para gerar o dicionário, que define o vocabulário do sistema (utilizando as palavras mais frequentes do texto) e a sequência de fonemas correspondente a cada palavra (através de conversão grafema-fonema). O *corpus* de texto também é utilizado para gerar o modelo de linguagem, que define a probabilidade de ocorrência de sequências de palavras. O *corpus* de voz é utilizado para gerar o modelo acústico, que define a correspondência entre o sinal de voz e os fonemas.

III. Material de Teste

Uma representação esquemática da preparação do material de teste é apresentada na Fig. 1.

Fig. 1. Representação esquemática da preparação do material de teste

Para os testes foram escolhidos o telejornal "Bom Dia Brasil", o programa jornalístico sobre saúde "Bem Estar" e o programa de auditório "Domingão do Faustão", todos da Rede Globo, exibidos entre os dias 18 e 19 de novembro de 2012. O primeiro contém cinco blocos com duração total de 52 minutos e 50 segundos e 7903 palavras. O segundo contém dois blocos com duração total de 38 minutos e 55 segundos e 6333 palavras. O terceiro contém quatro blocos com duração total de 1 hora, 45 minutos e 2 segundos e 14686 palavras. Os referidos programas possuíam *closed caption* produzido por Estenotipia.

Neste sentido, foi extraído o texto do *closed caption* produzido por Estenotipia (utilizando o *software* livre CCExtractor [10]). Paralelamente, foi gravada a relocução e foram feitas transcrições manuais do áudio original e relocutado. O áudio da relocução foi utilizado para reconhecimento de voz pelo IBM ViaVoice e pelo CMU Sphinx. As transcrições manuais do áudio original e relocutado, os textos produzidos por Estenotipia e as transcrições realizadas pelo IBM ViaVoice e pelo CMU Sphinx para o áudio de relocução foram comparados de modo a avaliar acurácia da Estenotipia, da relocução e de cada um dos sistemas de RAV empregados. Além disso, foi verificada a latência da Estenotipia, da relocução e dos sistemas de RAV, além do consumo de recursos computacionais dos sistemas de RAV.

A acurácia é avaliada através da taxa de erro de palavras (*WER – Word Error Rate*) [11], definida como:

$$WER = (S + O + I)/N \quad (1)$$

onde S é o número de substituições, O é o número de omissões, I é o número de inserções e N é o número total de palavras na transcrição correta. Dessa forma, a acurácia é definida como (1 - *WER*). Note-se que a acurácia é distinta da taxa de acerto, que é definida como (C / N), onde C é o número de palavras corretas. Em geral, a acurácia apresenta um valor menor que a taxa de acerto. A taxa de acerto é a métrica utilizada na ABNT NBR 15290 [5], enquanto a acurácia é a métrica preferencialmente utilizada em todo o restante da literatura sobre o assunto, inclusive neste trabalho.

Para verificação dos erros de uma transcrição, o texto deve ser alinhado com o texto de referência de forma que possibilite uma avaliação mais acertada entre as transcrições. A necessidade de alinhamento está ilustrada na comparação dos

textos *A* (referência) e *B* (transcrição sendo avaliada) com e sem alinhamento na Tabela 1.

TABELA 1
COMPARAÇÃO DE TEXTOS COM E SEM ALINHAMENTO

Comparação de Textos sem Alinhamento									
A:	começa	a	funcionar	o	reforço	no	policiamento	das	divisas
B:	começa	a	funcionar	reforço	no	policiamento	da	rede	visa
	C	***C***	***C***	***S***	***S***	***S***	***S***	***S***	***S***

Comparação de Textos com Alinhamento											
A:	começa	a	funcionar	o	reforço	no	policiamento	das	divisas		
B:	começa	a	funcionar		reforço	no	policiamento	da	rede	visa	
	C	***C***	***C***	***O***	***C***	***C***	***C***	***S***	***S***	***I***	

Sem alinhamento dos textos, a omissão ou inserção de uma palavra pode fazer com que várias palavras subsequentes que foram transcritas corretamente sejam comparadas com palavras distintas, resultando na contagem indevida de diversos erros de substituição. No exemplo apresentado, sem alinhamento, considera-se a ocorrência de 6 erros por substituições de palavras, enquanto com alinhamento, considera-se a ocorrência de apenas 4 erros (1 omissão, 2 substituições e 1 inserção).

IV. AVALIAÇÃO DA ESTENOTIPIA

O *closed caption* gerado por Estenotipia foi extraído da programação gravada em dois formatos: um deles apenas com o texto, para avaliação da acurácia da transcrição, e outro contendo a marcação de tempo de cada caractere, para avaliação da latência. Um exemplo de um trecho de *closed caption* extraído nos dois formatos está ilustrado na Tabela 2.

TABELA 2
EXEMPLO DE TRECHO DE CLOSED CAPTION EXTRAÍDO EM DOIS FORMATOS: APENAS TEXTO E TEXTO COM MARCAÇÃO DE TEMPO DE CADA CARACTERE

Closed Caption **(apenas texto)**	***Closed Caption*** **(texto com marcação de tempo de cada caractere)**
>> CHICO PINHEIRO: BOM DIA,	00:00:14,179 | >> C 00:00:14,212 | >> CHI 00:00:14,246 | >> CHICO 00:00:14,279 | >> CHICO P 00:00:14,313 | >> CHICO PIN 00:00:14,346 | >> CHICO PINHE 00:00:14,379 | >> CHICO PINHEIR 00:00:14,413 | >> CHICO PINHEIRO: 00:00:14,447 | >> CHICO PINHEIRO: B 00:00:14,480 | >> CHICO PINHEIRO: BOM 00:00:14,513 | >> CHICO PINHEIRO: BOM 00:00:14,547 | >> CHICO PINHEIRO: BOM DI 00:00:14,613 | >> CHICO PINHEIRO: BOM DIA,

A. *Acurácia*

Nesta etapa de teste, foi realizada a transcrição manual do áudio dos programas, para ser comparada com o texto da Estenotipia. Em ambos os textos, todos os caracteres foram substituídos por letras minúsculas, todas as abreviações e números foram reescritos por extenso e foram removidos todos os sinais de pontuação e caracteres especiais. O texto da Estenotipia continha, em alguns casos, a identificação da pessoa cuja fala estava sendo transcrita (como no exemplo da Tabela 2, com o nome do apresentador do telejornal). Para possibilitar a comparação dos textos da Estenotipia com a transcrição manual das falas, tais identificações foram manualmente removidas. Embora a Estenotipia permita correção do *closed caption* em tempo real (apagando caracteres), a inserção e apagamento de caracteres podem ser observados apenas no texto com marcação de tempo. No texto sem marcação de tempo, que foi utilizado na avaliação da acurácia, aparecem apenas as linhas finalizadas após eventuais correções.

Os resultados de acurácia obtidos são apresentados na Tabela 3. Observe que as acurácias obtidas para o programa jornalístico sobre saúde e para o programa de auditório são significativamente inferiores àquela obtida no telejornal, um fenômeno que retrata a dificuldade da transcrição em situações onde os oradores possuem falas mais espontâneas.

TABELA 3
ACURÁCIA DA ESTENOTIPIA

Telejornal (Bom Dia Brasil)			
Duração:	52m50s		
Número de Palavras:	7903		
Acertos:	6710 (84,90%)		
Erros:	1420 (17,97%)	*Substituições:*	550 (6,96%)
		Omissões:	643 (8,14%)
		Inserções:	227 (2,87%)
Acurácia:	82,03%		
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)			
Duração:	38m55s		
Número de Palavras:	6333		
Acertos:	4240 (66,95%)		
Erros:	2313 (36,52%)	*Substituições:*	844 (13,33%)
		Omissões:	1249 (19,72%)
		Inserções:	220 (3,47%)
Acurácia:	63,48%		
Programa de Auditório (Domingão do Faustão)			
Duração:	01h45m02s		
Número de Palavras:	14686		
Acertos:	8934 (60,83%)		
Erros:	5917 (40,29%)	*Substituições:*	1324 (9,02%)
		Omissões:	4428 (30,15%)
		Inserções:	165 (1,12%)
Acurácia:	59,71%		
TOTAL			
Duração:	03h16m47s		
Número de Palavras:	28922		
Acertos:	19884 (68,75%)		
Erros:	9650 (33,37%)	*Substituições:*	2718 (9,40%)
		Omissões:	6320 (21,85%)
		Inserções:	612 (2,12%)
Acurácia:	66,63%		

B. *Latência*

A latência da Estenotipia foi avaliada comparando-se os tempos de fim de três frases no áudio do programa com os tempos de exibição do último caractere de cada uma dessas frases no *closed caption*. Desta forma, verificou-se a latência média de 4,034 segundos.

V. AVALIAÇÃO DA RELOCUÇÃO

A relocução do material de teste foi gravada em ambiente residencial, sem controle acústico e sem um sistema de áudio profissional, pelo próprio autor deste trabalho.

A. *Acurácia*

Neste teste foi realizada uma transcrição manual do áudio da relocução, para ser comparada com a transcrição manual do áudio original. Todos os caracteres foram substituídos por letras minúsculas, todas as abreviações e números foram

reescritos por extenso e foram removidos todos os sinais de pontuação e caracteres especiais. Os resultados de acurácia obtidos podem ser observados na Tabela 4.

TABELA 4
ACURÁCIA DA RELOCUÇÃO

Telejornal (Bom Dia Brasil)			
Duração:	52m50s		
Número de Palavras:	7903		
Acertos:	7833 (99,11%)		
Erros:	87 (1,10%)	*Substituições:*	38 (0,48%)
		Omissões:	32 (0,40%)
		Inserções:	17 (0,22%)
Acurácia:	98,90%		
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)			
Duração:	38m55s		
Número de Palavras:	6333		
Acertos:	6043 (95,42%)		
Erros:	317 (5,01%)	*Substituições:*	210 (3,32%)
		Omissões:	80 (1,26%)
		Inserções:	27 (0,43%)
Acurácia:	94,99%		
Programa de Auditório (Domingão do Faustão)			
Duração:	01h45m02s		
Número de Palavras:	14686		
Acertos:	13906 (94,69%)		
Erros:	1058 (7,20%)	*Substituições:*	461 (3,14%)
		Omissões:	319 (2,17%)
		Inserções:	278 (1,89%)
Acurácia:	92,80%		
TOTAL			
Duração:	03h16m47s		
Número de Palavras:	28922		
Acertos:	27782 (96,06%)		
Erros:	1462 (5,05%)	*Substituições:*	709 (2,45%)
		Omissões:	431 (1,49%)
		Inserções:	322 (1,11%)
Acurácia:	94,95%		

B. *Latência*

A latência da relocução foi avaliada comparando-se os tempos de fim de três frases no áudio do programa e no áudio da relocução. Desta forma, verificou-se a latência média de 1,059 segundo.

VI. AVALIAÇÃO DO IBM VIAVOICE

O IBM ViaVoice já vem treinado para o Português do Brasil, com um dicionário, um modelo de linguagem e um modelo acústico independente de locutor previamente definidos. Apenas os seguintes ajustes são possíveis no IBM ViaVoice: (1) adaptação do dicionário e do modelo de linguagem; (2) adaptação do modelo acústico (adaptação de locutor); (3) ajuste do desempenho de reconhecimento (rápido, equilibrado, preciso ou automático). Nestes testes foi utilizado o ajuste de desempenho de reconhecimento preciso.

A. *Adaptação do Dicionário e do Modelo de Linguagem*

A adaptação do dicionário e do modelo de linguagem do IBM ViaVoice requer um ou mais textos, dos quais são extraídos o vocabulário e a probabilidade de sequências de palavras.

O texto utilizado nessa adaptação foi extraído das páginas de Internet hospedadas no domínio globo.com em 17 de novembro de 2012. Em seguida, o texto passou por um processo de revisão manual, para remoção dos erros eventualmente presentes (sobretudo provenientes de comentários publicados por usuários nos *sites*). O texto resultante possuía 100.954 sentenças e 1.707.869 palavras, com vocabulário de 53.633 palavras distintas.

B. *Adaptação do Modelo Acústico*

Para a adaptação do modelo acústico (adaptação de locutor), o IBM ViaVoice utiliza um conjunto de textos padrão que vêm com o aplicativo, composto por 1.027 sentenças e 6.622 palavras, com vocabulário de 1.953 palavras distintas.

C. *Acurácia*

A transcrição da relocução realizada pelo IBM ViaVoice foi comparada com a transcrição manual da relocução. Os resultados de acurácia obtidos são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5
ACURÁCIA DO IBM VIAVOICE

Telejornal (Bom Dia Brasil)			
Duração:	52m50s		
Número de Palavras:	7883		
Acertos:	6615 (83,91%)		
Erros:	1650 (20,93%)	*Substituições:*	1011 (12,82%)
		Omissões:	357 (4,53%)
		Inserções:	282 (3,58%)
Acurácia:	79,07%		
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)			
Duração:	38m55s		
Número de Palavras:	6278		
Acertos:	4488 (71,49%)		
Erros:	2020 (32,18%)	*Substituições:*	1419 (22,60%)
		Omissões:	371 (5,91%)
		Inserções:	230 (3,67%)
Acurácia:	67,82%		
Programa de Auditório (Domingão do Faustão)			
Duração:	01h45m02s		
Número de Palavras:	14641		
Acertos:	9497 (64,87%)		
Erros:	5617 (38,36%)	*Substituições:*	4006 (27,36%)
		Omissões:	1138 (7,77%)
		Inserções:	473 (3,23%)
Acurácia:	61,64%		
TOTAL			
Duração:	03h16m47s		
Número de Palavras:	28802		
Acertos:	20600 (71,52%)		
Erros:	9287 (32,24%)	*Substituições:*	6436 (22,34%)
		Omissões:	1866 (6,48%)
		Inserções:	985 (3,42%)
Acurácia:	67,76%		

D. *Latência*

A latência foi avaliada comparando os tempos de fim de três frases no áudio da relocução e na transcrição do IBM ViaVoice. Verificou-se a latência média de 2,098 segundos.

E. *Consumo de recursos computacionais*

O IBM ViaVoice, durante a operação de reconhecimento, ocupou menos de 20% de um único núcleo da CPU do computador (Intel Core i5 de 2,4 GHz) e menos de 70 MB de RAM.

VII. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE RAV BASEADO EM *SOFTWARE* LIVRE

Originalmente, o CMU Sphinx não possui nenhum dicionário, modelo de linguagem ou modelo acústico para o Português do Brasil. No presente teste, esses recursos foram desenvolvidos utilizando apenas bases de dados disponíveis publicamente.

A. Criação do Dicionário e do Modelo de Linguagem

A criação do dicionário e do modelo de linguagem é feita a partir de um *corpus* de texto. Foi gerado um *corpus* de texto de uso geral e um *corpus* de texto específico para cada programa utilizado no teste (Bom Dia Brasil, Bem Estar e Domingão do Faustão).

O *corpus* de texto de uso geral foi gerado pela concatenação do TextCorpora1.5 desenvolvido pelo grupo FalaBrasil da UFPA [12], com os textos extraídos do domínio globo.com para adaptação do dicionário e do modelo de linguagem do IBM ViaVoice. Todos os caracteres foram substituídos por letras minúsculas, todas as abreviações e números foram reescritos por extenso e foram removidos todos os sinais de pontuação e caracteres especiais. O *corpus* de texto foi organizado com uma sentença por linha e com marcações especiais de início (<s>) e fim (</s>) em cada sentença. Por fim, o *corpus* de texto resultante possuía 1.593.389 sentenças e 24.746.658 palavras, com vocabulário de 210.446 palavras distintas. Um trecho do *corpus* de texto pode ser visto na Fig. 2.

<s> o fim do mundo em dois mil e doze é um dos temas de maior sucesso na internet </s>

<s> uma infinidade de vídeos fotos textos e teorias defende que nós não vamos passar dessa data </s>

<s> o dia teria sido previsto pelos maias antigo povo do méxico e américa central que tinha grande conhecimento astronômico </s>

<s> vários fatores se apresentam como candidatos a acabar com nosso planeta o inimigo mais assustador e mais comentado pelos teóricos é chamado de nibiru </s>

<s> um planeta desconhecido do sistema solar que estaria vindo em direção à terra </s>

<s> e ao passar perto ou se chocar com a gente ocorreria uma explosão </s>

Fig. 2. Trecho do *corpus* de texto

O *corpus* de texto específico para cada programa utilizou, além dos textos utilizados no *corpus* de texto de uso geral, 50% das sentenças da transcrição manual da relocução do programa, selecionadas ao acaso. A transcrição manual foi segmentada também manualmente em sentenças correspondentes à segmentação do áudio da relocução de forma automática pela detecção de silêncios.

A Perplexidade é um conceito da Teoria da Informação relacionado à entropia, podendo ser definido por: $P = 2^E$, onde P é a perplexidade e E é a entropia. A perplexidade de um modelo de linguagem pode ser interpretada como o grau de dificuldade de prever a próxima palavra em um texto utilizando o referido modelo. Por exemplo, um valor de perplexidade de 200 corresponde à mesma dificuldade de prever uma palavra dentre uma lista de 200 palavras equiprováveis. Portanto, quanto menor o valor da perplexidade do modelo de linguagem mais ele contribui para a acurácia do sistema de Reconhecimento Automático de Voz [11].

O texto selecionado do telejornal possuía 82 sentenças e 4.011 palavras, com vocabulário de 1.333 palavras distintas. O texto selecionado do programa jornalístico sobre saúde possuía 76 sentenças e 3.056 palavras, com vocabulário de 939 palavras distintas. O texto selecionado do programa de auditório possuía 341 sentenças e 7.690 palavras, com vocabulário de 1.569 palavras distintas. Como o texto da transcrição manual da relocução dos programas era muito menor que o texto utilizado no *corpus* de texto de uso geral, ele poderia não modificar de forma muito significativa a probabilidade de sequências de palavras. Por isso, essas sentenças foram acrescentadas repetidamente ao *corpus* de texto de uso geral, até que não houvesse redução na perplexidade do modelo de linguagem resultante.

A variação observada da perplexidade do modelo de linguagem do programa de auditório com o número de repetições da transcrição de parte do programa no *corpus* de texto está ilustrado na Fig. 3.

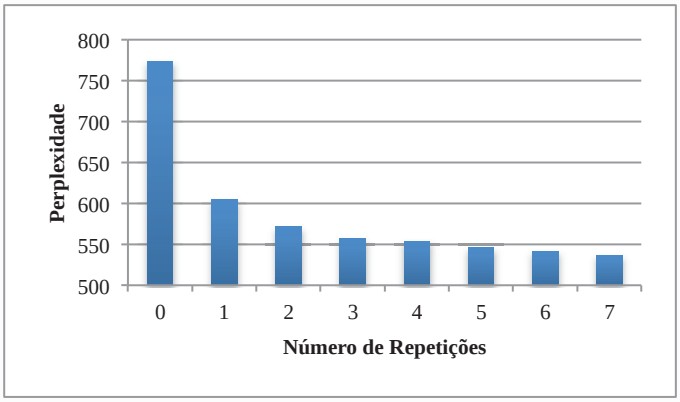


Fig. 3. Variação da perplexidade do modelo de linguagem do programa Domingão do Faustão com o número de repetições da transcrição de parte do programa no corpus de texto

De cada *corpus* de texto produzido, foram extraídas as 65535 palavras mais frequentes, para que o vocabulário fosse compatível com a utilização de índices de 16 bits do CMU Sphinx. Os modelos de linguagem foram gerados a partir de cada vocabulário, de cada *corpus* de texto e da lista de símbolos de contexto (<s> e </s>). Foram gerados modelos de linguagem trigrama (em que a probabilidade de uma palavra é condicionada às duas palavras anteriores), com vocabulário aberto (em que é atribuída uma probabilidade à ocorrência de palavras fora do dicionário).

Cada vocabulário gerado nas etapas anteriores (excluindo o cabeçalho e as entradas <s> e </s>) foi transformado em dicionário com transcrição fonética utilizando um *software* livre de conversão grafema-fonema do grupo FalaBrasil da UFPA [12] que utiliza um conjunto de 38 fonemas. Os fonemas utilizados por esse *software* são representados por combinações de letras maiúsculas, minúsculas e símbolos.

Essas representações precisaram ser alteradas para garantir a compatibilidade com o CMU Sphinx, que não diferencia letras maiúsculas e minúsculas e não aceita símbolos. Um dicionário separado foi construído com as entradas <s>, </s> e <sil>, mapeando todas para o mesmo símbolo fonético (SIL), correspondente ao silêncio. Foi gerada ainda uma lista dos símbolos fonéticos usados nos dicionários (nesse caso, 38 fonemas e um silêncio). A lista dos símbolos fonéticos utilizados pode ser vista na Fig. 4.

SIL	v	ww	ii	oo	sm	u	k
om	lm	z	e	aa	n	d	b
em	g	dz	t	uu	j	f	s
jm	jj	ee	rm	r	xm	i	a
p	zm	m	w	l	o	ts	

Fig. 4. Lista dos símbolos fonéticos utilizados

Um trecho ilustrativo do dicionário pode ser visto na Fig. 5.

diferencia	dz i f e r ee s i a
diferenciada	dz i f e r ee s i a d a
diferenciadas	dz i f e r ee s i a d a s
diferenciado	dz i f e r ee s i a d u
diferenciados	dz i f e r ee s i a d u s
diferenciais	dz i f e r ee s i a j s
diferencial	dz i f e r ee s i a w
diferenciam	dz i f e r ee s i aa ww
diferenciar	dz i f e r ee s i a xm
diferenciação	dz i f e r ee s i a s aa ww
diferencie	dz i f e r ee s i
diferenciou	dz i f e r ee s i o w

Fig. 5. Trecho do dicionário

B. *Taxa de palavras fora do dicionário e perplexidade do modelo de linguagem*

Os dicionários e os modelos de linguagem gerados foram avaliados, respectivamente quanto à taxa de palavras fora do dicionário e quanto à perplexidade, em relação à transcrição manual da relocução dos programas utilizados no teste. É importante ressaltar que foram consideradas apenas as sentenças não utilizadas nos *corpora* de texto específicos de cada programa.

Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 6. Para cada programa obteve-se a taxa de palavras fora do dicionário, considerando um dicionário de uso de geral e um dicionário específico de cada programa, bem como a perplexidade do modelo de linguagem, considerando um modelo de linguagem de uso geral e um modelo de linguagem específico de cada programa.

TABELA 6
TAXA DE PALAVRAS FORA DO DICIONÁRIO E PERPLEXIDADE DO MODELO DE LINGUAGEM

	Taxa de palavras fora do dicionário		**Perplexidade**	
	Dicionário de uso geral	**Dicionário específico do programa**	**Modelo de linguagem de uso geral**	**Modelo de linguagem específico do programa**
Bom Dia Brasil	0,57%	0,47%	266,22	246,74
Bem Estar	1,34%	1,27%	666,42	589,79
Domingão do Faustão	2,30%	1,37%	773,50	536,94

C. *Treinamento do Modelo Acústico*

Para treinamento do modelo acústico é necessário possuir um *corpus* de voz, que deve consistir em um conjunto de arquivos de áudio contendo a gravação da fala segmentada em trechos de curta duração (idealmente de 5 a 30 segundos) e uma transcrição textual dessas gravações.

Foram treinados três modelos acústicos: um utilizando apenas uma voz masculina, um utilizando diversas vozes masculinas e um utilizando vozes masculinas e femininas.

Para o primeiro modelo (treinado com *corpus* mais reduzido, apenas com uma voz masculina), foi utilizado apenas o *corpus* Constituição1.0 do grupo FalaBrasil da UFPA [12], com 1.238 sentenças, 68.575 palavras, vocabulário de 5.305 palavras distintas, 8 horas, 50 minutos e 12 segundos de gravação de um único locutor do sexo masculino, lendo textos da Constituição Federal em um ambiente controlado (estúdio).

Para o segundo modelo (treinado com *corpus* intermediário, com vozes masculinas apenas), foram incluídas mais gravações de vozes masculinas, provenientes do *corpus* LapsBenchMark1.4 do grupo FalaBrasil da UFPA com 500 sentenças, 5.166 palavras, vocabulário de 2.102 palavras distintas, 38 minutos e 10 segundos de gravação em ambiente não controlado, da voz de 25 homens com aproximadamente a mesma duração. Além disto, foi acrescido o material do *site* VoxForge, com 1.828 sentenças, 9.173 palavras, vocabulário de 584 palavras distintas, 1 hora, 51 minutos e 24 segundos de gravação em ambiente não controlado, da voz de 78 homens com duração variável [13].

Para o terceiro modelo (treinado com *corpus* maior, com vozes masculinas e femininas), foram incluídas também as gravações de vozes femininas provenientes do *corpus* LapsBenchMark1.4 do grupo FalaBrasil da UFPA, com 200 sentenças, 2.062 palavras, vocabulário de 1.064 palavras distintas, 15 minutos e 51 segundos de gravação em ambiente não controlado, da voz de 10 mulheres com aproximadamente a mesma duração. Neste caso também foi acrescido o material do *site* VoxForge, com 180 sentenças, 855 palavras, vocabulário de 351 palavras distintas, 9 minutos e 30 segundos de gravação em ambiente não controlado, da voz de 6 mulheres com duração variável, removendo as gravações em Português de Portugal e as gravações que estavam ininteligíveis (nível de áudio excessivamente baixo, ruído ou distorção excessivamente altos).

A maioria das configurações do treinamento do modelo acústico foram mantidas conforme o padrão do CMU Sphinx, exceto os seguintes itens:

- **LDA/MLLT**

Por padrão, o processamento digital do sinal de voz do CMU Sphinx utiliza um vetor de parâmetros MFCC (*Mel-Frequency Cepstral Coefficients*), que utiliza os 12 primeiros coeficientes da DCT do logaritmo do espectro de potência na escala de frequência Mel (escala de frequência subjetivamente linear), mais um coeficiente que representa a energia média do sinal, além da primeira e da segunda derivada desses 13 coeficientes, denominados de coeficientes dinâmicos, “delta” ou vetores de velocidade e aceleração, que ajudam a caracterizar os efeitos

coarticulatórios, formando um vetor de parâmetros ou de características com 39 coeficientes [11] [14] [15] [16].

O vetor de parâmetros ou de características é utilizado no modelo acústico para reconhecimento dos padrões fonéticos. É possível otimizar esses parâmetros utilizando uma transformação linear que melhore a separabilidade entre os padrões a serem reconhecidos, o que produz um impacto positivo sobre a acurácia do sistema. Além disso, tal transformação descorrelaciona as dimensões do vetor de parâmetros e é possível reduzir a dimensão desse vetor (por exemplo, de 39 para 32) sem reduzir significativamente a acurácia, o que reduz o custo computacional do reconhecimento. Por isso, foi habilitada a criação de uma matriz de transformação do vetor de parâmetros utilizando duas transformações conhecidas que podem ser utilizadas em conjunto para aumentar a acurácia e reduzir o custo do reconhecimento: *Linear Discriminant Analysis* (LDA) e *Maximum Likelihood Linear Transform* (MLLT), com 32 dimensões [7] [11].

- **multithread**

A fim de reduzir o tempo necessário ao treinamento do modelo acústico, foi habilitado o processamento *multithread* (até 4 *threads* simultâneos, correspondendo ao limite do processador empregado).

- **forced alignment**

Foi habilitado também o alinhamento forçado (*forced alignment*), que não inclui no treinamento os arquivos de áudio que não puderem ser alinhados com as suas respectivas transcrições textuais.

O alinhamento das transcrições textuais com o áudio é realizado através de uma decodificação ou busca da sequência de palavras mais provável para a sequência de parâmetros extraída do sinal de voz. Idealmente, a busca deveria considerar todas as hipóteses possíveis para a sequência de estados. Como o cálculo de todos os caminhos possíveis dentro da árvore ou grafo do espaço de busca pode ser proibitivo pelo tamanho do vocabulário e pela complexidade dos modelos acústico e de linguagem, a busca pode ser otimizada computacionalmente se forem desconsiderados ("podados") os ramos mais improváveis. Note-se que há o risco de desconsiderar prematuramente um ramo pertencente ao caminho com maior probabilidade global, introduzindo erros de decodificação devido a essa "poda". Trata-se de uma decisão de compromisso entre custo computacional e acurácia. Há vários mecanismos de "poda" empregados na decodificação dos sistemas de RAV. O mais frequente é o controle de feixe (*beam*), em que são considerados apenas os ramos cuja probabilidade não caia abaixo de um limiar proporcional à probabilidade do ramo mais provável [11] [17].

O alinhamento forçado utilizou um controle de feixe (*beam*) com limiar muito baixo (10^{-100}), para evitar que um arquivo de áudio com transcrição correta pudesse ser indevidamente descartado.

- **modelo de conversão grafema-fonema**

Também foi habilitado o treinamento de um modelo de conversão grafema-fonema, que permite que sejam empregadas no treinamento do modelo acústico palavras que não constem no dicionário fonético utilizado (embora, para o treinamento de cada modelo acústico tenha sido utilizado um dicionário fonético específico com as 65.535 palavras mais frequentes do *corpus* de voz utilizado).

- **senones / gaussianas**

O modelo acústico do CMU Sphinx utiliza HMM (*Hidden Markov Model* – Modelo Oculto de Markov). Nesse modelo, assume-se que o processo segue uma sequência de estados que não são diretamente observáveis. A observação indireta, no caso, corresponde a um vetor de características extraído do sinal de voz. Os estados poderiam corresponder a fonemas mas, para levar em consideração as variações na realização de cada fonema devidas aos efeitos coarticulatórios, os fonemas são diferenciados pelo contexto de vizinhança fonética, utilizando "trifones" (um trifone representa um único fonema, dados o fonema anterior e o fonema posterior) e, para maior acurácia do sistema, divide-se cada trifone em três estados, denominados "senones", sendo o primeiro correspondente ao início do fonema, cuja observação é influenciada pelo efeito coarticulatório da transição a partir do fonema anterior, o segundo estado corresponde à parte intermediária e mais estável do fonema e o terceiro estado corresponde à parte final do fonema, cuja observação é influenciada pelo efeito coarticulatório da transição para o próximo fonema [11].

Um modelo HMM é caracterizado pelas probabilidades iniciais dos estados (representadas por um vetor), pelas probabilidades de transição entre os estados (representadas por uma matriz) e pelas probabilidades de observação. As probabilidades de observação são modeladas, normalmente, por uma mistura de gaussianas, pela flexibilidade que tal mistura oferece de aproximar qualquer distribuição de probabilidade. Uma mistura de gaussianas é representada pelo vetor das médias e matriz de covariância de cada componente e por um vetor com os pesos de cada componente [16].

Para reduzir a dimensionalidade do modelo pode-se associar as probabilidades dos estados (senones) semelhantes, tais como os estados intermediários dos trifones que representam o mesmo fonema e os estados inicial e final dos trifones que representam o mesmo fonema e que podem ser agrupadas por categorias fonéticas dos fonemas anteriores e posteriores, respectivamente [17].

Os dois parâmetros de configuração reconhecidamente mais críticos para a acurácia do sistema (devido ao impacto sobre a complexidade e a treinabilidade), cujos valores ótimos dependem do *corpus* de voz utilizado, foram ajustados de forma iterativa para cada modelo acústico: o número de senones (equivalente ao número de estados a serem treinados no Modelo Oculto de Markov, controlando o quanto os estados de trifones "semelhantes" são agrupados) e o número de gaussianas a serem treinadas para cada estado na modelagem das probabilidades de observação por mistura de gaussianas.

O modelo acústico inicial foi treinado com 250 senones e com número gaussianas inicial de 1 e final de 64 (gerando modelos com 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 gaussianas). Nas etapas de adaptação de locutor e decodificação, detalhadas a seguir, foram utilizados os modelos a partir de 64 gaussianas, reduzindo o número de gaussianas até que não houvesse melhoria na acurácia do modelo adaptado. Em seguida, o modelos acústicos foram treinados novamente dobrando o número de senones e refazendo as etapas de adaptação de locutor e decodificação até que não houvesse melhoria na acurácia do modelo adaptado. Dessa forma, foram determinados o número ótimo (dentre os testados e quanto à acurácia) de senones e de gaussianas para cada modelo acústico. Por exemplo, para o modelo acústico treinado com apenas uma voz masculina, foi selecionada a configuração com 1000 senones e 16 gaussianas, como pode ser verificado pelos resultados de acurácia da Tabela 7.

TABELA 7
IMPACTO SOBRE A ACURÁCIA DO NÚMERO DE SENONES E GAUSSIANAS DO MODELO ACÚSTICO TREINADO COM UMA ÚNICA VOZ MASCULINA

		Senones			
		250	**500**	**1000**	**2000**
Gaussianas	**1**	-	-	-	69,50%
	2	-	-	-	69,60%
	4	-	-	-	69,51%
	8	-	-	69,52%	69,20%
	16	-	-	69,64%	69,15%
	32	66,94%	68,48%	69,43%	67,76%
	64	67,06%	68,67%	68,67%	62,52%

D. *Adaptação do Modelo Acústico*

Na adaptação do modelo acústico para a voz de um locutor específico (adaptação de locutor), é necessário um novo *corpus* de voz, com gravações da voz deste locutor. Para construção desse *corpus*, foram utilizados os mesmos arquivos de áudio gravados para a adaptação de locutor do IBM ViaVoice e os arquivos de áudio correspondentes às gravações das sentenças selecionadas para geração do *corpus* de texto específico de cada programa utilizado no teste, com 98 minutos e 23 segundos.

Na adaptação de locutor, duas técnicas são empregadas com frequência: MLLR (*Maximum Likelihood Linear Regression*) e MAP (*Maximum a Posteriori*). A técnica MLLR calcula matrizes de transformação dos vetores de médias das gaussianas do modelo acústico independente de locutor de forma a maximizar a probabilidade de observação dos vetores de parâmetros extraídos do *corpus* de adaptação. A técnica MAP ajusta todos os parâmetros do modelo acústico, interpolando o modelo original com um novo modelo treinado a partir do *corpus* de adaptação. O hiperparâmetro τ (tau) é usado para controlar o peso do modelo disponível *a priori*. A técnica MLLR possui custo computacional mais baixo e resulta em maior acurácia caso o *corpus* de adaptação seja muito pequeno. A técnica MAP possui custo computacional mais alto e resulta em maior acurácia caso o *corpus* de adaptação seja um pouco maior. A combinação das técnicas MLLR e MAP resulta na melhor acurácia para qualquer tamanho de *corpus* de adaptação [7] [11]. Assim, foi feita a adaptação de locutor através de MLLR e MAP, usando um valor fixo (100) para o hiperparâmetro τ (tau).

E. *Acurácia*

Para o teste de acurácia, foi utilizado o áudio de relocução das sentenças que não foram utilizadas na adaptação do modelo acústico. Para cada programa, foram empregados o dicionário e o modelo de linguagem específicos de cada programa gerados anteriormente. Foram usados os três modelos acústicos treinados e adaptados anteriormente.

Dada uma sequência de vetores de parâmetros X extraída de um sinal de voz através do processamento digital, a tarefa do Reconhecimento Automático de Voz é determinar a sequência correspondente de palavras W mais provável. Em termos probabilísticos, deseja-se descobrir a sequência de palavras W que maximiza a probabilidade condicional $P(W|X)$. Como essa probabilidade não é conhecida *a priori*, podemos utilizar o teorema de Bayes para inverter essa probabilidade condicional [15] [18]:

$$P(W|X) = P(X|W) \cdot P(W)/P(X) \quad (2)$$

Como a maximização de $P(W|X)$ é calculada com X fixo, isso equivale a maximizar:

$$P(X|W) \cdot P(W) \quad (3)$$

Isso permite a separação do problema do Reconhecimento Automático de Voz em dois problemas distintos: (1) um modelo acústico, $P(X|W)$ e; (2) um modelo de linguagem, $P(W)$.

O espaço de busca pode ser definido em um único modelo HMM integrando os modelos acústico, $P(X|W)$, e de linguagem, $P(W)$, em que, opcionalmente, pode-se atribuir empiricamente um peso diferenciado (LW) para o modelo de linguagem, $P(W)^{LW}$, para otimizar a acurácia [11].

O peso do modelo de linguagem (LW) foi ajustado de forma iterativa em cada programa, iniciando com LW=1 e somando 1 até que não houvesse melhoria na acurácia da decodificação. Um exemplo da variação de acurácia com o peso do modelo de linguagem, para o programa Bom Dia Brasil, utilizando o modelo acústico treinado com *corpus* maior, pode ser observado na Fig. 6.

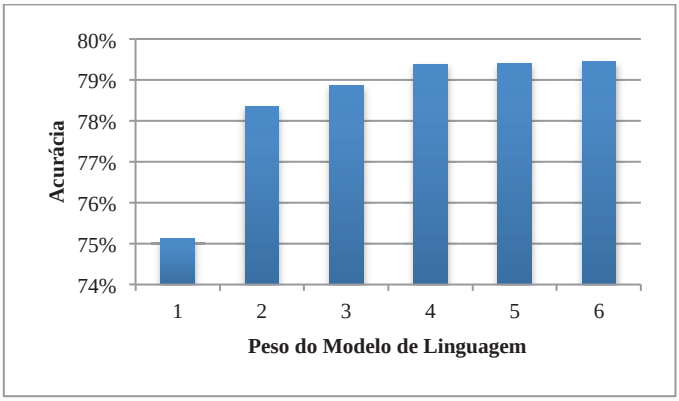


Fig. 6. Variação da acurácia com peso do modelo de linguagem, para o programa Bom Dia Brasil, utilizando o modelo acústico treinado com corpus maior

O modelo de linguagem também funciona como uma penalidade para inserir novas palavras durante a decodificação, isto é, com uma penalidade pequena o decodificador prefere utilizar mais palavras de menor duração e com uma penalidade alta o decodificador prefere utilizar menos palavras de maior duração. Ao modificar o peso do modelo de linguagem, essa penalidade é alterada. Uma penalidade para inserção de novas palavras (*IP*) pode ser incluída no modelo de linguagem, $P(W)^{LW} \cdot IP^{N(W)}$, onde $N(W)$ é o número de palavras, podendo também ser ajustada empiricamente para maximizar a acurácia [11]. Foi ajustada a mesma penalidade para inserção de novas palavras (*IP*) para todos os programas de forma iterativa, iniciando com *IP*=0,1 e somando 0,1 até que não houvesse melhoria na acurácia da decodificação, resultando no valor de *IP*=6,4.

A decodificação utilizou um controle de feixe (*beam*) com limiar muito baixo (10^{-100}), para evitar erros de decodificação devido à possível "poda" prematura de uma hipótese correta. Finalmente, a transcrição gerada foi comparada com a transcrição manual.

A execução de todos os processos de treinamento e teste do CMU Sphinx consumiu o equivalente a mais de 17 dias de processamento ininterrupto de um computador dedicado a essa atividade (utilizando um Apple Mac mini do final de 2012, com processador Intel Core i5 de 2,5 GHz, 16 GB de RAM e sistema operacional OS X 10.9.4), mesmo com a execução de *threads* paralelos quando possível.

Os resultados obtidos empregando o modelo acústico treinado com *corpus* mais reduzido, apenas com uma voz masculina, podem ser observados na Tabela 8.

TABELA 8
ACURÁCIA DO SISTEMA DE RAV BASEADO EM SOFTWARE LIVRE UTILIZANDO MODELO ACÚSTICO TREINADO COM *CORPUS* MAIS REDUZIDO, COM APENAS UMA VOZ MASCULINA

Telejornal (Bom Dia Brasil)			
Duração:	26m25s		
Número de Palavras:	3862		
Peso do Modelo de Linguagem:	4		
Acertos:	3129 (81,02%)		
Erros:	833 (21,57%)	*Substituições:*	544 (14,09%)
		Omissões:	189 (4,89%)
		Inserções:	100 (2,59%)
Acurácia:	78,43%		
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)			
Duração:	19m28s		
Número de Palavras:	3219		
Peso do Modelo de Linguagem:	5		
Acertos:	2218 (68,90%)		
Erros:	1077 (33,46%)	*Substituições:*	738 (22,93%)
		Omissões:	263 (8,17%)
		Inserções:	76 (2,36%)
Acurácia:	66,54%		
Programa de Auditório (Domingão do Faustão)			
Duração:	37m31s		
Número de Palavras:	6947		
Peso do Modelo de Linguagem:	4		
Acertos:	4785 (68,88%)		
Erros:	2349 (33,81%)	*Substituições:*	1586 (22,83%)
		Omissões:	576 (8,29%)
		Inserções:	187 (2,69%)
Acurácia:	66,19%		
TOTAL			
Duração:	01h38m24s		
Número de Palavras:	14028		
Senones:	1000		
Gaussianas:	16		
Acertos:	10132 (72,23%)		
Erros:	4259 (30,36%)	*Substituições:*	2868 (20,44%)
		Omissões:	1028 (7,33%)
		Inserções:	363 (2,59%)
Acurácia:	69,64%		

Os resultados obtidos com o modelo acústico treinado com *corpus* intermediário, com vozes masculinas apenas, podem ser observados na Tabela 9.

TABELA 9
ACURÁCIA DO SISTEMA DE RAV BASEADO EM SOFTWARE LIVRE UTILIZANDO MODELO ACÚSTICO TREINADO COM *CORPUS* INTERMEDIÁRIO, COM VOZES MASCULINAS APENAS

Telejornal (Bom Dia Brasil)			
Duração:	26m25s		
Número de Palavras:	3862		
Peso do Modelo de Linguagem:	3		
Acertos:	3184 (82,44%)		
Erros:	789 (20,43%)	*Substituições:*	511 (13,23%)
		Omissões:	167 (4,33%)
		Inserções:	111 (2,87%)
Acurácia:	79,57%		
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)			
Duração:	19m28s		
Número de Palavras:	3219		
Peso do Modelo de Linguagem:	3		
Acertos:	2251 (69,93%)		
Erros:	1072 (33,30%)	*Substituições:*	722 (22,43%)
		Omissões:	246 (7,64%)
		Inserções:	104 (3,23%)
Acurácia:	66,70%		
Programa de Auditório (Domingão do Faustão)			
Duração:	37m31s		
Número de Palavras:	6947		
Peso do Modelo de Linguagem:	4		
Acertos:	4915 (70,75%)		
Erros:	2225 (32,03%)	*Substituições:*	1458 (20,99%)
		Omissões:	574 (8,26%)
		Inserções:	193 (2,78%)
Acurácia:	67,97%		

TOTAL			
Duração:	01h38m24s		
Número de Palavras:	14028		
Senones:	2000		
Gaussianas:	4		
Acertos:	10350 (73,78%)		
Erros:	4086 (29,13%)	*Substituições:*	2691 (19,18%)
		Omissões:	987 (7,04%)
		Inserções:	408 (2,91%)
Acurácia:	70,87%		

Por fim, os resultados obtidos com o modelo acústico treinado com *corpus* maior, com vozes masculinas e femininas, podem ser observados na Tabela 10.

TABELA 10
ACURÁCIA DO SISTEMA DE RAV BASEADO EM SOFTWARE LIVRE UTILIZANDO MODELO ACÚSTICO TREINADO COM *CORPUS* MAIOR, COM VOZES MASCULINAS E FEMININAS

Telejornal (Bom Dia Brasil)			
Duração:	26m25s		
Número de Palavras:	3862		
Peso do Modelo de Linguagem:	6		
Acertos:	3160 (81,82%)		
Erros:	794 (20,56%)	*Substituições:*	515 (13,34%)
		Omissões:	187 (4,84%)
		Inserções:	92 (2,38%)
Acurácia:	79,44%		
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)			
Duração:	19m28s		
Número de Palavras:	3219		
Peso do Modelo de Linguagem:	3		
Acertos:	2292 (71,20%)		
Erros:	1031 (32,03%)	*Substituições:*	723 (22,46%)
		Omissões:	204 (6,34%)
		Inserções:	104 (3,23%)
Acurácia:	67,97%		

Programa de Auditório (Domingão do Faustão)			
Duração:	37m31s		
Número de Palavras:	6947		
Peso do Modelo de Linguagem:	4		
Acertos:	4915 (70,75%)		
Erros:	2219 (31,94%)	*Substituições:*	1482 (21,33%)
		Omissões:	550 (7,92%)
		Inserções:	187 (2,69%)
Acurácia:	68,06%		
TOTAL			
Duração:	01h38m24s		
Número de Palavras:	14028		
Senones:	2000		
Gaussianas:	16		
Acertos:	10367 (73,90%)		
Erros:	4044 (28,83%)	*Substituições:*	2720 (19,39%)
		Omissões:	941 (6,71%)
		Inserções:	383 (2,73%)
Acurácia:	71,17%		

F. Latência

A latência foi avaliada comparando os tempos de fim de três frases no áudio da relocução e na transcrição do CMU Sphinx. Nos testes, verificou-se a latência média de 652 ms.

G. Consumo de recursos computacionais

O CMU Sphinx, durante a operação de reconhecimento, ocupou cerca de 20% de todos os núcleos da CPU do computador (Intel Core i5 de 2,4 GHz) e cerca de 300 MB de RAM.

VIII. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Um resumo dos resultados de acurácia obtidos nos testes está representado na Tabela 11.

TABELA 11
RESUMO DOS RESULTADOS DE ACURÁCIA OBTIDOS NOS TESTES

			Estenotipia		Relocução		IBM ViaVoice		CMU Sphinx c/ *Corpus* Reduzido		CMU Sphinx c/ *Corpus* Intermediário		CMU Sphinx c/ *Corpus* Maior	
Telejornal (Bom Dia Brasil)	*Acertos:*		84,90%		99,11%		83,91%		81,02%		82,44%		81,82%	
	Erros:	*Substituições:*		6,96%		0,48%		12,82%		14,09%		13,23%		13,34%
		Omissões:	17,97%	8,14%	1,10%	0,40%	20,93%	4,53%	21,57%	4,89%	20,43%	4,33%	20,56%	4,84%
		Inserções:		2,87%		0,22%		3,58%		2,59%		2,87%		2,38%
	Acurácia:		82,03%		98,90%		79,07%		78,43%		79,57%		79,44%	
Programa Jornalístico sobre Saúde (Bem Estar)	*Acertos:*		66,95%		95,42%		71,49%		68,90%		69,93%		71,20%	
	Erros:	*Substituições:*		13,33%		3,32%		22,60%		22,93%		22,43%		22,46%
		Omissões:	36,52%	19,72%	5,01%	1,26%	32,18%	5,91%	33,46%	8,17%	33,30%	7,64%	32,03%	6,34%
		Inserções:		3,47%		0,43%		3,67%		2,36%		3,23%		3,23%
	Acurácia:		63,48%		94,99%		67,82%		66,54%		66,70%		67,97%	
Programa de Auditório (Domingão do Faustão)	*Acertos:*		60,83%		94,69%		64,87%		68,88%		70,75%		70,75%	
	Erros:	*Substituições:*		9,02%		3,14%		27,36%		22,83%		20,99%		21,33%
		Omissões:	40,29%	30,15%	7,20%	2,17%	38,36%	7,77%	33,81%	8,29%	32,03%	8,26%	31,94%	7,92%
		Inserções:		1,12%		1,89%		3,23%		2,69%		2,78%		2,69%
	Acurácia:		59,71%		92,80%		61,64%		66,19%		67,97%		68,06%	
TOTAL	*Acertos:*		68,75%		96,06%		71,52%		72,23%		73,78%		73,90%	
	Erros:	*Substituições:*		9,40%		2,45%		22,34%		20,44%		19,18%		19,39%
		Omissões:	33,37%	21,85%	5,05%	1,49%	32,24%	6,48%	30,36%	7,33%	29,13%	7,04%	28,83%	6,71%
		Inserções:		2,12%		1,11%		3,42%		2,59%		2,91%		2,73%
	Acurácia:		66,63%		94,95%		67,76%		69,64%		70,87%		71,17%	

Na avaliação da Estenotipia, observa-se que o erro mais frequente é a omissão de palavras. Provavelmente, algumas palavras são suprimidas porque o estenotipista não consegue digitar rápido o suficiente o texto a ser transcrito. Entretanto, não foi feita nenhuma análise qualitativa sobre essas omissões

ou sobre os demais erros, quanto à perda de informação útil ou interferência na compreensão do texto.

Diferentemente da Estenotipia, a relocução utilizada na presente avaliação não foi realizada por um serviço profissional especializado e também não foi utilizado um estúdio de gravação adequado. Trata-se de uma gravação realizada pelo próprio autor deste trabalho. Portanto, os resultados obtidos a partir dessa relocução, incluindo os resultados de Reconhecimento Automático de Voz, provavelmente poderiam ser melhores se meios mais adequados fossem empregados. A relocução apresentou uma quantidade relativamente pequena de erros, que é somada aos erros dos sistemas de Reconhecimento Automático de Voz na aplicação proposta para esses sistemas.

Todos os sistemas de Reconhecimento Automático de Voz testados apresentaram acurácia superior à Estenotipia. Nota-se que o tipo de erro mais frequente nesses sistemas é a substituição. Na hipótese de se considerar que a substituição tem efeito mais negativo para a compreensão do texto do que a omissão de palavras, é possível modificar o sistema de RAV para exibir apenas as palavras reconhecidas com valor de confiança acima de um determinado limiar, o que reduziria o número de substituições e aumentaria o número de omissões.

Os testes utilizando o *software* livre CMU Sphinx apresentaram acurácia superior ao IBM ViaVoice, apesar de os *corpora* de voz utilizados no treinamento dos modelos acústicos serem muito pequenos (com durações totais variando de 8h50m a 11h45m) quando comparados com os modelos preconizados na literatura. Desta forma, vale notar que a documentação do sistema [7] recomenda que o treinamento do modelo acústico para a aplicação em telejornais utilize pelo menos 200 horas de áudio com a voz de, pelo menos 200 pessoas. Para o reconhecimento de conversação espontânea recomenda-se a utilização de 2000 horas de áudio. E trata-se de uma recomendação para a língua inglesa. A língua portuguesa, por ser muito flexiva e ter uma gramática relativamente livre em relação à ordem das palavras, requer dicionários ainda maiores e modelos de linguagem ainda mais complexos. Para obter a mesma acurácia que se obtém na língua inglesa, é necessário compensar aumentando a precisão do modelo acústico, o que requer um *corpus* de voz ainda maior. Neste sentido, os resultados obtidos podem ser considerados ainda melhores porque há espaço para incremento da acurácia, bastando que se proceda a construção de um *corpus* de voz maior e mais diversificado para treinamento do modelo acústico.

Os modelos acústicos treinados com *corpora* de voz um pouco maiores apresentaram acurácia maior. Aumentar o *corpus* de voz significativamente seria, portanto, muito benéfico para a acurácia do sistema. O *corpus* de voz maior (11h45m), mesmo sendo misto (com vozes masculinas e femininas) resultou em uma acurácia maior que o *corpus* de voz apenas masculino com duração um pouco menor (11h20m) no reconhecimento de uma voz masculina. Nesse caso, não houve vantagem em segmentar o *corpus* de voz por sexo, o que talvez seja vantajoso, como sugerido por diversos autores, apenas em um *corpus* de maior duração.

A adaptação de locutor, em uma aplicação real, poderia contar com um *corpus* cada vez maior, utilizando o reconhecimento revisado da relocução dos programas anteriores.

A utilização de dicionários e modelos de linguagem específicos de cada programa efetivamente reduziu a taxa de palavras fora do dicionário e a perplexidade, mesmo empregando apenas metade de um programa no treinamento. Em uma aplicação real também seria possível ter acesso a diversos programas anteriores e, talvez também a algum rascunho de roteiro do programa do dia, o que contribuiria para um incremento nos resultados.

Observa-se que, tanto na Estenotipia quanto na relocução e Reconhecimento Automático de Voz, o telejornal apresenta muito menos erros que o programa sobre saúde e que o programa de auditório. Dois motivos podem ser considerados: o vocabulário (especializado no programa sobre saúde, gírias no programa de auditório) e o estilo mais informal dos programas não jornalísticos, com mais diálogos espontâneos.

Em todas as alternativas de geração de *closed caption* ao vivo testadas, a taxa de acerto é muito inferior à mínima especificada na ABNT NBR 15290 [5] (98%). Pode-se considerar, portanto, que o desempenho especificado não é alcançável no atual estado da técnica.

Quanto à latência, a Estenotipia avaliada encontra-se no limite da norma (aproximadamente 4 segundos). A latência de aproximadamente um segundo observada na relocução é consistente com a relatada por Boulianne et al. [19] no Canadá. Para o IBM ViaVoice foi observada uma latência média de aproximadamente dois segundos, enquanto para o CMU Sphinx foi observada uma latência média de aproximadamente 650 ms. Em ambos os casos, essa medida de latência não inclui a latência da relocução, da codificação e da multiplexação do *closed caption*, processos que seriam necessários em uma aplicação real.

Quanto ao consumo de recursos computacionais, embora o CMU Sphinx consuma mais recursos que o IBM ViaVoice para o reconhecimento de voz, ambos podem ser executados facilmente por um computador de uso doméstico atual. Quanto ao treinamento do sistema de RAV, porém, pode ser necessário estudar otimizações para viabilizar uma atualização frequente, dado que no presente teste esse treinamento consumiu o equivalente a mais de 17 dias de processamento ininterrupto de um computador dedicado a essa atividade. Aparentemente, esta questão pode ser resolvida por um processo contínuo de treinamento, onde sistemas de RAV utilizam modelos acústicos construídos a partir do último treinamento disponível enquanto um novo treino é computado.

IX. Conclusão e Trabalhos Futuros

Observa-se claramente uma demanda por uma solução alternativa à Estenotipia na geração de legenda oculta de programas de televisão com fala espontânea ao vivo, tanto para reduzir os custos, como para conseguir a escala necessária para atender a todos os programas televisivos produzidos ao vivo no país, dada a escassez de profissionais de Estenotipia. Tal demanda é especialmente crítica nas

afiliadas das redes de televisão localizadas em cidades de pequeno e médio porte.

Além disso, há também o desejo de se obter maior qualidade, isto é, maior acurácia e menor latência. Como o limitador da qualidade da Estenotipia é o fator humano, é difícil acreditar que possa haver uma melhoria significativa na qualidade desse serviço no futuro próximo. O Reconhecimento Automático de Voz, que tem sua qualidade limitada por um sistema computacional, teria a oportunidade de melhoria mais incremental. Além disso, apresenta custo operacional baixo e é facilmente escalável.

Tanto o sistema comercial, já obsoleto, de RAV quanto o sistema baseado em *software* livre utilizados nesse teste apresentaram acurácia mais alta e latência mais baixa que a Estenotipia. O melhor desempenho foi do sistema baseado em *software* livre, que ainda apresenta muitas possibilidades de melhorias futuras.

Em todo caso, nem a Estenotipia, nem o Reconhecimento Automático de Voz puderam se aproximar da taxa de acerto mínima especificada pela NBR 15290 (98%), o que indica que se trata de um critério atualmente inalcançável, o que deveria ser reavaliado através de testes em sistemas reais de geração de legenda oculta ao vivo.

Para melhorar ainda mais o desempenho do sistema de RAV baseado em *software* livre para a geração de legenda oculta ao vivo, várias ações são possíveis, dentre as quais algumas ideias são destacadas a seguir.

O desenvolvimento que provavelmente seria mais significativo seria o de um *corpus* de voz suficientemente grande e diversificado. Isso pode ser feito a partir de outros *corpora* disponíveis publicamente, completando as transcrições e segmentações faltantes, e/ou utilizando *corpora* comerciais e/ou investindo na gravação de um novo *corpus*. Utilizar vozes com sotaque semelhante ao da localidade de aplicação do sistema também pode ser benéfico, embora a adaptação de locutor possa reduzir o problema da eventual diferença de sotaque das vozes utilizadas no treinamento do modelo acústico independente de locutor. Segmentar o *corpus* de voz em masculino e feminino pode ser útil se o *corpus*, para cada gênero, for suficientemente grande e diversificado.

Quanto à elaboração do *corpus* de texto é preciso desenvolver mecanismos completamente automáticos para extrair textos da *Internet*, tratando problemas de codificação de texto, erros de digitação, expansão de abreviações e números. Aparentemente este é um problema que pode ser resolvido com facilidade.

Quanto ao dicionário fonético, pode ser benéfico utilizar símbolos fonéticos diferentes para as vogais tônicas. Dicionários fonéticos diferenciados por sotaque também podem ser úteis, porém esta afirmação carece de um estudo mais específico.

Como o processo de treinamento do sistema de RAV utilizado nesse trabalho consumiu o equivalente a mais de 17 dias de processamento ininterrupto de um computador dedicado a essa atividade, seria necessário estudar otimizações para viabilizar uma atualização frequente (e.g. diária) dos modelos acústicos e de linguagem. Provavelmente, uma abordagem promissora é utilizar versionamento do treinamento enquanto um novo treino é computado.

Também seria interessante avaliar os vários *softwares* livres disponíveis para essa aplicação, bem como a possibilidade de customização deles (uma vez que possuem código-fonte aberto) ou mesmo de desenvolvimento de um novo sistema.

Para que o sistema alcançasse a maturidade necessária para uma aplicação real, seria necessária uma integração da solução completa em uma ferramenta simples de usar. Esta integração inclui a atualização automática (e.g. diária) dos dicionários e dos modelos de linguagem específicos de cada programa, do modelo acústico independente de locutor e da adaptação de locutor, a interface operacional para inserir pontuação e outros símbolos (e.g. nome do repórter ou apresentador) durante a relocução e para comutar para fontes de texto externas (e.g. *teleprompt*), as ferramentas de correção da transcrição automática em tempo real e/ou após a finalização do programa, a geração de relatórios de desempenho (acurácia e latência), a integração com ferramentas de codificação e multiplexação de *closed caption* no sinal a ser transmitido.

Por fim, seria interessante fazer uma avaliação qualitativa do desempenho obtido com o Reconhecimento Automático de Voz, preferencialmente com a participação de deficientes auditivos, para efetuar uma avaliação mais criteriosa sobre a identificação do conteúdo informativo das transcrições obtidas.

Referências

[1] L. F. S. Brito, E. Strauss e F. L. Mello, “Uso de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil na geração de Closed Caption,” *Revista de Radiodifusão - SET*, vol. 6, pp. 54-60, 2012.

[2] IBM, “IBM Desktop ViaVoice,” 2008. [Online]. Available: http:// www-01.ibm.com/ software/ pervasive/ viavoice.html. [Acesso em 13 05 2012].

[3] Voice Interaction, “Legendagem Automática - Audimus.Media,” 2014. [Online]. Available: http:// www.voiceinteraction.com.br/ ?page_id=376. [Acesso em 03 09 2014].

[4] Voice Interaction, “Sistema de ditado para MS Windows - VoxControl,” 2014. [Online]. Available: http:// www.voiceinteraction.com.br/ ?page_id=1086. [Acesso em 03 09 2014].

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 15290: Acessibilidade em comunicação na televisão,” Rio de Janeiro, 2005.

[6] L. F. S. Brito, “Sistema de Decisão Automático para Conversão de Áudio em Texto na Geração de Legenda Oculta,” Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Mestrado Profissional em Computação Aplicada, Rio de Janeiro, 2015.

[7] Carnegie Mellon University, “CMU Sphinx,” 2012. [Online]. Available: http:// cmusphinx.sourceforge.net. [Acesso em 13 12 2012].

[8] I. Ahmer, “Automatic Speech Recognition for Closed Captioning of Television: Data and Issues,” Thesis (Master of Engineering) - University of South Australia, Adelaide, 2002.

[9] International Telecommunication Union, “Report ITU-R BT.2207-1: Accessibility to broadcasting services for persons with disabilities,” Geneva, 2011.

[10] C. F. Sanz e V. Quetschke, “CCExtractor v.0.64,” 2012. [Online]. Available: http:// ccextractor.sourceforge.net. [Acesso em 19 11 2012].

[11] X. Huang, A. Acero e H. W. Hon, Spoken Language Processing: A Guide to Theory, Algorithm, and System Development, Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2001.

[12] Universidade Federal do Pará, “FalaBrasil,” 2009. [Online]. Available: http:// www.laps.ufpa.br/ falabrasil. [Acesso em 14 05 2012].

[13] VoxForge, “Downloads - Portuguese,” 2014. [Online]. Available: http:// www.voxforge.org/ pt/ Downloads. [Acesso em 19 05 2014].

[14] N. A. Meseguer, “Speech Analysis for Automatic Speech Recognition,” Dissertation (Master of Science in Electronics) - Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2009.

[15] T. Cincarek, “Selective Training for Cost-effective Development of Real-Environment Speech Recognition Applications,” Dissertation (Doctor of Engineering) - Nara Institute of Science and Technology, Ikoma, 2008.

[16] M. Segbroeck, “Robust Large Vocabulary Continuous Speech Recognition using Missing Data Techniques,” Dissertation (Doctor in Engineering) - Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 2010.

[17] S. Young, G. Evermann, M. Gales, T. Hain, D. Kershaw, X. Liu, G. Moore, J. Odell, D. Ollason, D. Povey, V. Valtchev e P. Woodland, The HTK Book, Cambridge: Cambridge University Engineering Department, 2009.

[18] C. P. A. Silva, “Um Software de Reconhecimento de Voz para Português Brasileiro,” Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

[19] G. Boulianne, J.-F. Beaumont, M. Boisvert, J. Brousseau, P. Cardinal, C. Chapdelaine, M. Comeau, P. Ouellet e F. Osterrath, “Computer-Assisted Closed-Captioning of Live TV Broadcasts in French,” em *In: Interspeech 2006: Proceedings of the International Conference of Spoken Language Processing*, Pittsburgh, 2006.

Luiz Fausto de Souza Brito possui Mestrado Profissional em Computação Aplicada pela UECE (2015), MBA Executivo em Tecnologia da Informação pela UFRJ (2011), curso de extensão em Redes e Vídeo sobre IP pela UFRJ (2009) e graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela USU/UFRJ (2005). Atualmente é Engenheiro de Projetos de Telecomunicações da Rede Globo, membro da Delegação do Brasil no ITU-R (SG 6, CPM, JTG 4-5-6-7), membro do Grupo Técnico de Recepção (GT-Rx) do Grupo de Implantação do Processo de Redistribuição e Digitalização de Canais de TV e RTV (GIRED), membro do Grupo de Estudo de Espectro e do comitê da Diretoria de Tecnologia da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET) e membro da Comissão de Estudo de Acessibilidade em Comunicação na Televisão da ABNT.

Flávio Luis de Mello realizou seu DSc. em teoria da computação e processamento de imagens na Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (2006), MSc. em computação gráfica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (2003), graduação em engenharia de sistemas e computação pelo Instituto Militar de Engenharia – IME (1998). Desenvolveu sistemas de comando e controle, implementou sistemas e protocolos de troca de mensagens em meio rádio HF durante doze anos no Exército Brasileiro e lecionou no Instituto Militar de Engenharia. Atua como líder do Grupo Witty e tem como responsabilidade o desenvolvimento de aplicações baseadas em prova de teoremas, sistemas baseados em conhecimento e representação do conhecimento. É professor adjunto do Departamento de Eletrônica e de Computação (DEL) da Escola Politécnica (Poli) na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desde 2007.

Cite this article:
de Souza Brito,L.F., de Mello, F. L.; 2015. Avaliação do Desempenho de um Sistema de Reconhecimento Automático de Voz em Português do Brasil Baseado em Software Livre para Geração de Closed Caption. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.11 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.11

Comportamento de Receptores em uma Rede de Frequência Única ISDB-T

Christian Fragoas Fernandez Rodrigues

Francisco de Assis Peres

Lisadro Lovisolo

Comportamento de Receptores em uma Rede de Frequência Única ISDB-T

Christian Fragoas Fernandez Rodrigues, Francisco de Assis Peres, Lisadro Lovisolo

***Abstract*— Multiple frequency networks were widely used for television broadcasting due to the inability of original television reception systems to demodulate interfered signals. With the advance of television broadcast technology to digital transmission using OFDM, distribution networks employ a smaller number of frequency channels than for analog broadcasting. In addition, single frequency networks become an important alternative, as they optimize spectrum usage, allowing contiguous regions to be covered using less frequency channels. Digital television receivers improvements make them more prepared to work in SFN scenarios, as they improve their capabilities to demodulate signals under adverse conditions. This work presents test results of digital television commercial receiver's behavior in a SFN. The tests evaluate and analyze their reception capabilities in a SFN scenario, at the receiver signals from two transmitters arrive in line of sight, this is done in several settings with different guard intervals. This laboratory test was applied to five digital television receptors. An improvement in the performance of receptors was observed in comparison to previous works. The impact of the guard interval configuration is also reported. The use of SFN generates a reception margin loss which is evaluated in this work. In addition, using a default receptor model we translate the power density values measured on laboratory to the minimal electrical field strength for reception.**

Index Terms — OFDM. Digital television. Receptors performance in SFN.

I. Introdução

Com a atual escassez do espectro eletromagnético, radiodifusores e órgãos reguladores buscam otimizar a utilização do mesmo [1]. Redes de frequência única (SFNs) tornam-se uma necessidade nesse cenário, pois nelas vários transmissores de um mesmo conteúdo utilizam a mesma frequência de transmissão. Em MFNs (*Multi Frequency Networks*) tradicionais, cada transmissor possui um canal de radiodifusão diferente em cada área de cobertura e nenhuma área adjacente utiliza o mesmo canal. Uma SFN possibilita a economia de espectro, pois cobre múltiplas regiões com um único canal de radiodifusão.

As MFNs foram muito utilizadas nos projetos de cobertura de televisão analógica, principalmente devido a limitações de receptores analógicos para corrigir dificuldades de propagação, como multipercursos. O plano básico de distribuição de canais elaborado pela Anatel restringe, no caso da televisão analógica, a utilização de um único canal de RF por área de cobertura.

Com o desenvolvimento da televisão digital o uso de uma rede de frequência única para o sinal de televisão digital passou a ser plausível. A melhoria nos receptores, que passaram a equalizar de maneira mais eficiente sinais sujeitos a multipercurso, permite a adoção de redes de frequência única.

Este trabalho visa determinar e analisar as condições limiares de recepção em visada direta, que é o pior caso, para projetos de radiodifusão de televisão digital quando utiliza-se de uma rede SFN, através de medidas feitas em laboratório simulando essas condições. Espera-se com este trabalho que o projeto de tais redes seja facilitado.

O projeto de uma SFN não é trivial. É necessário adequar a potência dos transmissores e a sincronia da rede para que todos os receptores de regiões que venham a receber sinais de diferentes estações transmissoras não sofram interferências dos sinais provenientes de diferentes transmissores[1]. Ou seja, é preciso garantir que sinais secundários sejam recebidos com atrasos dentro do intervalo de guarda do sinal principal. Por outro lado, caso um ou mais sinais secundários sejam recebidos fora do intervalo de guarda, as diferenças de potência relativa entre o sinal principal e os secundários devem ser tais que a interferência gerada pelos sinais secundários não impeça a recepção correta do sinal OFDM.

Como o uso de SFNs está cada vez mais comum, devido à

Christian Fragoas Fernandez Rodrigues é Analista de Sistemas pelo Centro Universitário da Cidade e Estudante de Engenharia Elétrica com Ênfase em Telecomunicações pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (e-mail: christianfragoas@gmail.com.br).

Francisco de Assisp Peres é Gerente do Departamento de Projetos e Instalações de Sistemas de Transmissão da TV Globo (e-mail: francisco.peres@tvglobo.com.br).

Lisandro Lovisolo, DSc, é Professor do Departamento de Eletrônica e Telecomunicações da Universidade do Estado do do Rio de Janeiro , Rio de Janeiro, RJ, Brasil (e-mail: lisandro@uerj.br).

economia de banda derivada de seu uso, o estudo das mesmas é cada vez mais necessário de forma a tornar as condições de análise e projeto de tais redes mais realistas e confiáveis.

Para que um receptor de TV digital funcione corretamente é necessário que ele não seja saturado pelos sinais incidentes e que obtenha sucesso na demodulação, mesmo com os efeitos de multipercurso. No caso de SFNs, temos que controlar estes efeitos uma vez que que os transmissores podem ser sincronizados. Isto é, podemos defasar os sinais dos diferentes transmissores de forma a evitar a interferência intersimbólica significativa, possibilitando uma demodulação do sinal OFDM.

II. Especificação de Testes e Medidas de Desempenho de SFN

Os experimentos propostos permitem analisar os efeitos conjuntos da interferência intersimbólica e do desvanecimento por multipercurso em uma rede SFN com dois transmissores em visada direta. Inicialmente iremos analisar a constelação do símbolo OFDM na recepção, na presença dos dois sinais gerados pelos excitadores. Em seguida analisaremos o desempenho de receptores, capacidade de demodulação do sinal e a presença de blocos nas imagens reproduzidas pelos televisores na presença dos dois sinais e de ruído.

Em ambos os casos foram avaliadas diferentes condições pela variação dos parâmetros de atraso entre os sinais e diferença entre suas potências.

Os arranjos da Figura 1 e da Figura 2 foram concebidos de maneira a simular diferentes condições de recepção, atraso relativo e amplitudes de sinais recebidos em uma SFN. Isso permite obter medidas empíricas e assim avaliar o desempenho de receptores e o comportamento da constelação diante de diferentes condições de recepção. As configurações do sistema de transmissão utilizado são as apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1

CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE TV DIGITAL UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS

Sistema	SBTVD
Canal	29
Largura de Banda	6Mhz
Modulação Layer A	64QAM
FEC (foward error correction)	3/4
Intervalo de Guarda	1/8(126µs)
Modo de Sincronismo	Atraso estático (offset)

A. *Arranjo 1 – Comportamento da Recepção de Símbolos*

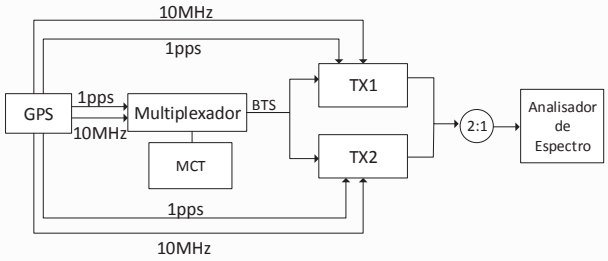


Figura 1. Diagrama da configuração utilizada em laboratório para analisar o comportamento dos símbolos na constelação na recepção.

O primeiro arranjo (Figura 1) foi concebido de maneira a analisar o comportamento da constelação (mapeamento de símbolos) recebida no receptor usando um TV *analyzer*. O arranjo é composto por um multiplexador alimentado pelas referências de tempo e frequência da rede (1pps, pulso por segundo, e 10MHz) e pelo sinal ASI (*Asynchronous Serial Interface*) vindo do *Mux Controller* (MCT). É então gerado o BTS que alimenta os excitadores (Tx1 e TX2) que geram sinais de RF no canal 29 (560 a 566 MHz), que é analisado pelo TV *analyzer*.

O MCT é o responsável pelo sincronismo da rede. Ele compõe o quadro BTS com os bits de sincronismo e o atraso de cada transmissor na rede, enquanto os úlimos são responsáveis pela amplificação dos sinais na saída da rede para o receptor.

Com o TV *analyzer* foram realizadas capturas das constelações variando-se a diferença de nível entre portadoras de 0, 5, 10, 15 e 20 dB e de atraso relativo de 0 a 200 µs em passos de 20 µs.

B. *Arranjo 2 – Comportamento dos Receptores Comerciais de TV Digital*

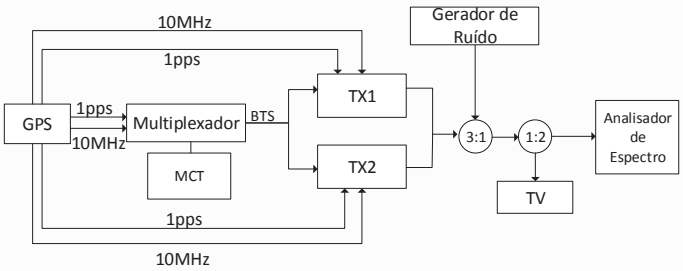


Figura 2. Diagrama da configuração utilizada em laboratório para medir o C/N mínimo dos diversos televisores.

O arranjo da Figura 2 é similar ao da Figura 1 com o acréscimo do gerador de ruído ligado na saída de RF dos

transmissores e do uso de um televisor como receptor. Isso permite analisar o comportamento do seu receptor embutido em condições similares às de uma recepção real com 2 transmissores em visada direta. Os transmissores foram configurados segundo a Tabela 1.

Foram medidas as potências dos sinais de ambos os transmissores e do ruído branco adicionado com o auxílio de um analisador de espectro isso permite obter a razão sinal-ruído (SNR) mínima de recepção para cada teste. A SRN é definida como:

$$SNR = \frac{pot.sinal}{pot.ruído} \qquad (1)$$

Variou-se a diferença de nível entre portadoras na faixa de 0 a 21 dB com passos de 3 dB e atrasos relativos de 30 a 120 µs, com passos de 30 µs, e de 120 a 200 µs, com passos de 10 µs. Para cada uma das configurações de atraso relativo e diferença de potência, mediu-se o SNR mínimo de recepção em cada um dos televisores disponíveis no laboratório a fim de comparar os diferentes televisores.

C. Equipamentos utilizados

Para implementar os arranjos ilustrados nas Figuras 1 e 2 foram utilizados os seguintes equipamentos:

1) Dois excitadores Linear recebem o sinal ASI do multiplexador com os sinais 1pps e 10MHz a fim de gerar os dois sinais OFDM que irão compor a SFN;

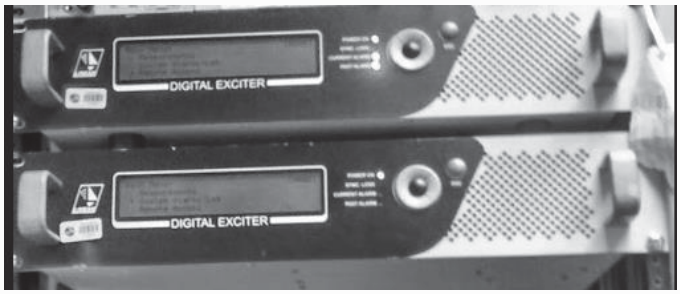


Figura 3. Excitadores Utilizados nos Experimentos.

2) Um GPS *Epsilon Clock* EC22S gerando os sinais de referência de tempo e frequência do sistema com o auxílio de uma antena de recepção de sinal GPS;

Figura 4. GPS Utilizado nos Experimentos.

3) Um multiplexador modelo NEC controlado pelo MCT (*Mux Controller*), que gera o sinal BTS que é transmitido pelos transmissores através de um TS obtido do seu controlador MCT;

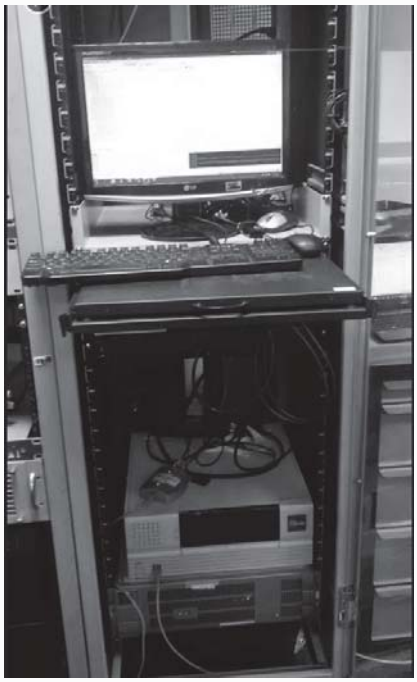


Figura 5. Mux e MCT Utilizados nos Experimentos.

4) Um transmissor de teste *Rohde & Schwarz* SFE100 é utilizado para gerar o ruído branco em banda passante e simular as condições reais de transmissão;

Figura 6. Transmissor de Teste Utilizado Como Gerador de Ruído nos Experimentos.

5) Uma série de televisores de diferentes fabricantes produzidos nos anos de 2012 e 2013 e um analisador de espectro *Rohde & Schawz* ETH que irão receber os sinais OFDM e permite analisar os resultados.

Figura 7. Conjunto de Televisores Utilizados nos Experimentos.

III. RESULTADOS E ANÁLISE

A. *Comportamento da Constelação do Receptor em SFN*

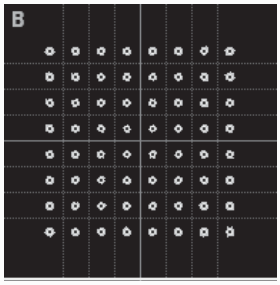


Figura 8. Constelação de um único sinal OFDM.

A Figura 8 representa a recepção no TV *analyzer* de um sinal OFDM da camada 2 com modulação 64QAM e suas 64 possíveis combinações de bits. Podem ser percebidos o espalhamento de amplitude e fase na recepção, devido às diversas distorções do canal.

As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 mostram o comportamento observado em laboratório da constelação de 64QAM (Layer B do sinal OFDM de televisão digital) das diferentes potências dos dois transmissores em função de diferentes atrasos relativos sem a presença de ruído.

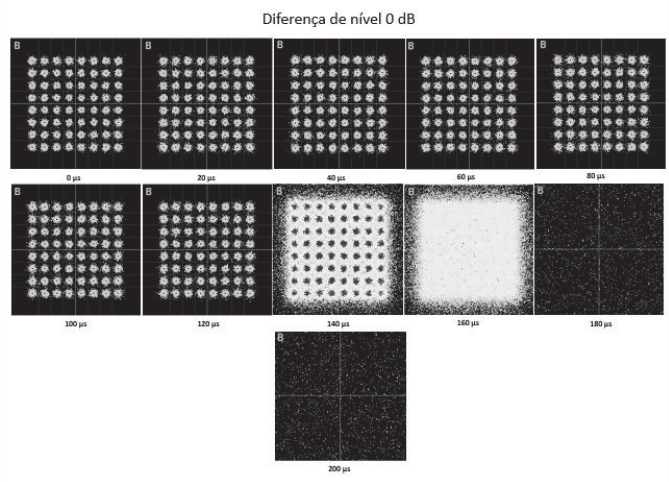


Figura 9. Comportamento da constelação com portadoras de níveis de potência iguais e com diferentes atrasos entre si.

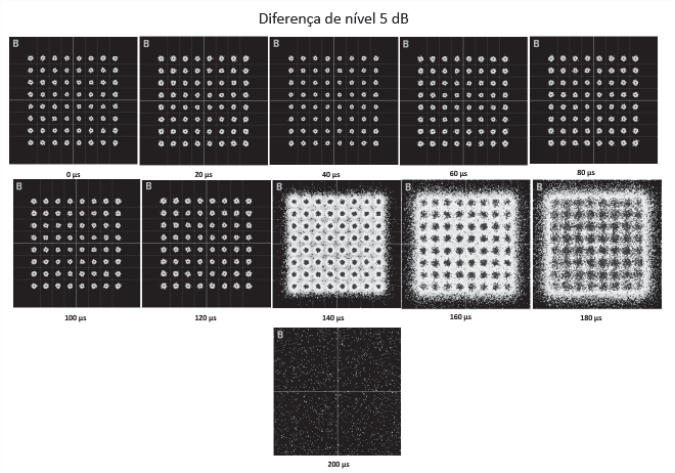


Figura 10. Comportamento da constelação com portadoras de níveis de potência divergentes em 5dB e com diferentes atrasos entre si.

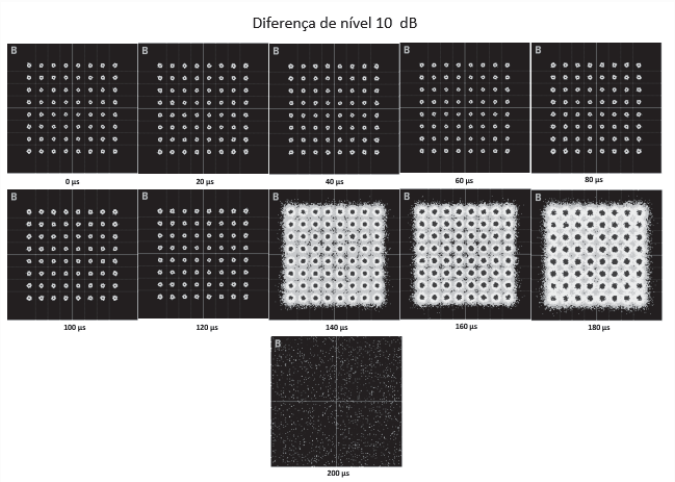


Figura 11. Comportamento da constelação com portadoras de níveis de potência divergentes em 10dB e com diferentes atrasos entre si.

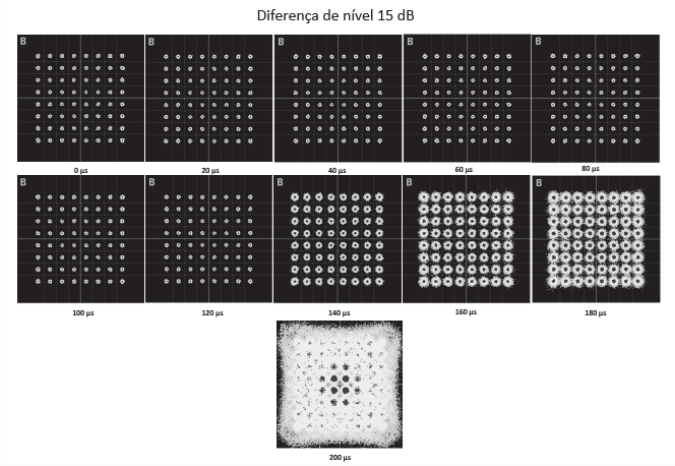


Figura 12. Comportamento da constelação com portadoras de níveis de potência divergentes em 15dB e com diferentes atrasos entre si.

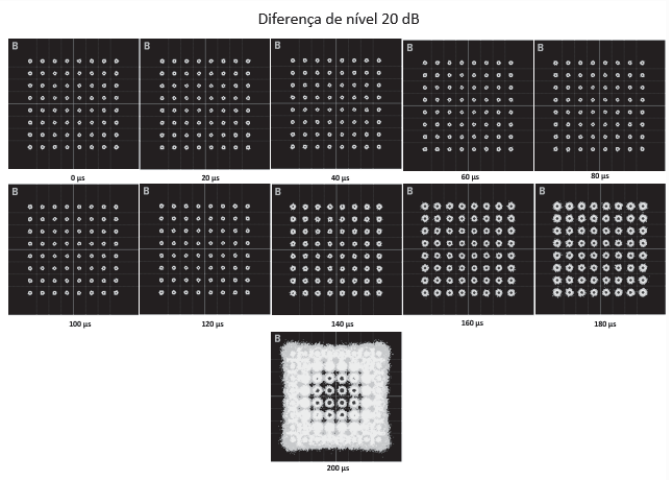


Figura 13. Comportamento da constelação com portadoras de níveis de potência divergentes em 20dB e com diferentes atrasos entre si.

A partir das Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 podemos constatar que a dispersão dos símbolos aumenta conforme aumentamos o atraso relativo para as diferentes SNR's entre os sinais de uma SFN. Observa-se também que quando o atraso ultrapassa o marco do intervalo de guarda de 126µs, maior a dispersão devida à perda de ortogonalidade entre as portadoras OFDM. Combinando os resultados (atrasos e diferença entre potências), podemos constatar que a influência do sinal secundário pode ser menosprezada quando a diferença entre as potências dos transmissores for inferior a 15dB, condição na qual o limiar do intervalo de guarda passa a não ser tão relevante (mesmo com a perda da ortogonalidade entre as subportadoras). Isso ocorre pois nestes casos a interferência causada pelo sinal secundário é tão pequena que pode ser considerada insignificante em parte dos casos, não impactando a detecção correta dos símbolos. O comportamento observado em laboratório, ilustrado nas Figuras 9, 10, 11, 12 e 13, confirma os resultados descritos em [2].

A Figura 8 mostra os efeitos da recuperação de símbolos no receptor (observados em laboratório). Observa-se que a capacidade de recuperação dos símbolos é diferente em cada ponto da constelação. Isso é explicado na Figura 14, o espalhamento das portadoras é notadamente maior nas extremidades da constelação.

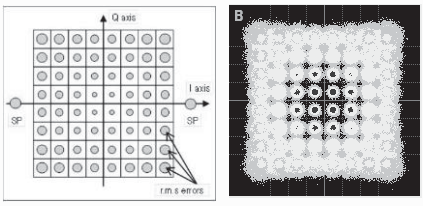


Figura 14. Comparação entre o estudo da ITU e o comportamento da constelação.

IV. Recepção do Sinal de TV Digital em uma Rede SFN com 2 Transmissores Sincronizados

A. *Medidas Realizadas*

Foram realizados testes em laboratório com cinco televisores diferentes em uma SFN com dois transmissores conforme o diagrama da Figura 2. Mediu-se a potência mínima necessária para a correta recepção do sinal OFDM para cada televisor apresentado na Tabela 2. Para uma potência de sinal recebida de -40dBm variou-se a potência do gerador de ruído e calculou-se o C/N mínimo para a recepção com apenas um transmissor (Tabela 2). A terceira etapa foi medir o C/N mínimo nas diversas condições de recepção em um SFN de dois transmissores em SFN. Manteve-se a potência de transmissão de um dos transmissores em -40dBm enquanto variou-se a potência do segundo transmissor a fim de se obter a diferença de nível,

$$Dif.Nível(dB) = Pot.\ Tx1(dBm) - Pot.Tx2(dBm) = -40dBm - Pot.Tx2(dBm). \quad (2)$$

Caracterizou-se nas diferentes condições de recepção a potência de ruído do gerador de ruído, para que se calculasse a C/N mínima de recepção:

$$C/N_{min} = \frac{Pot_{Tx1+Tx2}}{N_{max}} \quad (3)$$

TABELA 2
C/N MÍNIMO E POTÊNCIA MÍNIMA PARA A CORRETA RECEPÇÃO DOS SÍMBOLOS MEDIDOS EM LABORATÓRIO

Televisores testados	$C/N_{mínimo}$ (dB)	Potência mínima de recepção (dBm)
A	17,8	-80,6
B	17,8	-81,1
C	16,7	-83,2
D	16,7	-82,2
E	16,7	-84,8

TABELA 3
C/N MÍNIMO MEDIDOS NO TELEVISOR A

C/N min para diferentes configurações de diferença de nível e atraso entre portadoras (dB)								
	Atraso relativo entre portadoras (µs) (IG 126µs)							
Dif Nível(dB)	**30**	**60**	**90**	**120**	**130**	**150**	**170**	**200**
0	23	25,5	24,7	24	x	x	x	x
3	20,6	21,6	20,6	20,6	x	x	x	x
6	18,8	20,8	19,8	19,8	x	x	x	x
9	18,2	18,2	18,2	18,2	23,9	x	21,2	25,7
12	17,9	17,9	17,9	17,9	18,9	19,9	19,9	20,9
15	17,8	17,8	17,9	17,8	18,8	19,8	19,8	20,8
18	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	19,8	19,8	20,8
21	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	18,8

TABELA 4
C/N MÍNIMO MEDIDO NO TELEVISOR B

C/N min para diferentes configurações de diferença de nível e atraso entre portadoras (dB)								
	Atraso relativo entre portadoras (µs) (IG 126µs)							
Dif Nível(dB)	**30**	**60**	**90**	**120**	**130**	**150**	**170**	**200**
0	23	23	23	23	x	x	x	x
3	20,6	20,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
6	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
9	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	19,2	19,2	19,2
12	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
15	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
18	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
21	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8

TABELA 5
C/N MÍNIMO MEDIDO NO TELEVISOR C

C/N min para diferentes configurações de diferença de nível e atraso entre portadoras (dB)								
	Atraso relativo entre portadoras (µs) (IG 126µs)							
Dif Nível(dB)	**30**	**60**	**90**	**120**	**130**	**150**	**170**	**200**
0	23	23	23	23	x	x	x	x
3	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	21,6	21,6
6	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	19,8	19,8
9	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
12	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
15	16,7	16,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
18	16,7	16,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
21	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	17,8	17,8

TABELA 6
C/N MÍNIMO MEDIDO NO TELEVISOR D

C/N min para diferentes configurações de diferença de nível e atraso entre portadoras (dB)								
	Atraso relativo entre portadoras (µs) (IG 126µs)							
Dif Nível(dB)	**30**	**60**	**90**	**120**	**130**	**150**	**170**	**200**
0	22	22	22	23	x	x	x	x
3	19,6	19,6	19,6	19,6	20,6	20,6	20,6	20,6
6	18,8	18,8	18,8	18,8	19,8	19,8	19,8	19,8
9	18,2	18,2	18,2	18,2	19,2	19,2	19,2	19,2
12	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
15	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
18	17,8	17,8	17,8	17,8	16,7	16,7	16,7	17,8
21	17,8	16,7	17,8	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7

TABELA 7
C/N MÍNIMO MEDIDO NO TELEVISOR E

C/N min para diferentes configurações de diferença de nível e atraso entre portadoras (dB)								
	Atraso relativo entre portadoras (µs) (IG 126µs)							
Dif Nível(dB)	30	60	90	120	130	150	170	200
0	22	22	22	22	25,5	X	X	X
3	19,6	19,6	19,6	20,6	21,6	24,1	23,9	24,9
6	18,8	18,8	18,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
9	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
12	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
15	16,7	16,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
18	16,7	16,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
21	16,7	16,7	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8

B. *Perda de Margem devido à SFN*

A Tabela 8 mostra a perda de margem no pior caso, conforme calculada na Equação 4 de um receptor comercial atual.

$$Perda\ de\ margem(dB) = {}^{C}/_{N_{min.1Tx}}(dB) - {}^{C}/_{N_{min.SFN}}\ (dB) \qquad (4)$$

TABELA 8
PERDA DE MARGEM DE C/N EM UMA SFN PARA DIVERSOS TELEVISORES

Modelo	Dentro do IG	Fora do IG
A	5	9
B	5	3
C	6	4
D	4	4
E	5	7

A partir da média simples dos valores da Tabela 8, calculamos a perda de margem média em um SFN para receptores comerciais (Tabela 9).

TABELA 9
PERDA DE MARGEM DE C/N DEVIDO A PRESENÇA DE UM SEGUNDO SINAL EM UMA REDE SFN

Perda de margem de C/N (dB)	
	Receptor comercial
Dentro do IG	5
Fora do IG	5,4

Em todos os casos não foi possível demodular o sinal, com exceção do televisor E, após o intervalo de guarda (126 µs) com os sinais dos transmissores com diferença de nível de 0dB. Porém, em todos os demais casos, com exceção do televisor A, foi possível a demodulação nas demais condições mesmo que com um aumento da razão sinal-ruído mínima necessária. O que demonstra as diferentes máscaras de recepção como em [2].

V. CAMPO MÍNIMO PARA RECEPÇÃO EM SFN

A. *Modelo de cálculo*

Para o cálculo da intensidade mínima de campo elétrico que chega as antenas para a recepção, considerando apenas antenas externa localizada em uma região de SFN. Os fatores apontados na Tabela 10 são em parte referentes as condições de recepção externas (após o receptor) consideradas no Planejamento de Canais de TV Digital do CPqD [3].

TABELA 10
FATORES UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO CAMPO MÍNIMO UTILIZANDO ANTENA EXTERNA

Fator	Símbolo	Valor
Largura de Faixa (MHz)	B	6
Constante de Boltzmann (Ws/K)	K	1,38E-23
Temperatura absoluta (K)	T	290
Ruído térmico (dBm)	Nt	-106,20
Frequência central (MHz)	fb	563
Comprimento de onda (m)	l	0,53
Área efetiva da antena isotrópica (dBm²)	Ai	-16,46
Ganho do dipolo de meia onda em relação à antena isotrópica (dBi)	Gi	2,15
Ganho da antena em relação ao dipolo de meia-onda (dBd)	G	10
Área Efetiva da Antena (dBm2)	A	-6,31
Impedância intrínseca (Ω)	h	377
Fator de dipolo (dBm-dBµV/m)	Kd	-130,07
Perda em cabos (dB)	Lf	4
Margem frente a ruído produzido pelo homem (dB)	Mm	0

Baseando-se nos valores das Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7 foram medidos os valores de C/N mínimos, a figura de ruído do receptor, a margem de multipercurso em SFN, e, com a Equação 5, foi calculada a mínima potência do sinal (Tabela 11).

$$P_s(dBm) = N_t(dBm) + F_r(dBm) + C/N(dB) + M_{SFN}(dB) \qquad (5)$$

TABELA 11
ESPECIFICAÇÕES MEDIDAS PARA OS RESPECTIVOS RECEPTORES DE TV DIGITAL

Receptor	Limiar de C/N (dB) do sistema digital	Figura de ruído do receptor (dB)	Margem de Multipercurso em SFN (dB)	Mínima potência do sinal (dBm)
	Símbolo			
	C/N	Fr	Msfn	Ps
A	17,8	7,8	5,2	-75,40
B	17,8	7,3	5,2	-75,90
C	16,7	6,3	6,3	-76,90
D	16,7	6,3	4,2	-79,00
E	16,7	4,7	5,3	-79,50

B. *Resultados de campo mínimo em SFN*

Agora, considerando o sistema de recepção como especificado na Tabela 9, podemos calcular a mínima intensidade de campo na antena de recepção[4]

$$E_{min}(dB\mu V/m) = P_s(dBm) + L_f(dB) + M_m(dB) - G(dB) - k_d(dBm - dB\mu V/m) \quad (6)$$

TABELA 12
INTENSIDADE DE CAMPO MÍNIMA PARA DIVERSOS RECEPTORES DE TV DIGITAL

Receptor	Intensidade de Campo Mínima (E_{min}) (dBm)
A	48,68
B	48,18
C	47,18
D	45,08
E	44,58

C. *Fator de correção para localidades*

Para o atendimento de pelo menos 90% do tempo, da curva de propagação apresentada na Figura 15, para 95% das localidades, é necessária uma correção (ΔL) com um fator de distribuição (μ) de 1.64 vezes do desvio padrão em grande escala (σ_m), já que consideramos um grande número de elementos, de 5,5dB [3]. O resultado da correção da curva normal em decibéis é

$$\Delta L(dB) = \mu \cdot \sigma m(dB). \quad (7)$$

Foi adotado o fator de correção da curva para 95% das localidades, pois é a correção utilizada na ITU-R BT. 1368-12 [3]. A correção de 95%, ao contrário de 70% adotado em [4], é a mais adequada para TV digital, visto que o não atendimento dos valores limiares aqui especificados significa a não demodulação do sinal transmitido.

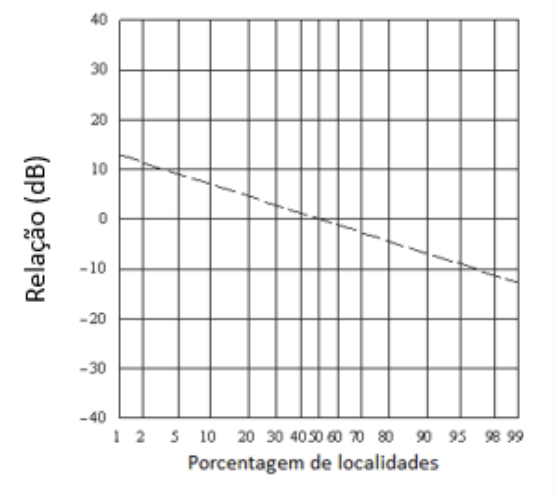


Figura 15. Relação de campo para uma dada porcentagem de localidades para um campo para 50% de localidades.

O campo mínimo corrigido pode ser obtido

$$E_{corrigido}(dB\mu V/m) = E_{min}(dB\mu V/m) + \Delta L(dB) \quad (8)$$

O que nos dá a Tabela 12, com os respectivos valores de campo mínimo de planejamento.

TABELA 13
CAMPO MÍNIMO DE PLANEJAMENTO PROPOSTO PARA OS DIVERSOS RECEPTORES DE TV DIGITAL

Receptor	Campo mínimo de planejamento ($dB\mu V/m$)
Samsung UN32D5500RGXZD	57,7
Philips 32PFL7606D/78	57,2
LG 32CS460	56,2
Sony KDL-32EX525	54,1
Panasonic TC-L32X30B	53,6

O pior caso apresentado na Tabela 13 estabelece um novo patamar de campo mínimo de 58dBµV/m. Assim, os valores de campo de planejamento necessários para um correto projeto de TV digital visando o cenário atual, é 7dB maior que o campo mínimo do planejamento de 51dBµV/m [4].

VI. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram não só a viabilidade de SFNs, como a evolução dos receptores de TV digital, porém com uma leve variação de desempenho entre eles. Vê-se que talvez seja necessário estabelecer um novo valor mínimo para o campo elétrico em projetos de difusão de TV digital. Quando comparam-se os resultados apresentados aqui aos apresentados em [4], verifica-se a necessidade de um incremento de 7dB no valor padrão de campo elétrico mínimo utilizado em projetos de 51dBµV/m. Isto é necessário, no projeto de cobertura de transmissores de TV Digital, pois

SFNs têm se tronado cada vez mais comuns. O valor de campo mínimo de planejamento de 58dBμV/m obtido em nossa análise, contempla a perda de margem devido à SFN, e o fator de correção de 95% (conforme padrões internacionais de planejamento de TV digital).

REFERÊNCIAS

[1] Duca, Carolina, Yamada, Fujio. *"Distribuição de sinais para o sistema Brasileiro de TV Digital", Revista de Radiodifusão - SET, vol.* 3, 2009.
[2] International Telecommunications Union, *"Report ITU-R BT.2209-1: Calculation model for SFN reception and reference receiver characteristics of ISDB-T system"*, Geneva, 2013.
[3] International Telecommunication Union, "Report ITU-R BT.1368-12: Planing criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands," Geneva, 2015.
[4] Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. "Planejamento de Canais de TV Digital", São Paulo, 2003.

Chrisitan Fragoas Fernandez Rodrigues, estudante de Engenharia Elétrica com Ênfase em Telecomunicações pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, formado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário da Cidade (2011). Atualmente é estagiário da TV Globo, na área de projetos de Transmissão de TV Digital.

Francisco de Assis Peres graduou-se em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense, conclui o mestrado em Eletromagnetismo pela Pontifícea Universidade Católica do Rio de Janeiro. Trabalhou por 12 anos como engenheiro de projetos na TV Globo desenhando antenas, sistemas distribuídos para sistemas MFN e SFN. Atualmente gerencia o departamento de projetos e instalações de sistemas de transmissão.

Lisandro Lovisolo concluiu o doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2006. Atualmente é Professor do Departamento de Eletrônica e Telecomunicações da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Além disso participa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica dessa instituição. Fundou o PROSAICO (Laboratório de PROcessamento de Sinais, Aplicações Inteligentes e COmunicações - www.prosaico.uerj.br) e atua principalmente nas áreas de processamento de sinais e comunicações.

Cite this article:
Fragoas Fernandez Rodrigues, C., Peres, F. de Assis, Lovisolo , L.; 2015. Comportamento de Receptores em uma Rede de Frequência Única ISDB-T. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.12 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.12

Desenvolvimento de Sistema de Recepção com Amplificação do Nível de Sinal Digital de Alta Definição

Diego de Moura

Ingrid C. Cezário

Adroaldo Raizer

Desenvolvimento de Sistema de Recepção com Amplificação do Nível de Sinal Digital de Alta Definição

Diego de Moura, Ingrid C. Cezário, Adroaldo Raizer
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil.

***Abstract*— This paper presents the development of an a radio-frequency amplifier based on a transistor that operates at high frequency. In order of determining the increase of the signal level via amplification, a half-wave dipole antenna (λ / 2) with geometry inspired by the meander line antenna type (MLA) also is developed. Simulations using software based on the finite element method were performed and the antenna reception efficiency was evaluated through measurements.**

***Index Terms*— Antenna Development, meander line antenna (MLA), HDTV, a radio-frequency amplifier.**

I. Introdução

COM o crescimento progressivo e contínuo da oferta de serviços de comunicações sem fio, tem sido cada vez maior a busca por dispositivos que operem de forma eficiente em diferentes faixas de frequência, atendendo às características requeridas como largura de banda e bons níveis de sinais.

Nesta perspectiva, destaca-se a televisão digital de alta definição (HDTV), definida com uma plataforma capaz de receber sinais de áudio, vídeo e dados, utilizando sinais de radiodifusão nas faixas de frequências de 470 MHz a 806 MHz (UHF), no Brasil. Este sistema permite a recepção de imagens em alta definição, com som de alta qualidade e em breve visa permitir a implantação da interatividade com o usuário e outros serviços.

Com a mudança da faixa de frequência de transmissão dos sinais da TV analógica para TV digital de alta definição, pesquisadores realizam estudos em relação a melhores estruturas utilizadas para aumento do nível de sinais digitais.

Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um amplificador de radiofrequência fundamentando em um transistor de alta frequência. No intento de obter o sinal digital a ser amplificado, uma antena dipolo de meia onda (λ/2) com geometria inspirada na antena do tipo meander line antena (MLA) também é desenvolvida. Além disso, simulações dos diagramas de diretividade 2D da antena são realizadas.

Par verificar o aumento do nível dos sinais digitais de alta definição recebidos através da antena, medidas foram realizadas utilizando equipamento especifico para tal.

Este trabalho teve suporte financeiro da empresa W3Sat através do projeto de pesquisa intitulado desenvolvimento de antenas para recepção de sinais digitais em televisores de alta definição (HDTV).

D. D. Moura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, diegodemouraa@gmail.com

I. C. Cezário, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, cezario@gmail.com

A. Raizer, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, raizer@eel.ufsc.br

II. Desenvolvimento do Amplificador de Radiofrequência

Com o propósito de realizar o aumento dos níveis dos sinais digitais de alta definição, o circuito eletrônico ilustrado na fig. 1 foi desenvolvido. O circuito é um amplificador de banda larga que amplifica sinais na faixa de frequência de 40 a 900 MHz, incluindo assim, a faixa de operação da HDTV (470 MHz a 806 MHz).

Além disso, o circuito opera com tensão de alimentação de 9V, tem impedância de entrada e saída igual a 75 Ω. Este valor de impedância foi utilizado, para se obter a máxima transferência de potência, pois as impedâncias da antena e do receptor do televisor ambas apresentam este valor.

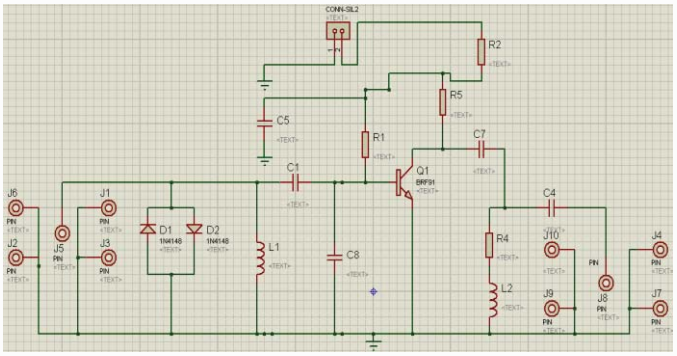


Fig.1 – Circuito elétrico do amplificador de RF.

O circuito amplificador tem como elemento principal o transistor BFR 91, ilustrado na fig. 2. Este componente é um semicondutor NPN, com encapsulamento tipo Macro T, constituindo ainda por três terminais: (1) coletor, (2) emissor e (3) base respectivamente. Sua faixa de amplificação se estende até a frequência de 1.6 GHz, com ganho aproximado de até 23

dB. Onde, a amplificação do sinal é realizada através do sinal oriundo da antena, que é aplicado na entrada do circuito através da base do transistor. Posteriormente o sinal amplificado é extraído no coletor e conduzido a entrada do receptor da HDTV.

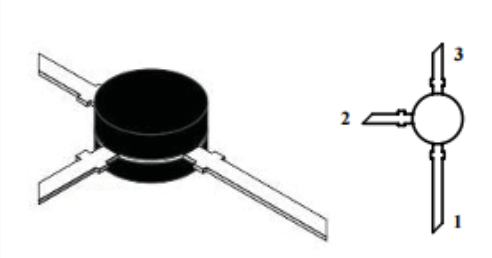


Fig. 2 – Transistor BRF 91

III. DESENVOLVIMENTO DE ANTENA

A. *Fundamentação do Dipolo de meia onda (λ/2)*

Para o desenvolvimento da antena utilizada como referência para amplificação dos sinais digitais de recepção da HDTV, foi utilizada uma das topologias mais comuns, o dipolo de meia onda (λ/2). Esta configuração é constituída por dois condutores com uma alimentação central, onde a distribuição dos campos eletromagnéticos é gerada pela diferença de potencial entre os dois elementos constituintes da antena [1], como ilustra a fig. 3.

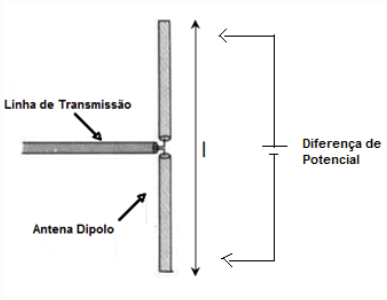


Fig. 3 – Dipolo de meia onda (λ/2)

De acordo com [1] os campos distantes de uma antena linear fina, de comprimento l, simétrica e alimentada pelo centro, pode ser determinado por:

$$E_\theta = \eta_\theta \frac{I_0}{2\pi r}\left[\frac{\cos\left(\frac{\beta l}{2}\cos\theta\right)-cos\left(\frac{\beta l}{2}\right)}{\sin\theta}\right] je^{-j\beta r} \qquad (1)$$

Na região de campos distantes $H_\phi = E_\theta/\eta_0$

$$H_\phi = \frac{I_0}{2\pi r}\left[\frac{\cos\left(\frac{\beta l}{2}\cos\theta\right)-cos\left(\frac{\beta l}{2}\right)}{\sin\theta}\right] je^{-j\beta r} \qquad (2)$$

As equações (1) e (2) permitem calcular os campos radiados E_θ e H_ϕ por uma antena dipolo, onde a forma do diagrama de campo é dada pelo fator entre colchetes. Assim, através da fig.4 é possível visualizar o diagrama de campo para antena dipolo de meia onda.

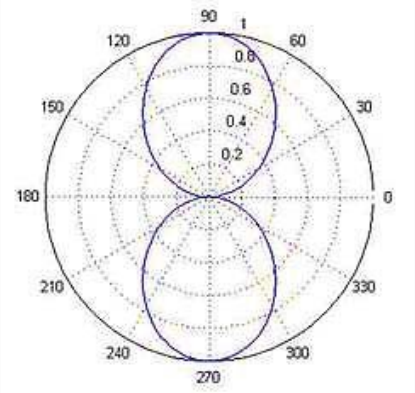


Fig. 4 - Diagrama de radiação do dipolo de meia onda (λ/2).

O diagrama ilustrado acima mostra como um dipolo deve comportar-se idealmente. Onde temos em azul os lóbulos superiores e inferiores, que demostram a máxima diretividade da antena. Além disso, é possível visualizar por meio do gráfico, que o ângulo em relação ao eixo y sugere a presença de modos superiores.

B. *Desenvolvimento da Antena*

Baseado na teoria exposta, e considerando a seguinte equação:

$$d = \frac{\lambda}{2} \qquad (3)$$

onde d = comprimento da antena,

os seguintes limites dimensionais (19 cm ≤ d ≤ 32 cm) foram obtidos para as frequências limites de operação da HDTV (806 MHz e 470 MHz).

No entanto, com o intento de melhorar o desempenho da antena, a geometria desta foi baseada na antena *meander line*, conforme é possível observar na fig. 5. Este tipo de topologia vem sendo muito utilizada pois auxilia na redução do comprimento da antena [2], [3]. Sendo que, a redução dimensional é obtida porque a estrutura é constituída por um conjunto de *arrays* retangulares, possibilitando assim, a redução da frequência de ressonância e o aumento da resistência de radiação em relação a um dipolo convencional.

Para realizar o cálculo das dimensões desta estrutura foi utilizada a teoria apresentada em [1].

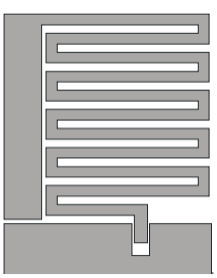


Fig. 5 – Antena *Meander Line*(MLA)

Com isso, as dimensões obtidas são aquelas ilustradas na Fig. 6. Como é possível observar, a antena possui 202 mm de comprimento por 35 mm de largura e foi fabricada em aço inox.

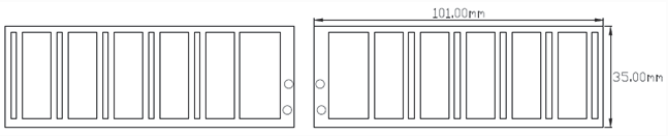


Fig. 6 – Antena dipolo desenvolvida

IV. Modelagem e Simulações Numéricas

A. *Modelagem Por Elementos Finitos*

Com o objetivo de realizar a modelagem da antena, foi utilizado o software fundamentado no método dos elementos finitos [4]. Como é possível visualizar através da fig. 7, a antena foi modelada com as características físicas e geométricas de acordo com o desenvolvimento descrito anteriormente.

Além disso, para modelar as condições de contorno, foi inserido no entorno do dispositivo uma caixa de ar com permissividade e permeabilidade relativa igual 1,0006 e 1 respectivamente.

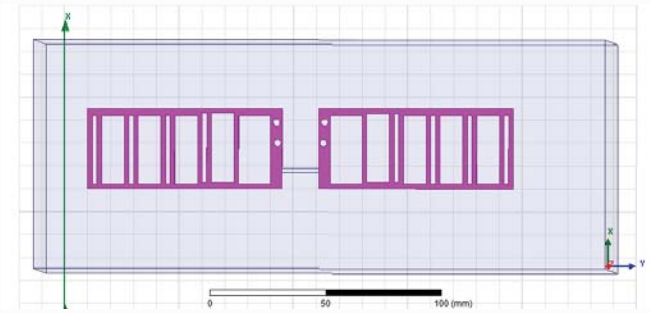


Fig. 7 – Antena modelada

B. *Simulação do Diagrama de Diretividade*

Após a modelagem da antena, simulações dos diagramas de diretividade (2D) foram realizadas para as frequências de 470 MHz e 806 MHz, como é possível visualizar através da figs. 8 e 9.

A partir da análise dos diagramas de radiação apresentados, é possível verificar através dos lóbulos em vermelho ($\phi = 0^0$) e roxo ($\phi = 90^0$) que no plano y=0 a antena desenvolvida apresenta máxima diretividade, e a angulação em relação ao eixo y indica a presença de modos superiores.

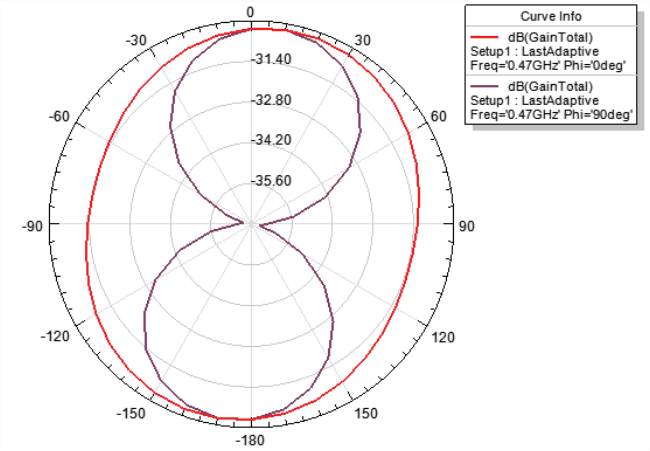


Fig. 8 – Diagrama de diretividade da antena para frequência de 470 MHz φ = 0° e φ=90°

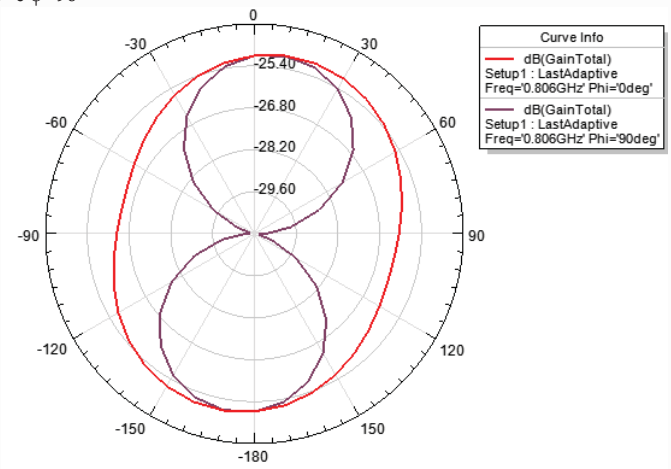


Fig. 9 – Diagrama de diretividade da antena para frequência de 806 MHz φ = 0° e φ=90°

Ao realizar o comparativo com o diagrama teórico apresentado na fig. 4, é possível observar que a antena desenvolvida está funcionando de acordo as características deste tipo de estrutura.

V. Medidas

Com o objetivo de avaliar a recepção dos sinais da antena, medidas foram realizadas utilizando o analisador de espectro FSH3 fabricado pela empresa Rohde & Schwarz. Este equipamento permite realizar análise dos sinais oriundos das transmissoras de sinais. Ou seja, os sinais digitais dos canais abertos advindos das transmissoras são captados pela antena, e posteriormente a leitura das frequências (MHz) e amplitudes (dBuV) dos canais é realizada no equipamento dentro da faixa de operação da TV digital (470 MHZ a 806MHz).

Medidas foram realizadas através do FSH3 para todos os canais digitais abertos disponibilizados: TV Brasil, Rede Globo, Rede Record, SBT, Rede Bandeirantes, Rede TV, Record News, TV Senado e TV Câmara, como ilustrado na tabela I.

Tabela I - Canais digitais abertos

Canal	Frequência (MHz)
TV Brasil	479143
Rede Globo	515143
Rede Record	527143
SBT	533143
Band	545143
Rede TV	557143
Record News	662143
TV Senado	689143
TV Câmara	755143

Através da análise da Fig. 9, é possível verificar os valores das amplitudes dos seguintes canais digitais abertos: TV Brasil (46 dBuV), Rede Globo (38 dBuV), Record (38 dBuV), SBT (46 dBuV), Band (42 dBuV), Rede TV (38 dBuV), Record News (38 dBuV), TV Senado (34 dBuV), TV Câmara (35 dBuV). Desta forma, a recepção da antena dipolo mostrou-se satisfatória em relação a recepção dos canais digitais abertos disponibilizados na região, pois todos os canais apresentaram valores superiores ao valor mínimo proposto pela norma nacional (32 dBuV) [5].

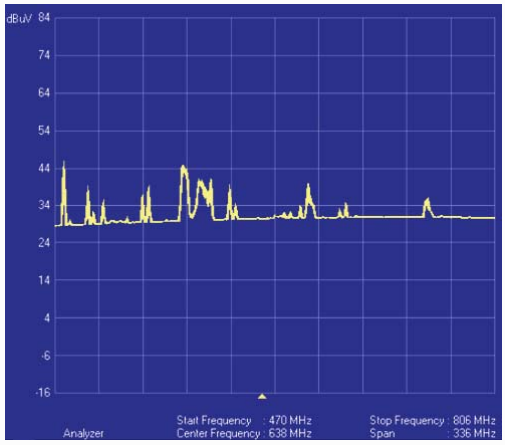


Fig. 9 – Medida dos canais digitais abertos.

A fim de verificar o aumento do nível dos sinais digitais obtidos no receptor do televisor de alta definição, a mesma foi conectada na entrada do amplificador via cabo coaxial. A saída do circuito foi conectada a entrada do televisor também via cabo coaxial, como ilustra a fig.10. Desta forma, medidas foram realizadas para os canais digitais abertos utilizando o osciloscópio DPO 5024.

Como é possível visualizar através da fig.11, medidas foram realizadas para o canal TV Brasil (479.143 MHz), onde foi obtido o valor amplitude de 210 *mV* para o sinal de entrada (sinal na antena) e 394 *mV* para o sinal de saída (sinal na entrada do televisor).

Posteriormente, utilizando o mesmo *setup*, medidas do nível de sinal na entrada e saída foram realizadas para todos os canais digitais abertos. Desta forma, como é possível observar na tabela II, com a utilização do amplificador, os níveis dos sinais digitais disponíveis na entrada do televisor têm um aumento significativo. Ou seja, foi possível obter ganhos em relação aos sinais oriundos da antena (sinal de entrada) e os sinais recebidos na entrada do receptor da TV (sinal de saída) que variaram de 1,87 até 5. Logo, a utilização do sistema amplificado proposto, pode ser uma boa opção para localidades que apresentam baixos níveis de recepção dos sinais digitais.

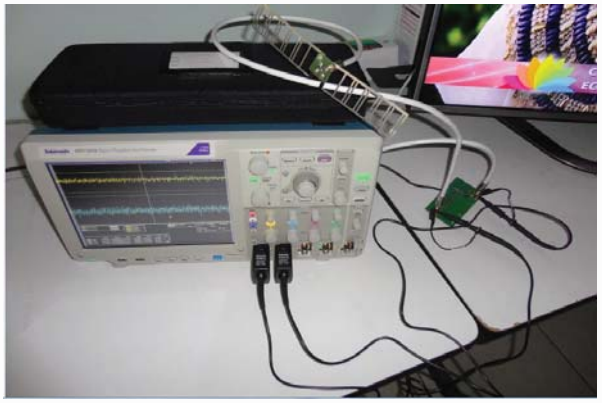


Fig. 10 – Circuito amplificador conectado entre HDTV e antena.

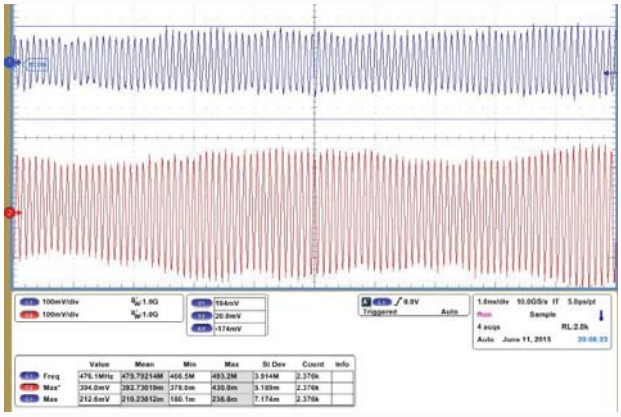


Fig. 11 – Medidas no osciloscópio do sinal amplificado (TV Brasil).

Tabela II – Medidas do aumento dos sinais digitais.

Canal	Frequência (MHz)	Sinal de Entrada (mV)	Sinal de Saída (mV)
TV Brasil	479143	210	394
Rede Globo	515143	78.95	197.45
Rede Record	527143	78.95	197.45
SBT	533143	199.2	498
Band	545143	125.7	314.25
Rede TV	557143	78.98	263,26
Record News	662143	78.98	194.45
TV Senado	689143	50.05	126
TV Câmara	755143	55.09	275.45

VI. Conclusão

Neste artigo foi desenvolvido um amplificador de radiofrequência utilizado para o aumento do nível dos sinais digitais utilizados em televisores de alta definição. Além disso, uma antena dipolo de meia onda (λ/2) com a estrutura fundamentada na geometria meander line antenna também foi desenvolvida.

Através das simulações e medidas realizadas para antena, é possível dizer que a estrutura apresentou resultados satisfatórios em relação à recepção dos sinais digitas. Além disso, através do desenvolvimento do amplificador, um aumento dos níveis dos sinais digitais foi alcançado.

Desta forma, torna-se evidente que o sistema amplificado proposto, pode trazer contribuições em relação à recepção dos sinais digitais, sobretudo para localidades onde o nível dos sinais possuem valores reduzidos em suas amplitudes.

Assim, estudos relacionados ao aumento dos níveis dos sinais digitais de alta definição, devem ganhar importância nos tempos atuais, especialmente com a iminente extinção dos sinais analógicos.

Referências

[1] C. A. BALANIS, Antena theory-analysis and design, 3 ed., New York: John Wiley & Sons, Volume 2, 2005.

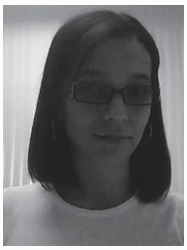
[2] K. W CHEN, C. L. YANG , A Method for Input Impendence Matching of PIFA based on Meander Line Antenna, International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 2- 5 December , 2014.

[3] D. MISMAN, M.N. HUSAIN; M.Z.A ABD AZIZ,., I.A. KADIR, M.F.A. SALAMAT, M.R.C. ROSE; M. SHAH; P.J. SOH, The Study of a Different Impedance Meander Line for Microstrip Antenna Design, 6th National Conference on Telecommunication Technologies 2008 and 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics. NCTT-MCP, 26-28 August, 2008.

[4] (2014). ANSYS HFSS website. [Online]. Available: http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Electronics/Signal+Integrity/ANSYS+HFSS

[5] Norma ABNT NBR15604:2007, Televisão digital terrestre – Receptores.

Diego de Moura, nasceu em Chapecó, Santa Catarina, Brasil, em 1982. Recebeu o diploma em Sistemas Eletrônicos pelo Instituto Federal de Santa Catarina, em 2007, e o título de mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, em 2011. Atualmente é doutorando em engenharia elétrica e membro do Grupo de Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética da Universidade Federal de Santa Catarina. Suas áreas de interesse são campos eletromagnéticos, compatibilidade eletromagnética e modelagem eletromagnética de sistemas eletrônicos.



Ingrid C. Cezário nasceu em Nova Trento, Santa Catarina, Brasil, em 10 de agosto de 1983. Recebeu o diploma em Sistemas Eletrônicos pelo Instituto Federal de Santa Catarina, em 2008, e o título de mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, em 2012. Atualmente é doutoranda em engenharia elétrica e membro do Grupo de Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética da Universidade Federal de Santa Catarina. Suas áreas de interesse são campos eletromagnéticos, compatibilidade eletromagnética e modelagem eletromagnética de sistemas eletrônicos.

Adroaldo Raizer, nasceu em Lages, Santa Catarina, Brasil, em 11 de agosto de 1963. Recebeu os títulos de engenheiro eletricista (1985) e mestre em engenharia elétrica (1987), ambos pela Universidade Federal de Santa Catarina. Em (1991) concluiu o doutorado em engenharia elétrica pelo Institut National Polytechnique de Grenoble, França. Atualmente Dr. Raizer é professor titular do Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina. Atua também como coordenador do Grupo de Engenharia e Compatibilidade Eletromagnética (GEMCO) e do Laboratório de Eletromagnetismo e Compatibilidade Eletromagnética (Maglab). Suas áreas de interesse são campos eletromagnéticos, compatibilidade eletromagnética e métodos numéricos.

Cite this article:
de Moura, D., C. Cezário,I., Raizer, A.; 2015. Desenvolvimento de Sistema de Recepção com Amplificação do Nível de Sinal Digital de Alta Definição. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1.doi: 10.18580/setep.2015.1.13 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.13

Influência da MER vs. Área de Cobertura

Newton Martins Stori
José Frederico Rehme

Influência da MER vs. Área de Cobertura

Newton Martins Stori[1], José Frederico Rehme [2]

[1]Londrina, Brasil, newton@rpc.com.br, RPC
[2]Curitiba, Brasil, fred@rpc.com.br, RPC e Universidade Positivo

Abstract - *In this paper are presented theories and technical tests on terrestrial Digital TV transmission, in which the MER (Modulation Error Rate) parameter was altered on the transmitter, and analysis was conducted on the impact that this variation causes on Digital TV reception. MER is one of the main parameters analyzed at the transmitter specification stage, and it strongly affects equipment price and energy efficiency; therefore, the study of the effects that the value of MER measured at the output of the transmission device has on the reception of the TV devices is extremely important. This paper describes laboratory and field tests and results, suggesting which transmission MER value is optimal for good reception in a desired coverage area, even in the presence of noise and degradation (especially channel contributions).*

Resumo - Neste trabalho são apresentados teorias e ensaios técnicos de transmissão terrestre de TV Digital, em que o parâmetro MER (*Modulation Error Rate*) foi alterado no transmissor; a análise foi realizada sobre o impacto que essa variação faz na recepção de TV Digital. MER é um dos principais parâmetros analisados na fase de especificação do transmissor, e afeta fortemente o preço dos equipamentos e a eficiência energética; logo, o estudo dos efeitos que o valor de MER medido na saída do transmissor tem sobre a recepção dos aparelhos de TV é extremamente importante. Este artigo descreve os testes e resultados de laboratório e de campo, sugerindo o valor de MER de transmissão ótima para uma boa recepção em uma área de cobertura desejada, mesmo na presença de ruído e degradação (especialmente por conta das contribuições de canal).

1 – INTRODUÇÃO

O sistema de comunicação de radiodifusão de televisão aberta é formado por transmissão, canal de comunicação e muitos receptores. O sucesso do sistema depende de parâmetros destas três partes. Somente a transmissão está sob controle das estações de televisão. Geralmente as escolhas das especificações técnicas são rigorosas e conservadoras: para garantir bons resultados de todo o sistema, muitas vezes tais especificações são exageradas (e portanto de custo elevado), mesmo sem se conhecer a real eficácia desta estimação. Quando as consequências e as causas não são muito bem conhecidas ou determinadas, na maioria dos casos são aplicadas as melhores, mais rigorosas, mais caras soluções técnicas vigentes oferecidas pelo mercado e pela tecnologia. No entanto, as outras duas partes podem ter uma influência muito significativa na degradação do desempenho do sistema, e grandes esforços na transmissão não necessariamente refletem em um melhor desempenho para obter a meta final, que é a recepção correta na casa do telespectador.

A relação entre os parâmetros de transmissão e a facilidade que estes causam na recepção de sinal de tv é o objeto desta pesquisa. Especialmente, é investigada a influência do quesito MER do transmissor, sugerindo-se de forma matemática e numérica a otimização deste parâmetro, para que seja obtida uma relação custo-benefício adequada na definição do equipamento transmissor e os resultados de sua aplicação. Na era da ainda jovem televisão digital, há poucas pesquisas científicas comprovadas para determinar com certeza qual é o melhor equipamento para cada situação, considerando os recursos de otimização e desempenho técnico de um subsistema de transmissão específica. Além do fato de que muitos sites de transmissão digital nas grandes cidades já estão definidos e implantados, agora é tempo no Brasil (e em muitos outros países) de expandir a área de cobertura. As redes de TV precisam criar sites de retransmissão em locais de baixa densidade demográfica, com aumento "per capita" de custos. A otimização do sistema significa "recuperação econômica" da cobertura de sinais digital. A adoção de características menos exigentes e sistemas mais simples, sem afetar significativamente a capacidade de recepção, favorecem as empresas a implantar mais sites com o mesmo investimento, trazendo maior público para o sinal digital.

O foco do trabalho descrito neste artigo é exatamente definir uma MER de transmissão. A ideia é encontrar o valor mais baixo para a MER de transmissão, com custo do equipamento reduzido, que não diminua a confiabilidade do sistema em um ambiente real, onde as características do receptor não são ideais.

Questões teóricas

I. MER

As informações transportadas pela TV digital são codificadas em palavras binárias e modulam as portadoras dos canais de transmissão. O sinal resultante de RF (rádio frequência) do presente processo é amplificado para alimentar a antena do transmissor. Estes tratamentos de sinal não estão livres de ruídos e distorções, e as informações enviadas para

o ar através das portadoras tem algumas diferenças entre conteúdo desejado e transmitido.

No padrão ISDB-Tb, a modulação de vídeo de alta definição (juntamente com sinais de áudio e de dados relacionados) é feita por um processo conhecido como OFDM *(Orthogonal Frequency Division Multiplex)*, com QAM *(Quadrature Amplitude Modulation)* em 16-QAM ou 64-QAM. As portadoras na faixa de UHF *(Ultra-High Frequency)* são alteradas em fase e amplitude de acordo com a palavra binária: no caso da modulação 16-QAM, a cada quatro bits há um par de amplitude e fase exclusiva e, para 64-QAM, estas duas características são resultado de uma palavra de seis bits. Assim, o fluxo de bits gera uma constelação, mostrada na Figura 1 [1].

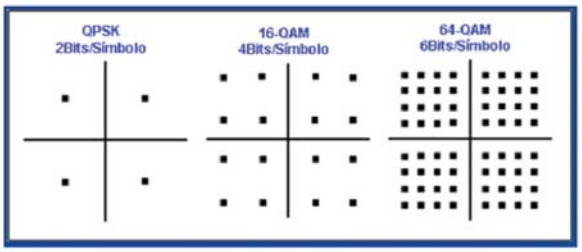


Figura 1: Diagrama de Constelação

Para cada palavra binária, existe uma posição muito bem definida do símbolo. Um símbolo representa uma mudança específica, única da portadora em amplitude e fase. No caso ideal, ele é um ponto exato na constelação, e pode ser descrito como um vetor a partir da origem. Quando os símbolos são construídos pelo modulador e demais etapas, oferecendo amplitude e fase instantânea para representar uma palavra, podem ocorrer erros e, a mesma sequência de bits pode resultar em um pequeno desvio entre o ponto real e o esperado. Um novo vetor, aqui chamado de "transmitido", está próximo, mas diferente do desejado, e um terceiro vetor, "vetor de erro" é criado. EVM (*Error Vector Magnitude*) é uma métrica que pode medir o tamanho do desvio em relação à posição ideal. A Figura 2 mostra os vetores citados [2].

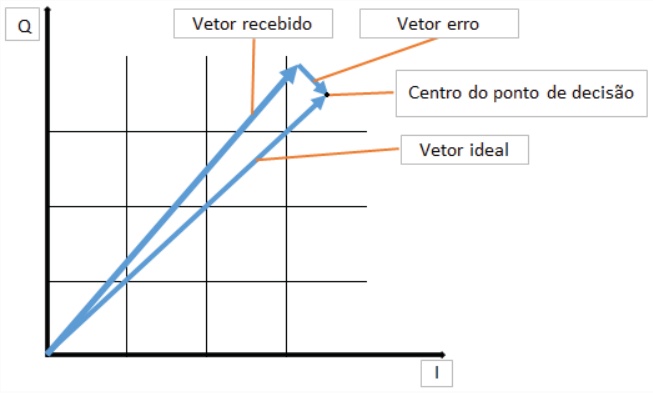


Figura 2: EVM

A MER é outra ferramenta matemática para demonstrar a distância entre o símbolo real e ideal, traduzindo em números a mesma ideia do EVM. Quando um único número representa todos os símbolos da constelação, a medição é chamada "MER (rms)". Segundo [3], pode ser calculada pela equação mostrada adiante (1), em escala logarítmica. O numerador indica vetores ideais, ao passo que o denominador expressa vetores de erro. Portanto, 0 é o resultado mais baixo possível, com erros tendendo a infinito. Alto valor de MER (por exemplo, 40 dB) significa erros menores, uma condição boa e esperada.

$$MER\ (dB) = 10\log_{10}\frac{\sum_{J=1}^{N} Ij^2 + Qj^2}{\sum_{j=1}^{N} \delta\, Ij^2 + \delta Qj^2} \qquad (1)$$

Um fluxo grande de bits gera uma constelação que repete os mesmos símbolos várias vezes na tela do instrumento. Os mesmos símbolos devem ser sobrepostos em um ponto exato e fino. A condição real são pontos espalhados em torno da posição central. O ponto, idealmente sem dimensões, torna-se uma mancha, e quanto maior for o seu diâmetro, menor será a MER percebida. A comparação entre a Figura 3 e Figura 4 explica essa ideia.

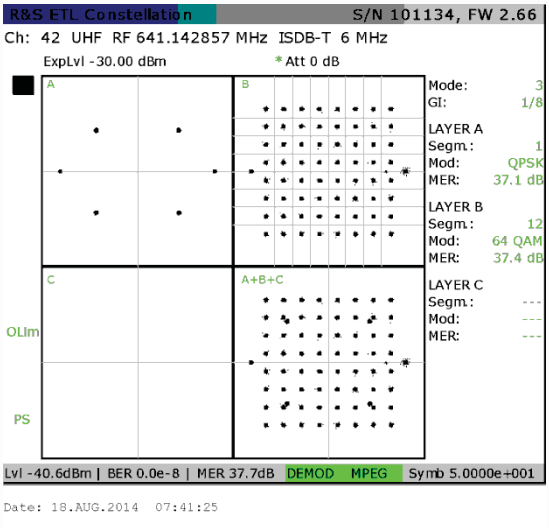


Figura 3: Constelação: MER = 37.4 dB

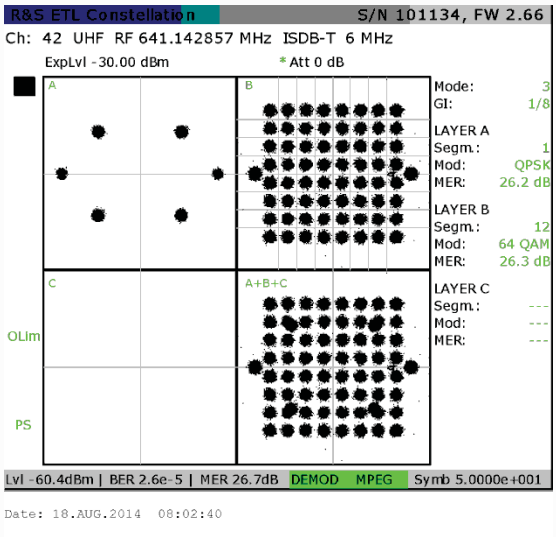


Figura 4: Constelação: MER = 26.3 dB

II. Ruído e Distorção

O modulador não cria um símbolo perfeito, e a MER no transmissor é uma consequência de alguns ruídos e distorções presentes no sistema; por exemplo, são originados pela não linearidade e pela figura de ruído dos amplificadores. A MER do transmissor é um número finito, geralmente cerca de 30 a 45 dB.

Ruídos são sinais indesejáveis, não deliberadamente criados, e por causa da dificuldade de expressão algébrica (características aleatórias), eles são tratados estatisticamente. Em sistemas de comunicação eletrônicos, ruído térmico e ruído de fase do oscilador estão presentes e adicionados ao sinal. Ambos modificam a posição correta do símbolo. De acordo com [4], o ruído térmico é uma fonte de sinal aleatório e contínuo gerado pelo movimento de elétrons em um material condutor. Assim, é inerente de todo o processamento eletrônico. O ruído de fase é o desvio instantâneo e aleatório da frequência e fase do sinal gerado pelo oscilador. Quando o ruído ocorre dentro da faixa de frequência do sinal, a sua separação é muito complexa e reduz a MER. A métrica C/N (*Carrier to Noise*) indica a relação de amplitude existente entre sinal e ruído e, quanto menor este parâmetro, pior é a MER.

Diferente do ruído, as distorções não são adicionadas como componente espectral (apesar de resultarem em espalhamento espectral), mas são o resultado da incapacidade dos sistemas em manter suas características de amplitude em toda faixa de frequência. Distorções não-lineares são muito comuns devido à saturação dos amplificadores.

III. Eficiência Energética

Segundo [5], os custos com o consumo de energia representam mais da metade das despesas operacionais dos sites de transmissão de alta potência. Porém, essa questão também é muito relevante quando se deseja ampliar a quantidade de locais de transmissão, aumentando a área de cobertura, mas sem um incremento proporcional de pessoas. A busca por uma utilização racional dos recursos energéticos é uma atividade contemporânea e que não pode ser negligenciada.

Eficiência energética significa ter um melhor desempenho de um bem ou serviço consumindo menos energia [6]. Não é o foco deste artigo discutir como ela pode ser obtida. Muitos autores, como [7], [8] e [9] demonstram algumas opções no transmissor para se ter uma boa relação entre Potência de RF / Consumo de Energia: expandindo a região linear de amplificadores, controlando a pré-distorção para tornar linear a resposta global de um transmissor, ou reduzindo o fator de pico. Outra forma de contribuir com a eficiência energética é através de um bom projeto de cobertura, com base no estudo da altura e localização da torre, além do diagrama de antena.

Geralmente, a eficiência energética é obtida com o custo de um dos três critérios seguintes: a) o sacrifício de alguns parâmetros técnicos, especialmente a MER do transmissor; b) com o aumento da complexidade do circuito; c) com a redução da confiabilidade do equipamento. Enquanto as pesquisas com foco em eficiência energética são realizadas para minimizar a degradação da MER com uso de amplificadores mais complexos ou sistemas de pré-distorção, as investigações apresentadas neste artigo desejam oferecer um número de referência para MER que pode ser aceitável e suficiente para os símbolos transmitidos, sem afetar a área de cobertura e facilidade de recepção. Em muitos casos, onde a quantidade de ruído do canal reduz muito a MER recebida, grandes esforços para se ter um alto valor de MER no transmissor podem não trazer resultados significativos na MER de recepção.

IV. MER Recebida vs. MER Transmitida

A importância da métrica MER está na essência do processo de comunicação: se o símbolo corretamente gerado no lado do transmissor pode ser interpretado no lado do receptor, consequentemente a mensagem foi enviada e compreendida. É importante definir agora a diferença entre MER transmitida e MER recebida. A primeira é um número associado com a qualidade de construção do símbolo pelo processamento de transmissão, e a segunda, na verdade, explica a possibilidade ou não de receber a mensagem corretamente. Assim, o mais importante é a MER recebida. O valor da MER recebida depende da MER transmitida, mas também está relacionado com erros introduzidos pelo canal de comunicação e com o desempenho do receptor.

A área de cobertura é proporcional à potência transmitida e à MER transmitida, porém não de forma linear. Entretanto, a relação entre MER e potência de saída em um mesmo transmissor é inversamente proporcional, ou seja, se um determinado equipamento fornecer a maior potência possível, está abrindo mão de uma boa MER. Da mesma forma, caso o amplificador opere de forma a gerar baixa distorção e consequentemente elevada MER, a potência de RF será menor. Então, conhecendo-se o comportamento e

contribuição da MER e da potência de RF na área de cobertura, sugere-se que exista um ponto ótimo de operação de um equipamento. Os estudos realizados por [10] apresentam testes de laboratório que estimam o ganho de potência de um amplificador em detrimento da MER, assim como também demonstram ensaios da redução do limiar de recepção quando a MER de transmissão é reduzida. Desta forma, tendo as duas expressões que modelam as curvas que relacionam os três parâmetros (potência, MER, limiar de recepção), há como calcular o ponto otimizado do equipamento. Por outro lado, o presente artigo apresenta de forma conclusiva o comportamento da MER de recepção em função da MER transmitida.

Considerando apenas as contribuições do canal e do transmissor, a MER recebida é uma soma dos efeitos destas duas partes. A fim de ter um melhor resultado final, parece ser natural tentar aumentar um dos termos, e isso explica por que a maior parte das equipes técnicas prefere ter uma MER transmitida elevada, apesar de gerar custos mais elevados ou o aumento do consumo de energia. Mas, quando os dois termos estão muito longe em magnitude, mudar apenas um deles pode ser quase em vão. Estas considerações são ainda mais importantes quando a escala é logarítmica, como o caso da medida de MER.

Baseado nesta teoria e estudos feitos por [11], uma expressão matemática (2) foi desenvolvida.

$$MER(RX) = 10\log\left(10^{\frac{-MER(TX)}{10}} + 10^{\frac{-Referência}{10}}\right)^{-1} \quad (2)$$

MER (RX): MER recebida
MER (TX): MER transmitida
Referência: influência do canal de comunicação

A primeira parcela da soma representa a qualidade do transmissor, e que pode ser facilmente preenchida, mas a segunda parcela (Referência) consiste na contribuição da degradação do canal de comunicação e, deve ser calculada por uma MER de recepção estimada em qualquer ponto. O cálculo é feito por (3):

$$Referência = 10\log\left(10^{\frac{-MER(RX)}{10}} - 10^{\frac{-MER(TX)}{10}}\right)^{-1} \quad (3)$$

Válido para MER (RX) < MER (TX)

A variável "Referência" mostra a relevância do canal de comunicação na deterioração da MER recebida: quanto menor for o valor absoluto, maior será a degradação gerada pelo canal de comunicação. Como o objetivo deste trabalho é comparar a mudança da MER recebida dependendo das variações da MER transmitida, o valor de recepção pode ser arbitrado.

Essas equações permitem calcular a influência da MER transmitida através da MER recebida. Para 64-QAM, é usual um limiar de 18 dB de MER, e 4 dB pode ser uma boa margem.

Exemplo:

Transmissor A:
MER (TX) = 40dB
MER (RX) = 22dB

Transmissor B:
MER (TX) = 33dB
MER (RX) = ???

$$Referência = 10\log\left(10^{\frac{-22}{10}} - 10^{\frac{-40}{10}}\right)^{-1} = 22.07 \text{ dB}$$

Retornando para (1):

$$MER(RX/TXB) = 10\log\left(10^{\frac{-33}{10}} + 10^{\frac{-22.07}{10}}\right)^{-1} = 21{,}7\,dB$$

Depois de estabelecer a "referência" para o ponto a ser estudado, basta apenas definir a MER (TX) em (1) e estimar a nova MER (RX) para qualquer valor de transmissão.

Neste exemplo, uma variação de 7 dB na MER transmitida (40 para 33 dB) implica apenas em uma redução de 0,3 dB para a MER recebida.

Uma MER transmitida aceitável influencia apenas com uma pequena redução na MER recebida, quando em condições extremas de recepção e se comparada com uma MER transmitida elevada. É claro que, se as características de propagação são muito boas e o canal não contamina muito o sinal, a MER transmitida será o fator principal, mas se o valor ainda é muito mais elevado do que o limite mínimo de recepção, a meta final será alcançada.

Volume 07 • Número 07 • 2013

Metodologia de Investigação

I. Experiência em laboratório

Os principais objetivos dos ensaios em laboratório foram: 1) verificar como diminuir a MER transmitida sem afetar outros parâmetros do tx e 2) observar e medir a variação da MER recebida quando a MER transmitida for alterada em alguns passos, em um ambiente com diferentes níveis de sinal recebido (e, junto com a MER, altera-se o C/N). Em laboratório, algumas inclusões de ruído, interferências e multipercursos não estão presentes.

O diagrama da Figura 5 ilustra a plataforma de teste de laboratório.

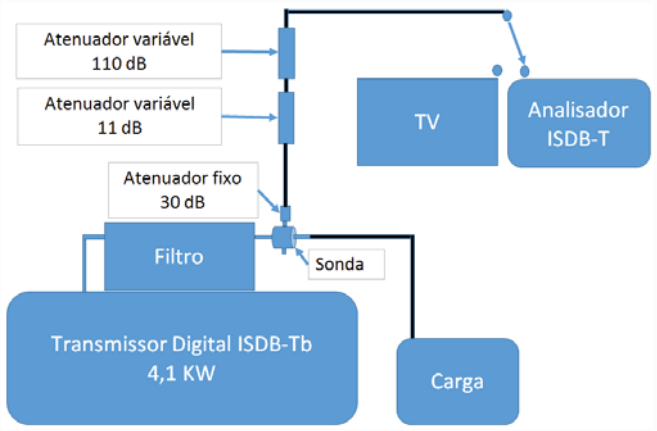


Figura 5: Diagrama em Blocos da Plataforma de Ensaio em Laboratório

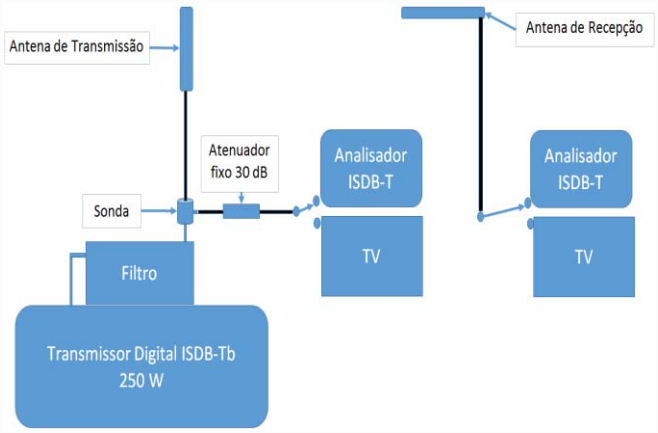


Figura 6: Diagrama em Blocos da Plataforma de Ensaio em Campo

O transmissor usado durante os ensaios possui ajuste de pré-correção de linearidade; mudando este parâmetro, a MER resultante é modificada, mantendo-se a potência e a resposta em frequência. A tabela foi preenchida com medições informadas em um analisador ISDB-T, com cinco diferentes valores de MER (o máximo, 37,8 dB e 36, 34, 32, 30 dB), todos eles em cinco condições de atenuação diferentes. Assim, vinte e cinco medições foram preenchidas.

Os gráficos de resultados são apresentados em outra seção do artigo.

II. Testes de Campo

Para verificar a influência real da MER transmitida sobre a capacidade do aparelho de televisão em receber e decodificar os sinais, considerando-se agora as condições de canal (especialmente modificadas pela presença de multipercursos), foram realizados testes de campo. As medidas foram coletadas na cidade de Arapongas, no Estado do Paraná, com população de cerca de cem mil habitantes, onde há regiões com alta densidade de edifícios, e regiões suburbanas, longe da torre de transmissão. Em um ambiente urbano, além de obstáculos naturais ou artificiais, existem muitas fontes de ruído (por exemplo, sinais de outros sistemas de comunicação ou ruído impulsivo por causa de motores), interferências em frequências próximas ou idênticas, e multipercursos.

As cinco opções de MER transmitida eram controladas e verificadas no local da transmissão, utilizando o analisador ISDB-T, incluindo o máximo do TX (39.6 dB) e o mínimo (33 dB). O diagrama de blocos do teste de campo é apresentado na figura 6.

O sinal foi transmitido no ar através de uma antena a trinta e cinco metros do solo. A MER transmitida é medida por uma amostra da saída do TX, e que pode ser considerada "sem contribuição do canal".

Em cinco pontos da cidade, com níveis e condições específicas, cada uma das cinco variações de MER transmitidas foi utilizada. Com o mesmo analisador ISDB-T foram recebidas então vinte e cinco medidas de MER RX, possibilitando a criação de uma nova tabela. Os testes foram realizados em cinco condições particulares de recepção, com alterações devido a edificações, distância do ponto de transmissão, proximidade de fontes de ruído, procurando-se demonstrar situações reais, desde excelentes recepções até condições mínimas dentro da área de cobertura.

Resultados

O Gráfico 1 demonstra os resultados dos testes em laboratório.

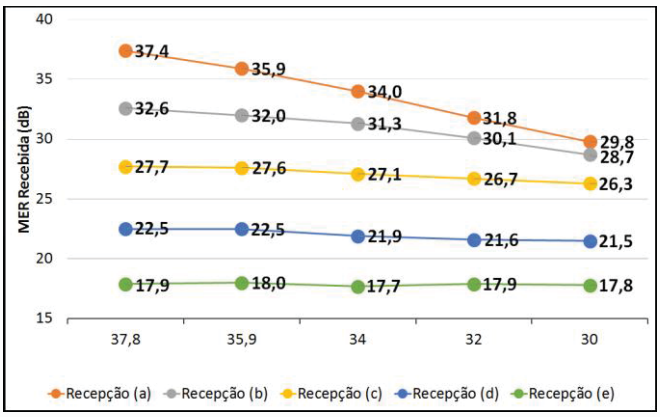


Gráfico 1: MER (RX) VS MER (TX) – Laboratório

Cada linha corresponde a um estado do nível de sinal. A linha superior, em cor laranja, foi obtida em cinco condições de MER (TX) diferentes (eixo horizontal), mas em um nível muito elevado de sinal recebido (o sinal recebido era maior do que -30 dBm), e também com uma boa relação C/N. A perda de MER (RX) para valores superiores a 30dB não afeta a facilidade de recepção do sinal em receptores domésticos, pois segundo [10] a máxima MER (RX) mensurável nesses equipamentos é de 30 dB; logo, não há motivo de se trabalhar com MER (RX) superior a 30dB. Vale ressaltar a importância de sempre trabalhar com o conceito de MER recebida, pois é ela que possibilita ou não o sucesso na recepção.

A linha inferior, em verde, é o resultado de um nível muito baixo de recepção de sinal (cerca de -77 dBm), e uma pobre C/N. Pode-se notar que, quando as condições de recepção são ruins, perto do limite de sensibilidade, não importa a MER (TX), pois a MER (RX) é quase constante. Observe a condição d), com uma linha azul: mesmo reduzindo-se em 7,8 dB a MER (TX) (37,8 a 30 dB), a MER (RX) diminuiu apenas 1 dB (22,5 a 21,5 dB).

Comparando a figura da resposta espectral entre os testes de laboratório e de campo (Figura 7 e Figura 8), com o mesmo nível rms, pode-se notar uma degradação do sinal recebido no segundo caso, pois em condições de ambientes não controlados ocorrem fortes contribuições do meio. A figura 8 mostra a presença de uma base de ruído mais elevada, e ainda alterações de resposta em frequência, provavelmente por conta de multipercursos.

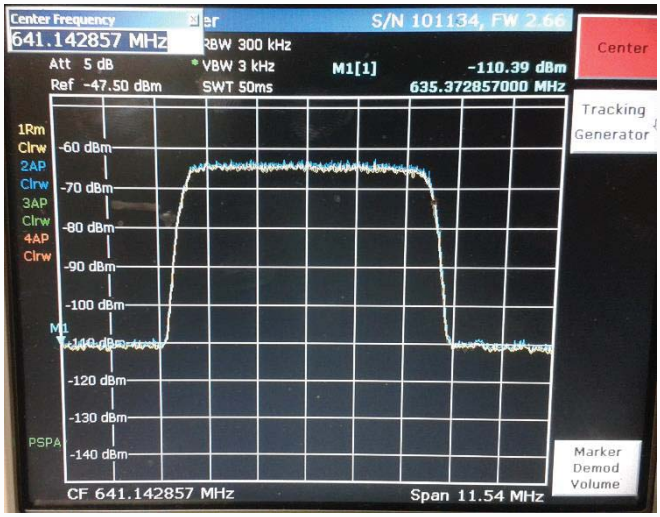


Figura 7: Espectro de frequência do sinal em laboratório

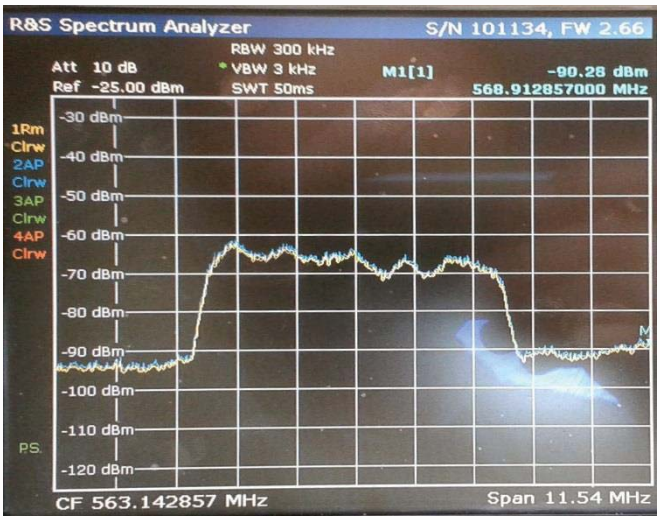


Figura 8: Espectro de frequência do sinal em Campo

Apesar da recepção mais crítica, os resultados em um ambiente urbano foram consistentes com os encontrados em laboratório e com os cálculos teóricos. Mesmo com outros tipos de degradações, a MER (RX) sofre influência muito similar da MER (TX) em um espaço controlado.

O Gráfico 2 é formado pelas vinte e cinco medições feitas em campo:

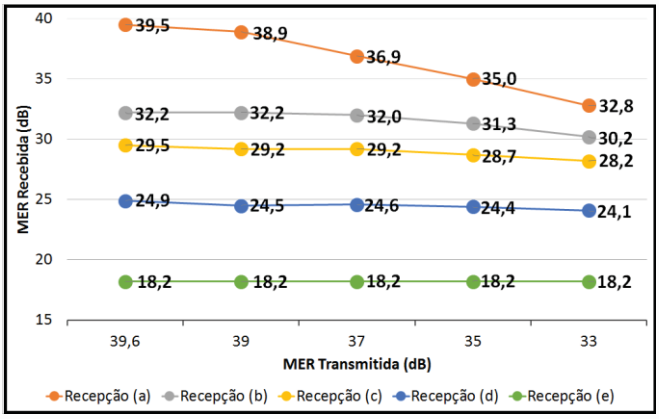


Gráfico 2: MER (RX) VS MER (TX) – Campo (Arapongas)

O Gráfico 3 apresenta os resultados teóricos utilizando as equações apresentadas neste artigo para as variações da MER transmitida na cidade de Arapongas.

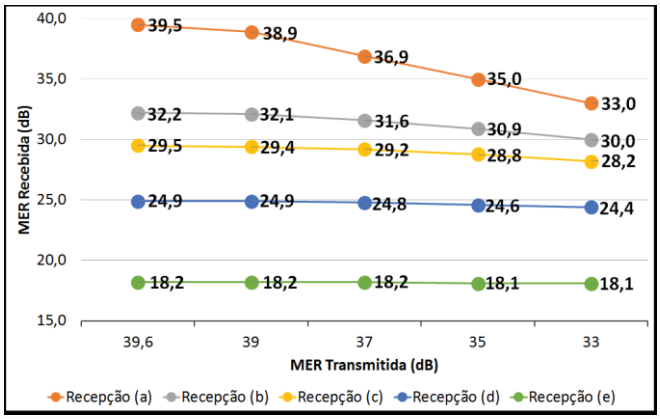


Gráfico 3: MER (RX) VS MER (TX) – Teórica (Arapongas)

Conclusões

A transmissão em todos os sistemas de comunicação sem fio é altamente afetada por características do canal, e é importante ter métricas com limites matemáticos específicos para evitar gastar recursos que não trazem melhor desempenho.

As equações 2 e 3 são maneiras de somar duas parcelas dadas em escalas logarítmicas e ter um valor preciso dos resultados, o que pode ser provado por experimentos em laboratório e em campo.

Os testes de laboratório e de campo mostraram resultados semelhantes em relação à variação MER (RX) vs. MER (TX). Além disso, as ferramentas matemáticas apresentadas neste artigo também se mostraram muito eficientes. Não importa se a deterioração da MER causada pela influência do canal tem origem em ruídos, multipercursos ou outro tipo de distúrbios, as fórmulas matemáticas podem dar o valor correto para a MER recebida. Quando os testes de campo e os valores teóricos foram comparados, a diferença máxima obtida foi de 0,4 dB.

Nota-se que, em qualquer ambiente, com níveis de sinal elevados, a MER (RX) é muito afetada pela MER (TX). Mas, mesmo na menor MER (TX) testada, a MER (RX) é muito maior do que o mínimo necessário para uma demodulação correta. Por outro lado, quando o nível do receptor ou C/N é muito baixo e a MER (RX) é de cerca de 21 dB, por exemplo, a MER (TX) quase não tem influência no resultado, ou no máximo 0,3 dB de variação.

Os testes de campo realizados na cidade selecionada foram muito conclusivos e, em condições similares de canal e parâmetros técnicos, uma MER de transmissão em torno de 31 a 33 dB não traz qualquer deterioração da capacidade de demodulação. Os resultados podem ser estendidos para algumas outras áreas urbanas e suburbanas.

É importante salientar que este valor mínimo proposto para MER (TX) deve estar presente no final de um sistema de transmissão, ou seja, na antena de transmissão do sinal a ser recebido numa determinada área de cobertura. Se este sinal for recebido em um sistema de repetição em gap filler, por exemplo, e a partir dele um novo sinal de RF é gerado, recomenda-se que sejam tomadas as devidas técnicas e outros valores para MER (TX), para que não haja uma redução sucessiva na qualidade do sinal modulado. Neste caso de repetição, novamente sugere-se que o valor mínimo na saída deste novo sistema seja acima de 31 dB para a MER (TX).

References

[1] TELECO.2014. “Tutoriais Banda Larga”, [Online], Available: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhspaplus/pagina_2.asp [11 AGO 2014].

[2] FISCHER, W, “Digital Video and Broadcasting Technology”, *Springer*, Vol, No 3., 2010, pp.337.

[3] JUNIOR, R.A, S, “TV Digital: Conceitos de Telecomunicações”, *Inatel*, 2012, pp.46.

[4] HAYKIN, S and MOHER,M, "Introdução aos Sistemas de Comunicação", *Bookman*, Vol, No 2., 1983.

[5] ROHDE&SCHWARZ, “Efficiency is the Key Factor When Choosing a High-Power Broadcast Transmitter”, 2014.

[6] CELPE. 2013.“O que é eficiência energética”, Neoenergia,[Online], Encontrado em: http://www.celpe.com.br/Pages/Efici%C3%AAncia%20Energ%C3%A9tica/o-que-e-ef-energetica.aspx [05 JAN 2015].

[7] RODRIGUES, H.D., “High Efficiency Transmission – Green Amplification”, *2012 NAB BEC Proceedings*, april 2012, pp292-295 .

[8] BORGES, R.M., DAMASCENO, P.M., “Compensação Não Linear Adaptativa Aplicada à Otimização de Transmissores de TV Digital”, *2014 SET Congress, São Paulo*, agosto/2014.

[9] OLIVEIRA, V, “Desafios da Interiorização: Como conciliar os parâmetros MER, Eficiência e Intermodulação em Transmissões Digitais”, *2014 SET Congress, São Paulo*, agosto/2014.

[10] RODRIGUES, H.D., “Influence of Modulation Error Rate (MER) on Transmitter Coverage Area”, *2015 NAB BEC Proceedings*, april 2015, pp265-268

[11] ROHDE&SCHWARZ, “Influence of Transmitter MER to Digital Television Coverage Area”, White Paper Rohde Schwarz, may 2010.

Cite this article:
Martins Stori, N., Rehme, J.F.; 2015. Influência da MER vs. Área de Cobertura. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.14 Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.14

JOGOS EDUCATIVOS EM TVDi: A GAMEFICAÇÃO DO GINGA

Bruno Rodrigues Ferraz Izario

Cristiano Akamine

JOGOS EDUCATIVOS EM TVDi: A GAMEFICAÇÃO DO GINGA

Lucas Silveira de Azevedo[1], *Fabio Cardoso*[2]

[1] Supervisor de Arte - TV Unesp; Doutorando PPG Design - Unesp, Bauru, Brasil, lucas@tvu.unesp.br
[2] Programador - TV Unesp; Mestre PPGTVD - Unesp, Bauru, Brasil, fabiocardoso@tvu.unesp.br

Resumo: Toda tentativa de explorar novas formas de utilização da interatividade em televisão digital cria expectativas relacionadas aos seus resultados, principalmente quando se trata de processos educativos para o público infantil. Este artigo apresenta um estudo teórico-prático desenvolvido pela TV Unesp que demonstra a possibilidade de apropriação dos elementos do design de jogos em contextos não jogáveis. Oriunda de uma das linhas de pesquisa desenvolvidas na emissora, a série Apolônio e Azulão é constituída por doze episódios, cada um com dois momentos interativos gameficados que acompanham o conteúdo e oferecem possibilidades de explorar a interatividade no processo de compreensão do conteúdo por meio de jogos desenvolvidos em Ginga, evidenciando a viabilidade de integração dos jogos digitais à narrativa audiovisual educativa.

Palavras chave: Jogos Educativos, Televisão Digital, Interatividade, Gameficação, Ginga.

1. INTRODUÇÃO

A televisão é uma das mídias mais populares e importantes do Brasil, presente em 97,2% dos domicílios no país [4], e permanece como relevante fonte de informação e entretenimento a brasileiros de diferentes níveis educacionais, idades e classes sociais, sendo um catalisador de relações sociais, culturais e econômicas.

Na década de 70 a televisão passou a ser utilizada com fins educacionais, além de entretenimento e informação, e de lá pra cá, ocorreram muitos avanços tecnológicos e de linguagens que modificaram drasticamente as formas de pensar, produzir e consumir este meio. O advento da Televisão Digital Interativa (TVDi) trouxe, entre outros avanços, a possibilidade de os telespectadores interagirem com o conteúdo audiovisual num ambiente hipermidiático, o que representa maior potencial de utilização da mídia para democratização da informação e conhecimento.

Além da televisão, os jogos digitais representam outra potencial ferramenta para utilização na educação, por conta de seu ambiente atraente e interativo que captura a atenção do jogador ao oferecer desafios que exigem níveis crescentes de destreza e habilidades [6]. Ao acrescentar os desafios dos jogos à narrativa audiovisual educativa, com objetivos de aprendizagem definidos e diretamente relacionado com o conteúdo veiculado, as práticas educacionais informais se tornam atrativas e inovadoras, onde o telespectador tem a chance de aprender de forma mais ativa, dinâmica e motivadora.

Por se apropriar de elementos do design de jogos em contextos não jogáveis, esta união entre o conteúdo televiso educativo e jogo digital se enquadra no conceito de gameficação, ou seja, a utilização de elementos de jogos para outros propósitos além de seus usos esperados em jogos de entretenimento [3].

Nesse contexto, o artigo apresenta um programa de televisão infantil interativo com conteúdo educativo e seriado desenvolvido pela Televisão Universitária Unesp (TV Unesp). A série Apolônio & Azulão, por meio de seus dois personagens, aborda variados assuntos e situações cotidianas que englobam ciência, curiosidades e práticas sociais. Foram desenvolvidos doze episódios, cada um com dois momentos interativos que acompanham o conteúdo e oferecem possibilidades de explorar as potencialidades da interatividade no processo de assimilação do conteúdo por meio de jogos digitais educativos desenvolvidos em Ginga.

Com a finalidade de aprimorar o debate e fomentar as pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de aplicações em Ginga para TVDi, o artigo foi desenvolvido em dois aspectos que se complementam: primeiro, a fundamentação teórica, baseada em pesquisas à literatura de diferentes áreas do conhecimento, segundo a experiência decorrente da vivência profissional como participantes do processo produtivo da série Apolônio & Azulão.

O produto aqui apresentado ilustra os avanços na forma de encarar a utilização da interatividade em televisão digital, aliando jogos digitais à narrativa televisiva.

2. É PRECISO “MUITA GINGA”

O middleware Ginga, camada de software que executa as aplicações interativas no televisor, é uma das principais apostas do Governo Federal quanto ao Sistema Brasileiro de Televisão Digital - Terrestre (SBTVD-T). Pelo menos é o que aponta o fato de o Governo, após meses de negociação com entidades, ter definido por meio da Portaria Interministerial nº140, de 23 de fevereiro de 2012, a obrigatoriedade do Ginga ser embarcado em aparelhos fabricados a partir de 2013, respeitando um cronograma específico que resultou em 90% dos equipamentos produzidos com o middleware em 2014. O sinal de cobertura segue em plena expansão, cerca de 50% da população nacional recebe o sinal de TV Digital, e o desligamento do sinal

analógico - switch-off - está programado para iniciar em abril de 2016 e terminar em novembro de 2018.

Contudo, a interatividade por meio da televisão digital, em Ginga, segue sendo pouco utilizada, talvez pelo crescimento no uso de dispositivos de segunda tela e também pela pouca oferta de aplicações interessantes, motivada pela falta de interesse comercial de fabricantes e produtores de conteúdo. Outros fatores preponderantes na pouca oferta das aplicações são as limitações de hardware e software.

Deixando de lado as limitações e as motivações dos envolvidos, observa-se que as aplicações disponibilizadas atualmente pelas emissoras apresentam pouca inovação referente à integração com o conteúdo audiovisual, limitando-se muitas vezes a apresentar a sinopse da atração e/ou capítulo, descrições dos personagens e ficha técnica, sem qualquer relação direta com a narrativa expressa pelo programa. Assim, despertam pouco ou quase nenhum interesse dos telespectadores.

Nesse sentido, a TV Unesp - emissora pública, cultural e educativa sediada na cidade de Bauru em São Paulo, e que tem como um de seus objetivos ser um centro de pesquisas nas áreas de comunicação, tecnologia, design e educação - busca impulsionar a progressão do SBTVD-T por meio de pesquisas e desenvolvimento sistemático de aplicações interativas em Ginga. As pesquisas, que aliam produção de conteúdo e tecnologia, estão em consonância com os novos sistemas produtivos e de circulação em televisão digital, colaborando com as definições das políticas públicas face à configuração dos fluxos comunicacionais no contexto da globalização, com as formas de apropriação sociocultural dos dispositivos tecnológicos diante das novas demandas, e às formas expressivas que articulam as linguagens dos diferentes meios voltada à comunicação em plataforma convergente.

O produto relatado neste artigo é oriundo de uma das linhas de pesquisa desenvolvidas na emissora, e diz respeito à integração de jogos digitais na narrativa audiovisual educativa, com objetivo de explorar novas formas de utilização da interatividade em televisão digital.

3. JOGOS EM CONTEXTOS NÃO JOGÁVEIS

Durante muito tempo a visão que se teve dos jogos digitais era a de uma atividade de lazer sem muitas preocupações em educar, hoje são inseridos na vida das crianças cada vez mais cedo também como ferramenta de estímulo à educação. Se antes a porta de entrada eram os videogames, atualmente, além destes dispositivos, estão presentes no cotidiano das crianças computadores, smartphones e tablets.

Visto que são interessantes, desafiadores e fazem superar limitações e obstáculos, os jogos digitais são muito utilizados por crianças como forma de entretenimento e aprendizagem. O ato de jogar proporciona à criança fácil assimilação daquilo que lhe é ensinado, estimulando inteligências ao permitir um envolvimento significativo com a tarefa realizada num ambiente lúdico.

Os jogos digitais, quando preparados para o contexto educacional, podem receber diferentes nomenclaturas. Normalmente são chamados de jogos educacionais ou educativos, jogos de aprendizagem ou jogos sérios (serious games) [6], como os simuladores eletrônicos utilizados no treinamento de condutores pelas auto-escolas, por exemplo.

A distinção entre jogos de entretenimento e gameficação ocorre pela aplicação de jogos a contextos que não sejam jogos de fato [5], como o conteúdo de um programa televisivo. Os elementos e características da obra audiovisual são utilizados no jogo, sendo que este último deve complementar o primeiro em termos de objetivos e experiência dos telespectadores, numa comunicação transmidiática.

Gameficar as experiências interativas nos produtos educativos infantis de televisão constitui em atribuir pontuações, estimular a meritocracia por meio de recompensas e proporcionar *feedbacks* instantâneos, com o objetivo de mudar comportamentos e contribuir para a absorção do conteúdo educativo apresentado pelo programa, além de integrar o uso de regras que podem motivar a criança na realização de tarefas cotidianas.

Os jogos digitais podem ser ferramentas eficientes no processo educacional informal, pois diverte enquanto motiva, facilita o aprendizado e aumenta a capacidade de retenção do que foi ensinado, exercitando as funções mentais, intelectuais, emocionais e físicas do jogador. Além de facilitar a memorização do conteúdo, os jogos podem estimular capacidades sensoriais, como a visão, audição e tato [1]. Nos jogos aplicados ao contexto televisivo, o sentido mais explorado é o da visão, enquanto a audição é empregada para aumentar a emoção com uso de sons coadjuvantes à ação. O tato é explorado no manuseio do controle remoto, artefato que condiciona a interação com a interface televisiva por meio dos quatro botões coloridos - vermelho, verde, amarelo e azul - além das setas direcionais e botão “OK ou Enter”. Estas são constatações preliminares a respeito da série Apolônio & Azulão e testes de usabilidade e recepção de conteúdo trarão, quando aplicados, dados mais confiáveis a respeito dos estímulos das capacidades sensoriais e cognitivas.

4. APOLÔNIO & AZULÃO

Enquanto emissora universitária, pertencente a uma instituição de ensino e pesquisa, a TV Unesp se coloca como um centro de investigação e experimentação em diferentes áreas do conhecimento com foco no aprimoramento científico capaz de apontar caminhos para a comunicação na sociedade da informação.

Ao considerar a carência, logo a demanda, por programas educativos infantis no interior paulista, a emissora observou a pertinência de desenvolver um programa que versasse situações cotidianas, conceitos

científicos, curiosidades e práticas sociais de forma lúdica, prazerosa e interativa.

A série Apolônio & Azulão surge numa era onde a comunicação tem uma grande importância nos processos que permeiam as relações humanas e sociais, uma era de informação e avanços tecnológicos. Inovadora dentro do conteúdo televisivo voltado ao público infantil, por relacionar diretamente a interatividade gameficada à narrativa audiovisual, a série constitui-se de doze episódios, cada um com quinze minutos de duração. Os personagens manipulados neste teatro de bonecos contracenam com objetos familiares ao universo de crianças de sete a nove anos e, a partir de situações do cotidiano, criam conexões que impulsionam a narrativa envolvendo os personagens.

Fig. 01. Personagens e logotipo da série Apolônio & Azulão

Apolônio é um senhor cientista, cuja aparência demonstra a vivência e a experiência construída ao longo da vida por meio da observação, da atenção e da prática norteada pelos referenciais teóricos - o personagem se envolve em situações que incitam a busca pelo conhecimento por meio da pesquisa, da leitura, da análise. O professor atua nos episódios como investigador do mundo, aberto às observações e curiosidades cotidianas de Azulão. Este por sua vez é um carismático e agitado boneco azul que se aproxima do público infantil pelas suas características físicas, já que sua aparência não se define como humana ou animal. É um misto de boneco, criança e bicho de pelúcia. Suas sobrancelhas largas, peludas e negras, dão destaque aos olhos grandes e inquietos, que representam a curiosidade infantil; a boca representa outra característica infantil marcante nas crianças de sete a nove anos: a fala, usada para se comunicar com as outras pessoas e consigo mesmo. A linguagem empregada no discurso do personagem Azulão é informal, adequada ao discurso usado por crianças e jovens.

Desenvolvida por uma equipe multidisciplinar, a série apresentou como um dos principais desafios aos profissionais envolvidos articular as informações audiovisuais, que se tornaram mais complexas ao relacionar elementos do design de jogos. Roteiristas, produtores, diretores e outros profissionais de produção televisiva atuaram concomitantemente a pedagogos, designers e programadores, envolvidos em todo o processo de concepção e estruturação da atração de modo a efetivar narrativas que mantenham o interesse das crianças.

O desenvolvimento da série parte da premissa de que um programa televisivo para ser interativo, deve ser pensado como tal desde o início, ou seja, a ideia não é tornar, mas ser um programa interativo. Ao roteiro clássico utilizado em televisão divido em três colunas - áudio, vídeo e técnica - foi acrescida uma quarta coluna que contemplou a interatividade. Assim, o roteiro foi elaborado desde a fase inicial considerando a interatividade atrelada ao conteúdo em momentos específicos do episódio. A escolha dos temas de cada episódio, bem como a forma de abordagem dos conteúdos e a adequação à faixa etária, foram auxiliadas por um profissional da área de pedagogia.

Após a fase de roteirização dos episódios e definição da gameficação dos conteúdos, isto é, determinação de como seriam os jogos propostos na interatividade, feita em conjunto com os designers e programadores, os episódios foram gravados considerando os momentos de interatividade. Simultaneamente, inciou-se o desenvolvimento das aplicações pelas equipes de design e programação, baseadas na metodologia Agile Development [2], que consiste em gerar subprodutos com objetivo de minimizar a necessidade de prototipagem e correção de falhas após finalizado.

Foram desenvolvidos pequenos projetos e produtos derivados do produto final, assim ao longo do processo, necessidades de alterações e correções de problemas puderam ser detectadas e serem executadas e/ou corrigidas sem a necessidade de alteração de todo o produto. O desenvolvimento destes subprodutos eliminou a necessidade de longos processos de prototipagem e correções de erros no produto final. Este método foi utilizado em todas as etapas de contrução da série e das interatividades, reforçando o caráter multidisciplinar do produto e necessidade de sinergia entre as equipes.

Cada episódio apresenta dois momentos de interatividade, um Quiz e um jogo, ambos diretamente relacionados ao conteúdo. O Quiz ocorre durante o episódio quando o personagem Azulão aprende uma palavra em inglês e o professor Apolônio o desafia a traduzir esta palavra. Neste momento, Azulão pede a ajuda das crianças de casa que podem escolher, pelo controle remoto, entre as alternativas que são apresentadas na tela. Para os televisores que não têm conversores digitais com Ginga embarcado e que recebem o sinal analógico ou para aqueles que não têm interesse em interagir com o conteúdo, são apresentadas animações e diálogos dos personagens simulando a resposta ao Quiz. Assim mantêm-se o fluxo do programa sem perda de conteúdo para todos os telespectadores, com ou sem interatividade.

Fig. 02. Quiz interativo desenvolvido em Ginga

O mesmo acontece no segundo momento interativo dos episódios quando ocorrem as gameficações das aplicações. Para os telespectadores que não interagem com o conteúdo via Ginga são apresentadas animações que simulam o personagem Azulão nas mesmas situações e cenários apresentados nos jogos, contando com a ajuda do professor Apolônio e do "público" para resolver os desafios relacionados ao tema.

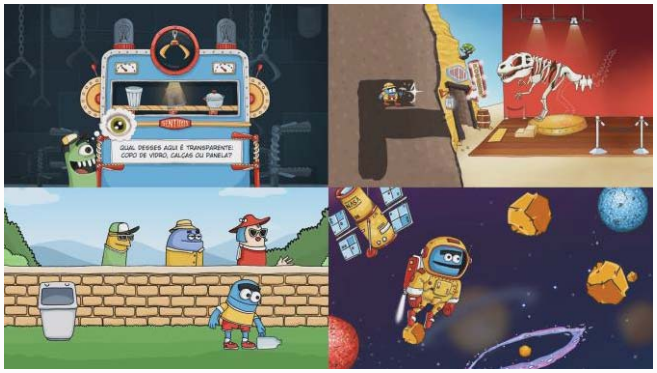


Fig. 03. Interatividade gameficada de quatro episódios da série

A figura 03 ilustra a interatividade de quatro dos doze episódios da série Apolônio e Azulão. Todos os jogos desenvolvidos têm relação direta com a narrativa, por isso a facilidade em substituir a interatividade por animações sem prejuízo de conteúdo ou perda de *time* entre os diferentes públicos. Como cada episódio apresenta uma interatividade específica ao conteúdo, os desafios e objetivos dos jogos também são específicos ao tema.

Nos exemplos acima, o jogador é solicitado a escolher um objeto para responder uma pergunta, a completar o esqueleto do dinossauro escavando e procurando os ossos, a limpar o parque retirando o lixo jogado pelas pessoas e desviar de planetas, asteróides e satélites no espaço, tudo dentro de um determinado tempo. As tecnologias dos jogos digitais proporcionam uma experiência estética visual e espacial muito rica e, com isso, são capazes de seduzir os jogadores e atraí-los para dentro de mundos fictícios que despertam sentimentos de aventura e prazer [6]. Todos os doze jogos desenvolvidos para a série foram formados por ações e decisões limitadas por um conjunto de regras específicas que reverteram a uma condição final numa atividade lúdica e educativa. Foram incorporados à narrativa audiovisual elementos de games como sistema de *feedback*, sistema de recompensa, conflito, cooperação, competição, objetivos e regras, níveis, tentativa e erro, diversão e interação.

5. DESENVOLVIMENTO DOS GAMES

A TV Unesp foi uma das dez emissoras de TV brasileiras que foram contempladas com um laboratório de produção de aplicativos interativos para televisão digital no âmbito do projeto governamental "GINGA BR Labs". Os equipamentos fruto deste projeto permitem a transmissão de alcance curto de um sinal no SBTVD-T a uma distância suficiente para alcançar os dois televisores (um da marca Sony, outro da marca Philco, ambos com Ginga embarcado) que também fazem parte do laboratório; isso possibilita uma simulação acurada de aspectos difíceis de se representar utilizando softwares de emulação do Ginga em computador, tais como velocidade de carregamento de aplicações e o comportamento próprio de cada televisão. Esta possibilidade de se testar os aplicativos diretamente nos televisores foi fundamental para o bom andamento do projeto "Apolônio e Azulão", cuja característica principal é a fusão entre a narrativa audiovisual e as possibilidades interativas de modo indivisível.

Os aplicativos desenvolvidos para a série Apolônio e Azulão foram programados em Ginga, mais especificamente em NCL/LUA. Como as ferramentas específicas para desenvolvimento em Ginga não atendem aos padrões de programação não-ortodoxos que são necessários para um desempenho otimizado das aplicações (jogos), todas as bibliotecas, gráficos e scripts foram criados pela equipe de programação da TV Unesp, utilizando um software de edição de texto comum, o Notepad++.

O NCL, linguagem de marcação semelhante ao HTML, foi concebido para trabalhar com a apresentação estática de elementos de mídia como imagens, vídeos e texto, em uma alternância de apresentação através de eventos de nós de mídia, os "Conectores Causais" (ou Causal Connectors). É possível reproduzir, parar e pausar mídias, por exemplo, através de âncoras no código. Embora até existam, previstas na norma, algumas transições e animações para estes nós de mídia, nenhum dos recursos nativamente oferecidos pelo NCL são suficientes para a criação de games mais complexos, com movimentação ampla, animações e efeitos especiais. Para isso o NCL prevê o suporte a linguagem de programação LUA, onde há a liberdade de criação de conteúdo dinâmico e possibilidade de, através de equações e técnicas de desenho avançadas utilizando o recurso "Canvas", desenhar gráficos animados na tela. No entanto, embora as técnicas de desenho sejam otimizadas para ocupar o menor espaço possível na memória limitada dos televisores e gastar o mínimo de ciclos do processador do aparelho, existe

uma preocupação com a performance: o maior desafio ao trabalhar com desenvolvimento de jogos para televisão digital é o desempenho dos equipamentos envolvidos. O parque de televisores capazes de rodar Ginga é muito vasto: há pelo menos uma dezena de marcas, cada uma delas com diversos modelos, de gerações diferentes e, portanto performances distintas. Modelos mais novos de televisores podem contar com processadores potentes, de quatro ou mais núcleos de processamento, porém alguns modelos mais antigos possuem capacidade de processamento menor, versões do Ginga atrasadas e quantidade de memória consideravelmente menos robustas do que aparelhos mais recentes.

Como não há um método seguro de se saber qual televisor o espectador possui em casa, é necessário desenvolver softwares que permitam a maior compatibilidade possível, levando em conta as diferenças entre as implementações do Ginga presentes em cada televisor e também o desempenho nativo de cada aparelho. É, muitas vezes, prudente cortar efeitos ou recursos em prol de uma aplicação compatível. Como exemplo, no game onde o personagem precisa desviar dos meteoros no espaço enquanto "colhe" estrelas com o objetivo de chegar até um ponto determinado, o movimento no espaço é simulado através de um efeito de paralaxe, com movimentação dos elementos em velocidades diferentes, respeitando sua relação a sua profundidade simulada na tela. Televisores mais recentes, como os da Sony, modelo Bravia, fabricados em 2013-2014, dotados de processadores mais robustos e mais memória, conseguem, sem perda aparente de desempenho, desenhar mais de 80 objetos ao mesmo tempo, preenchendo a tela toda e dando uma ilusão muito mais convincente de movimento. Já nos testes com o modelo da Sony da linha fabricada em 2011, mais do que 40 elementos na tela ao mesmo tempo já são prejudiciais a fluidez do game. Antes do início do jogo é feito um breve teste oculto de desempenho, onde os efeitos são ajustados de acordo com a capacidade do aparelho de reprodução. Quando a limitação de recursos com base do desempenho da plataforma é possível é bastante proveitoso implementá-las para uma boa experiência de jogo para todos os espectadores.

Contudo, ainda existe o problema da limitação geral da plataforma. Jogos são peças de programação que comumente exigem muito da máquina em que estão rodando. Muitas vezes é necessário transmitir a ilusão de movimento, com animações complexas, contagem de *score*, várias coisas acontecendo ao mesmo tempo na tela. O maior desafio presente neste projeto é conseguir que os jogos rodem em uma taxa de frames por segundo aceitável, de preferência podendo desenhar na tela 30 vezes por segundo ou até mais rápido, para que a ilusão de movimento dada pelos desenhos alternados seja satisfatória.

Ficou claro para a equipe de desenvolvimento, durante os trabalhos, que somente o NCL e seus recursos não seriam suficientes para criação de jogos mais elaborados. O suporte do Ginga/NCL a linguagem declarativa LUA, e consequentemente as suas primitivas de desenho possibilitavam a liberdade de posicionamento e ação necessárias para a tarefa. No entanto, devido aos fatores limitantes de desempenho já citados, foram necessárias a criação de várias rotinas de otimização e reaproveitamento de imagens e códigos, algumas delas dirigidas para cada aparelho e suas peculiaridades, para que o desempenho das aplicações fosse satisfatório até nos televisores com potência de processador menores.

Dentre várias otimizações, duas merecem destaque: A restrição da área de desenho e a captura de teclas fora da rotina principal do jogo.

A restrição das áreas de desenho da tela através de algoritmos de seleção. É possível, via as funções "attrClip" e "attrCrop", disponíveis no LUA, desenhar imagens apenas em uma porção pequena da tela. Por padrão, qualquer rotina de desenho "cola" uma imagem no quadro principal usando todos os pixels disponíveis na tela - 1280 pixels de largura por 720 pixels de altura - já que, por padrão, o tamanho do Canvas de desenho no Ginga difere da resolução padrão 1080i). Utilizando das funções de limitação, ao invés do processamento do quadro todo, restringe-se o número de pixels do redesenho ao mínimo realmente necessário. Como devido ao paradigma imediato de desenho do Canvas tudo que for inserido nele é imediatamente "colado" no mesmo, apagar e redesenhar somente um pequeno pedaço do quadro aumenta a performance a níveis consideráveis. Normalmente seria de se esperar que as próprias rotinas de desenho dentro do firmware do Ginga se encarregassem de otimizar estes redesenhos, mas o aumento do desempenho notado faz supor que esta otimização varia muito de plataforma para plataforma.

Outro ponto importante para um desempenho fluído do game é captura dos eventos das teclas do controle remoto em rotina paralela ao núcleo (loop) do jogo. Para desenhar o jogo na tela de forma a dar uma ilusão convincente de fluidez de movimento são necessários, 20 re-desenhos por segundo, com um ideal de 30, pelo menos. Para este projeto, o método escolhido foi a criação de uma função, que roda em um loop eterno, em um período pré-definido de tempo entre 20 e 30 vezes por segundo, que se encarrega de desenhar os gráficos da aplicação. Como os eventos de tecla do Ginga são assíncronos, incluir a previsão destes movimentos dentro da rotina de desenho é um desafio. A solução escolhida foi se aproveitar das "corrotinas", técnica de simulação de "multithread" (processamento de múltiplas tarefas ao mesmo tempo) que permite que o LUA, que é mono tarefa por natureza, processando todos os códigos em sequência, ao mesmo tempo em que desenha algo na tela, respondesse as teclas do controle remoto e tomasse as ações necessárias.

Além das técnicas de programação, também é importante citar as restrições e otimizações necessárias na produção das artes usadas nos jogos. Limitações na memória dos televisores e limites no tamanho do

aplicativo tornaram também obrigatórias regras a serem seguidas durante o desenho das imagens dos jogos - também desenvolvidas pela TV Unesp. Todas as ilustrações usam largas áreas de cores chapadas, com uma paleta cromática reduzida e várias ilustrações foram feitas pensando em clonagem, ampliação via algoritmo e até reaproveitamento dentro do desenvolvimento dos jogos.

Todas estas customizações, sejam de arte ou programação, permitiram que todos os aplicativos funcionassem satisfatoriamente em todos os televisores testados, dentro e fora do ambiente da TV Unesp, com poucas diferenças. Como esperado, televisores mais novos conseguem desempenho e fluidez melhores do que os televisores antigos, porém a jogabilidade e acuidade gráfica dos programas interativos é mantida em uma alta gama de dispositivos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta os avanços na maneira de encarar a utilização da interatividade em televisão digital. Ao aliar jogos digitais à narrativa televisiva, a série Apolônio e Azulão oferece possibilidades de explorar as potencialidades da interatividade no processo de assimilação do conteúdo por meio de jogos digitais educativos desenvolvidos em Ginga. A seção anterior demonstra o processo de desenvolvimento das aplicações que abarcou uma série de otimizações por conta das restrições de hardware e softwares encontrados nos diversos tipos de televisores, mas, sobretudo, evidencia que é possível tornar a interatividade mais atrativa graficamente e combinar elementos do design de jogos à interatividade televisiva.

Toda tentativa de explorar novas formas de utilização da interatividade em televisão digital cria expectativas relacionadas aos seus resultados, principalmente quando se trata de processos educativos para o público infantil. O processo de gameficação do conteúdo audiovisual representa uma inovação que pode despertar o interesse de crianças para uso da interatividade na televisão digital. Por apresentar um ambiente lúdico atraente e interativo, os jogos capturam a atenção das crianças ao oferecer desafios que tornam as práticas educacionais informais motivadoras, dinâmicas e ativas.

Com lançamento previsto para outubro deste ano, a série Apolônio e Azulão passará ainda por testes de recepção de conteúdo e usabilidade dos aplicativos, a fim de garantir a adequação dos temas às gameficações, além de verificar os estímulos das capacidades sensoriais e cognitivas dos usuários.

REFERÊNCIAS

[1] A. G. D. Corrêa, A. A. G. Martinazzo, L. C. Biazon, M. Archanjo, V. Venâncio, I. K. Ficheman, R. D. Lopes; “Jogos Educacionais para TV Digital Interativa”, Revista Trilha Digital, V.1 Nº 1, Pg. 38 - 50, São Paulo, Brasil, 2013.

[2] F. R. Geloneze; “Modelo de Produção de Aplicação Interativa para Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre em Ginga”, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, Caxias do Sul, Brasil, setembro de 2010.

[3] G. J. Moreira, C. Ellwanger; “Gameficação e Padrões de Interface para Dispositivos Móveis no Estabelecimento do Processo de Ensino e de Aprendizagem”, Anais do 3º SENID, Passo Fundo, Brasil, abril de 2014.

[4] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; “PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2013”, Brasil, setembro de 2014.

[5] M. L. Fardo; “A Gamificação Aplicada em Ambientes de Aprendizagem”, Revista Novas Tecnologias na Educação, V.11 Nº12, Porto Alegre, Brasil, julho de 2013.

[6] R. Savi, V. R. Ulbricht; “Jogos Digitais Educacionais: benefícios e desafios”, Revista Novas Tecnologias na Educação, V.6 Nº 2, Porto Alegre, Brasil, dezembro de 2008.

Cite this article:
Silveira de Azevedo, L., Cardoso, F.;2015. Jogos Educativos em TVDi: A gameficação do Ginga. SET EXPO PROCEEDINGS. ISSN Print: 2447-0481.ISSN Online: 2447-049X. v.1. doi: 10.18580/setep.2015.1.15
Web-link: http://dx.doi.org/10.18580/setep.2015.1.15