

Uma Visão do Cenário Regulatório Brasileiro para os Rádios Cognitivos

Ralph R. Heinrich, Marcos G. C. Branco, Juliano J. Bazzo e Fabrício L. Figueiredo

Abstract—A crescente demanda por serviços banda-larga tem mobilizado órgãos reguladores internacionais para o uso eficiente do espectro radioelétrico. Revisões regulatórias, incluindo o *refarming* de alguns importantes segmentos do espectro vêm sendo realizadas em vários países. Por outro lado, técnicas avançadas de transmissão digital vêm sendo desenvolvidas com o intuito de tornar mais eficientes os sistemas e equipamentos que fazem uso do espectro, principalmente em sistemas de acesso ponto-multiponto e ponto-área, que têm apresentado crescimento vertiginoso nos últimos anos. Entretanto, os movimentos regulatório e tecnológico que buscam o uso eficiente do espectro, em sua maioria, consideram o paradigma regulatório vigente como referência, ou seja, a destinação estática de segmentos do espectro por tipo de serviço, quer seja em caráter primário como secundário. A tecnologia de rádio cognitivo, associada às técnicas de Acesso Dinâmico ao Espectro (ADE), vem oferecer uma oportunidade de revisão dos conceitos regulatórios, potencializando sobremaneira as ações hoje empreendidas. É objetivo deste artigo consolidar informações dos aspectos regulatório, do uso atual do espectro e das restrições técnicas e tecnológicas, com vistas a recomendar algumas condições de contorno para a pesquisa e o desenvolvimento de módulos, ambientes de ensaio e de provas de conceito de sistemas que empregam alguma forma de cognição.

Keywords—Análise regulatória, espectro e rádio cognitivo.

I. O PARADIGMA REGULATÓRIO

A tecnologia emergente conhecida como Sistema de Rádio Cognitivo traz consigo uma proposta concreta de revisão do paradigma regulatório de uso do espectro de radiofrequências. Por questões históricas, associadas ao desenvolvimento natural das tecnologias de rádio, e com o objetivo primordial de mitigar interferências entre serviços considerados primários, em cada segmento do espectro, o arcabouço regulatório que disciplina o uso do espectro radioelétrico foi constituído de forma segmentada e estática. Ao verificarmos a dinâmica de uso do espectro por cada serviço, notamos facilmente que alguns segmentos do espectro apresentam alto nível de ocupação, enquanto outros nem tanto. Avaliações em campo mostram que, mesmo em áreas urbanas densas, em países desenvolvidos, a ocupação média do espectro no tempo, situa-se entre 15% e 20%. Os órgãos e agência reguladoras internacionais, preocupados com a questão do uso eficiente desse recurso natural escasso, vêm empreendendo estudos e propondo ações nesse sentido [1] [2]. O desenvolvimento inicial da tecnologia de RDS - Rádio Definido por Software (SDR - *Software Defined Radio*), seguido pelos avanços mais recentes sobre Rádio Cognitivo, vêm trazer uma nova visão sobre a questão. Dentre outros benefícios às redes rádio, principalmente de rádio-acesso, o uso oportunístico do espectro

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), Campinas, Brazil. e-mail: {ralph, castello, jbazzo, fabricio}@cpqd.com.br

em caráter secundário oferece uma ferramenta poderosa para tratar a questão do uso eficiente do espectro.

II. O RÁDIO COGNITIVO COMO TECNOLOGIA VIABILIZADORA DO USO EFICIENTE DO ESPECTRO

Os cenários de evolução das comunicações móveis apontam para a necessidade de abordar esse desafio de forma abrangente e detalhada, analisando tanto as fontes de demanda como as de escassez de espectro. Do ponto de vista da demanda por mais espectro, além da originada pela evolução esperada dos serviços tradicionais de comunicações móveis entre indivíduos, poder-se-ia agregar a demanda originária dos cenários previstos para outros serviços. Incluem-se aqui o acesso fixo sem fio à Internet em banda larga, estendendo o alcance das redes a cabo convencionais nas regiões de baixa densidade populacional, e as comunicações entre máquinas, a chamada comunicação M2M (*machine-to-machine*), que pode envolver inclusive várias aplicações como os sensores de redes inteligentes. À essa forte demanda, em acordo com a maioria das expectativas, adiciona-se a escassez de espectro gerada por fatores como a demora na tomada de decisões sobre a reorganização da ocupação das bandas de frequência (*refarming*), os prazos longos de consulta pública pelo agente regulador aos atores envolvidos nas disputas entre serviços alternativos pelas frequências (rito processual) e o espectro subutilizado em algumas regiões do país em bandas de frequência nobres por falta de interesse econômico dos agentes operadores dos serviços alocados em função da diversidade geográfica e social do país.

As técnicas de Planejamento e Gestão, complementadas pelas técnicas de Acesso Dinâmico ao Espectro (ADE) tratam do conjunto de soluções de compartilhamento otimizado de espectro. Os estudos na área de ADE indicam duas abordagens na utilização dessas tecnologias, a abordagem descentralizada e a centralizada. Na abordagem descentralizada os dispositivos sem-fio cognitivos realizam o monitoramento do ambiente em busca de frequências que possam utilizar e as negociam com os demais dispositivos na área de maneira autônoma. Nessa abordagem predomina o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento de espectro. Na abordagem centralizada os dispositivos sem-fio cognitivos consultam a base de dados centralizada que se encarregará de destinar uma frequência para o dispositivo. Nessa abordagem predomina o desenvolvimento de técnicas de planejamento e gestão de espectro e, como alternativa às tecnologias de sensoriamento de frequências ocupadas utilizadas na abordagem descentralizada, se propõe a utilização de tecnologias de geolocalização dos dispositivos emissores.

III. O RÁDIO COGNITIVO E AS INICIATIVAS RECENTES NA ÁREA

Considerando as abordagens centralizada e descentralizada para realocação automática no espectro, em 2010 a agência reguladora de telecomunicações dos Estados Unidos, *Federal Communications Commission* (FCC), optou [3] pela abordagem centralizada após empresas como Google, Dell e Microsoft argumentarem que a base de dados e a geolocalização dos sistemas secundários eram suficientes para proteger os sistemas primários. O grupo Wi-Fi Alliance também argumentou que os custos e tempo de desenvolvimento do mecanismo de sensoriamento de espectro seria muito elevado [3].

O órgão de suporte para a regulação e legislação na Europa, ETSI, criou um comitê técnico que trata da introdução de Sistemas de Rádio Cognitivo (CRS - *Cognitive Radio System*). Em 2011, o comitê progrediu [5] nas áreas de Arquitetura de Equipamentos Móveis RDS e o uso dos *whitespaces* de TV (TVWS), particularmente na adaptação dos padrões de rádio existentes, como da tecnologia LTE (*Long Term Evolution*) do 3GPP para uma possível operação na faixa de TV em UHF. O Grupo de Trabalho 1 (*Working Group 1 - WG1*) identificou tecnologias chaves para a implantação dos CRS que incluem sensoriamento de espectro, geolocalização e base de dados para proteção dos sistemas primários. Desta forma, o órgão Europeu está considerando o sensoriamento ao contrário do realizado pelo agência reguladora dos Estados Unidos.

A regulamentação do acesso compartilhado do espectro entre usuários licenciados e oportunistas ainda não foi realizada pela Anatel no Brasil. No entanto, na agenda da 12ª plenária [6] em 2010 já constavam discussões sobre sistemas de rádio cognitivo, mostrando que a agência já iniciou as discussões sobre o assunto com a sociedade. Em meados de 2011 [7], a ANATEL mostrou que está seguindo a Resolução 956 (WRC 07) da UIT-R [8] que trata sobre as medidas regulatórias e suas relevâncias para possibilitar a introdução de sistemas de rádio definido por software e rádio cognitivo.

Assim, a tecnologia de rádios cognitivos e as técnicas e soluções de compartilhamento de espectro estão diretamente associadas. As técnicas avançadas de acesso ao espectro são diretamente suportadas por sistemas de planejamento e otimização de uso do espectro, agora com demandas por sistemas de acesso banda-larga de alta capacidade e alocação dinâmica. O acesso dinâmico está baseado na criação de unidades de espectro em termos de tempo e de localização geográfica ou na sua utilização oportunista. O ADE envolve conceitos que utilizam tecnologias viabilizadoras como os rádios cognitivos, as antenas inteligentes, os sistemas de geolocalização e bases de dados detentoras de regras administrativas de utilização.

Considerando o acima exposto, podemos dizer que o ambiente regulatório não está preparado para fazer o melhor uso das características de alocação dinâmica do Rádio Cognitivo. Por outro lado, podemos dizer também que sua aplicabilidade é imediata, se considerarmos inicialmente políticas centralizadas de alocação dinâmica de espectro. Não se trata, portanto, de definir quais os segmentos do espectro radioelétrico serão destinados ao uso dessa tecnologia, mas sim procurar inferir,

a partir das condições regulatórias e restrições técnicas atuais, qual a melhor sequência de segmentos do espectro que melhor se adequam às primeiras inserções dessa tecnologia. Este é o resultado relatado a seguir neste artigo.

IV. OPORTUNIDADES PARA O RÁDIO COGNITIVO EM FUNÇÃO DO PERFIL DE USO DO ESPECTRO

A análise do perfil de uso do espectro [9] permite que sejam selecionados segmentos de espectro mais adequados ao compartilhamento dinâmico, quer seja centralizado (3), quer seja descentralizado (2). A Tabela I mostra a frequência em análise, o serviço, o perfil de uso e o índice dos comentários que serão apresentados a seguir.

TABELA I
OPORTUNIDADES PARA ACESSO DINÂMICO AO ESPECTRO.

Freq.	Serviço	Perfil de Uso	Coment.
54MHz a 88MHz	Rádiodifusão de áudio e vídeo (TV) Canais 2 a 6	Transmissão contínua de sinais de alta potência. Ocupação esparsa.	2 e 3
174MHz a 216MHz	Rádiodifusão de áudio e vídeo (TV) Canais 7 a 13	Transmissão contínua de sinais de alta potência. Ocupação esparsa.	2 e 3
470MHz a 806MHz	Rádiodifusão de áudio e vídeo (TV) Canais 14 a 69	Transmissão contínua de sinais de alta potência. Ocupação esparsa.	2 e 3
806MHz a 824MHz	Vários serviços incluindo ISM (não-licenciada)	Transmissão esporádica de baixo tráfego com serviços distintos.	2
902MHz a 928MHz	ISM e outros serviços	Faixa de frequência não licenciada, com uso não controlado.	2
2400MHz a 2483,5MHz	ISM e outros serviços.	Faixa de frequência não licenciada, com uso não controlado.	2
2690MHz a 3400MHz	Alguns segmentos não destinados, outros destinados aos serviços de apoio à radiodifusão e outros à radiação restrita para interrogadores RFID.	Uso esporádico e esparsa, incluindo serviços secundários.	2
5000MHz a 5925MHz	Alguns segmentos não destinados, outros destinados aos serviços de apoio à radiodifusão e outros à radiação restrita.	Uso esporádico e esparsa, incluindo serviços secundários.	2
7110MHz a 7725MHz	SARC, RpTV e correlatos.	Uso esporádico, frequentemente nomádico.	2
8500MHz a 10150MHz	Alguns segmentos não destinados, outros destinados aos serviços de apoio à radiodifusão e outros à radiação restrita.	Uso esporádico e esparsa, incluindo serviços secundários.	2

Da observação dos itens acima é possível estabelecer as seguintes considerações:

- 1) Considerando que em uma primeira fase de implantação dos sistemas de acesso dinâmico ao espectro é muito provável que as técnicas de gestão centralizada sejam

utilizadas (3), as faixas com oportunidade para esse tipo de compartilhamento deverão ser priorizadas. Essas faixas de frequência são aquelas hoje destinadas ao serviço de TV e correspondem aos segmentos de VHF-baixo (54 a 88 MHz), VHF-alto (174 a 216 MHz) e UHF (470 a 806 MHz).

- 2) Em um segundo momento, a técnica de alocação dinâmica do espectro (2) deve ser considerada. A aplicação mais imediata se dará nos segmentos não-licenciados, definidos pela Resolução 506 da Anatel para equipamentos de radiação restrita, quais sejam: 902 a 928 MHz, 2400 a 2483,5 MHz e 5725 a 5875 MHz. Esses segmentos vêm sendo utilizados intensamente por vários tipos de serviços e aplicações, sem qualquer tipo de coordenação. A inclusão de técnicas cognitivas e gestão dinâmica do acesso ao espectro poderão incrementar substancialmente a capacidade dessas faixas de frequência e aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos serviços que as utilizam.
- 3) Em um terceiro momento, tanto o modo centralizado (3), como a descentralizada (2) poderão utilizar a tecnologia de rádio cognitivo para fazer melhor uso de vários segmentos do espectro que são hoje utilizados de forma esparsa e eventual por serviços variados. Por exemplo, no espectro de frequências abaixo de 10 GHz, podem ser citados os segmentos de 2,69 a 3,4 GHz; 5,0 a 5,725 GHz; 7,11 a 7,725GHz e de 8,5 a 10,15GHz.
- 4) Os segmentos de espectro acima de 10 GHz não apresentam interesse para compartilhamento pois são pouco utilizados e não apresentam condições de propagação interessantes.

A Tabela II agrupa esses resultados mostrando os segmentos de espectro e os serviços atualmente a eles destinados que poderão ser alvo de aplicações de rádios cognitivos para compartilhamento por acesso dinâmico ao espectro.

TABELA II
SEGMENTOS DE ESPECTRO POR SERVIÇO.

Serviço	Início (MHz)	Término (MHz)
TV	54,0	88,0
TV	174,0	216,0
TV	470,0	806,0
TV	174,0	216,0
ISM	902,0	928,0
ISM	2400,0	2483,0
Vários	2690,0	3400,0
Vários	5000,0	5725,0
ISM	5725,0	5875,0
Vários	7110,0	7725,0
Vários	8500,0	10150,0

V. TENDÊNCIA REGULATÓRIA NACIONAL E INTERNACIONAL

As questões relativas à aplicação de rádios cognitivos e técnicas de acesso dinâmico ao espectro ainda não estão sendo tratadas com foco regulatório pelos organismos internacionais e a maioria das agências reguladoras. Algumas ações vêm sendo empreendidas com vistas a definir experimentos e

provas de conceito que subsidiem os futuros regulamentos. Entretanto, é possível prever que não se trata de meramente estabelecer nova regulamentação para a inclusão de uma tecnologia emergente, mas sim estabelecer um novo paradigma na gestão do espectro radioelétrico, revisitando todos os conceitos e regulamentos já estabelecidos nessa área. Se de um lado a quebra do paradigma regulatório na gestão do espectro pode criar uma certa barreira para que as novas tecnologias sejam consideradas, por outro lado a premente demanda pelo uso eficiente do espectro pode catalisar ações que venham a acelerar essas discussões. A pressão de mercado causada pelo crescimento da demanda por banda-larga sem fio móvel e o valor de mercado que esse segmento vem alavancando farão com que as tecnologias de rádios cognitivos e de acesso dinâmico ao espectro caminhem rapidamente dos laboratórios para o mercado. Internacionalmente destaca-se algum movimento da UIT-R através do SG1 (Study Group 1) [10], que trata da questão de Gestão do Espectro (*Spectrum Management*). Algumas questões desse grupo de trabalho estão listadas na Tabela III, mostrando a preocupação com a gestão otimizada do espectro radioelétrico. Contudo, essas questões foram estabelecidas já há alguns anos e tratam da gestão do espectro no paradigma atual.

TABELA III
QUESTÕES DOS GRUPOS DE ESTUDO EM GESTÃO DO ESPECTRO NA UIT-R.

Questão	Grupo	Título
205-1/1	WP1B	Estratégias de longo prazo para utilização do espectro
208/1	WP1B	Métodos alternativos para o gerenciamento de espectro nacional
209-1/1	WP1B	Parâmetros de sistemas de rádio e equipamentos necessários para o gerenciamento de espectro e o uso eficiente do espectro
216/1	WP1B	Reimplantação do espectro como um método de gerenciamento de espectro nacional
222/1	WP1A	Definição das propriedades dos transmissores para emissões do espectro
233/1	WP1C	Medidas da ocupação do espectro

Em 2007 a UIT abriu uma nova questão visando promover o estudo dos rádios cognitivos em sistemas móveis [11]. No Brasil a questão do Dividendo Digital ainda carece de regulamentação. A implantação da TV Digital está em franco progresso e é do conhecimento geral que a faixa de UHF já estava sub-utilizada. No entanto, a destinação do espectro livre nessa faixa, em caráter primário ou mesmo secundário, demandará muitos debates e negociações. Novamente, o efeito catalisador para que essa discussão aconteça vem da pressão do mercado por mais espectro a ser destinado ao SMP (Serviço Móvel Pessoal) e ao SCM (Serviço de Comunicação Multimídia). A Anatel realizou a Consulta Pública No.7 visando criar parâmetros para fiscalização do uso eficiente do espectro, mas ainda no paradigma regulatório atual. Esta Consulta Pública não resultou em regulamentação até o momento. Outras questões pertinentes constam do Plano Geral de Atualização da Regulamentação das Telecomunicações no Brasil (PGR) [12]. Entre todas as questões abordadas pelo PGR, destacam-se aquelas que têm relação com o compartilha-

mento de recursos com vistas à massificação do acesso banda-larga e uso eficiente do espectro, como mostrado a seguir.

- IV.13 - Simplificação da regulamentação com vistas à convergência.
- V.8 - Disponibilização de radiofrequências para a massificação de acessos em banda-larga.
- V.12 - Regulamentação de uso de radiofrequências de forma a permitir uma utilização mais eficiente por parte das prestadoras de serviços de telecomunicações, tanto de interesse coletivo como de interesse restrito.
- VI.4 - Regulamentação do uso de radiofrequência.
- VII.5 - Realização de estudos sobre as questões relativas ao reaproveitamento do espectro atualmente utilizado para transmissão de TV analógica quando do desligamento dessas transmissões.

O PGR apresenta estes itens e seus respectivos conteúdos. Pode-se notar uma constante preocupação com o uso eficiente dos recursos, com o compartilhamento dos recursos de rede e com a massificação do acesso banda-larga, mas apenas o item VII.5 se aproxima da questão do compartilhamento de espectro oriundo do dividendo digital. Mesmo assim, em nenhuma das iniciativas aponta-se para a quebra do paradigma regulatório da destinação estática do espectro em caráter primário ou secundário.

VI. ANÁLISE DAS RESTRIÇÕES TÉCNICAS

Em uma primeira aproximação, podemos considerar que um mesmo conjunto de técnicas, tecnologias de componentes (circuitos e antenas) podem atender a uma faixa de frequências compreendida dentro de uma oitava (faixa de frequência onde $f_{max} = 2f_{min}$). Esta segmentação permitirá a pesquisa e o desenvolvimento de sub-sistemas de RF otimizados por segmento do espectro. Revistando a Tabela I, encontramos então a segmentação mostrada nos itens abaixo.

- Banda A: 50-100MHz
 - Frequências: 54MHz a 88MHz
 - Serviço: Radiodifusão de áudio e vídeo (TV) - Canais 2 a 6. VHF-Baixo.
 - Comentário: Circuitos discretos, potências de transmissão na faixa de 30 a 40 dBm. Antenas lineares entre 1m e 2m.
- Banda B: 150-300MHz
 - Frequências: 174MHz a 216MHz
 - Serviço: Radiodifusão de áudio e vídeo (TV) - Canais 7 a 13. VHF-Alto.
 - Comentário: Circuitos discretos, potências de transmissão na faixa de 30 a 40 dBm. Antenas lineares entre 1m e 2m.
- Banda C: 470-940MHz
 - Frequências: 470MHz a 806MHz
 - Serviço: Radiodifusão de áudio e vídeo (TV) - Canais 14 a 69. UHF.
 - Frequências: 806MHz a 824MHz
 - Serviço: Vários serviços incluindo ISM (não-licenciada).
 - Frequências: 902MHz a 928MHz

- Serviço: ISM e outros serviços.
- Comentário: Circuitos discretos, potências de transmissão na faixa de 30 a 36 dBm. Antenas lineares até 1m.
- Banda D: 2150-4300MHz
 - Frequências: 2400MHz a 2483
 - Serviço: ISM e outros serviços.
 - Frequências: 2690MHz a 3400MHz
 - Serviço: Alguns segmentos não destinados, outros destinados aos serviços de apoio à radiodifusão e outros à radiação restrita para interrogadores RFID.
 - Comentário: SHF. Circuitos discretos e MMIC's, potências de transmissão na faixa de 20 a 30 dBm. Antenas planares e arrays.
- Banda E: 5-10GHz
 - Frequências: 5000MHz a 5925MHz
 - Serviço: Alguns segmentos não destinados, outros destinados aos serviços de apoio à radiodifusão e outros à radiação restrita.
 - Frequências: 7110MHz a 7725MHz
 - Serviço: SARC, RpTV e correlatos.
 - Frequências: 8500MHz a 10150MHz
 - Serviço: Alguns segmentos não destinados, outros destinados aos serviços de apoio à radiodifusão e outros à radiação restrita.
 - Comentário: SHF. Circuitos discretos e MMIC's, potências de transmissão na faixa de 20 a 30 dBm. Antenas planares e arrays.

VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise do arcabouço regulatório, nacional e internacional, do uso do espectro radioelétrico demonstra claramente que não existe até o momento destinação de frequências ou regulamentação específica para uso da tecnologia de rádio cognitivo. Contudo, considerando o resultado das análises regulatória, das condições atuais de uso do espectro e das restrições técnicas, é possível estabelecer prioridades para pesquisa e desenvolvimento dos sub-sistemas de RF visando a melhor aderência da nova tecnologia de Rádio Cognitivo ao processo evolutivo necessário ao uso dinâmico e otimizado do espectro radioelétrico. Os itens abaixo mostram um sumário das análises das perspectivas de uso e restrições por faixa de frequências para as aplicações de rádios cognitivos.

- Banda I: 50-100MHz e Banda II: 150-300MHz
 - Frequências: 54MHz a 88MHz e 174MHz a 216MHz.
 - Análise Regulatória: Segmento destinado ao Serviço de TV analógico. A migração do serviço de TV para técnicas digitais no segmento de UHF deverá liberar este segmento para outras destinações, mas apenas no longo prazo. O uso oportunista deste segmento por sistemas cognitivos poderá receber resistência do setor de radiodifusão.
 - Análise das Restrições Técnicas: VHF. Circuitos discretos, potências de transmissão na faixa de 30 a 40 dBm. Antenas lineares entre 1m e 2m de comprimento. Faixa mais adequada a aplicações suburbanas

e rurais em função do tamanho das antenas e das características de propagação.

- Banda III: 470-940MHz
 - Frequências: 470MHz a 806MHz, 806MHz a 824MHz e 902MHz a 928MHz.
 - Análise Regulatória: Segmento destinado ao Serviço de TV (UHF) e faixas não-licenciadas (ISM). A implantação da TV-Digital no segmento permitirá a re-utilização do espectro (Digital Dividend). É o segmento de espectro com melhor visibilidade mundial para uso de sistemas cognitivos.
 - Análise das Restrições Técnicas: UHF. Circuitos discretos, potências de transmissão na faixa de 30 a 36 dBm. Antenas lineares entre 1m e 2m de comprimento e arrays nas frequências mais altas. Faixa mais adequada a aplicações suburbanas e rurais em função das características de propagação.
- Banda IV: 2150-4300MHz
 - Frequências: 2400MHz a 2483,5MHz e 2690MHz a 3400MHz.
 - Análise Regulatória: Segmento do espectro com uma grande variedade de sistemas, equipamentos e módulos que permitem a rápida experimentação de novas arquiteturas de redes e protocolos. O segmento não-licenciado habilita experimentos de forma simplificada.
 - Análise das Restrições Técnicas: SHF. Circuitos discretos e MMIC's, potências de transmissão 20 a 30 dBm. Antenas planares e arrays. Módulos de RF e antenas comerciais permitem uma rápida adaptação para experimentos.
- Banda V: 5-10GHz
 - Frequências: 5000MHz a 5925MHz, 7110MHz a 7725MHz e 8500MHz a 10150MHz.
 - Análise Regulatória: Com exceção da sub-banda destinada ao ISM (5725 a 5875 MHz), o restante do segmento é destinado a vários serviços incluído sistemas ponto-a-ponto e sistemas fixo satélite, associados a redes de entroncamento. Apenas a faixa destinada ao ISM poderia ser aplicável ao acesso dinâmico através de um sistema rádio cognitivo.
 - Análise das Restrições Técnicas: SHF. Circuitos discretos e MMIC's, potências de transmissão de 20 a 30 dBm. Antenas planares e arrays. Módulos de RF e antenas comerciais permitem uma rápida adaptação para experimentos e provas de conceito no segmento ISM.

Dessa forma recomenda-se que as faixas de frequência a serem estudadas durante o processo de pesquisa e desenvolvimento de sistemas de rádio cognitivo sigam a seguinte prioridade:

- 1) BANDA IV (2150 a 4300 MHz) - Por incluir o segmento não-licenciado de 2400 a 2483,5 MHz, para o qual estão disponíveis no mercado módulos, equipamentos e sub-sistemas, que permitirão uma rápida implementação de ambiente de ensaios e prova de conceito de arquiteturas

de sistema e protocolos. O fato de ser um segmento não-licenciado facilita a criação do ambiente de testes.

- 2) BANDA III (470 a 940MHz) - Por ser o segmento do espectro com maior potencial de aplicação comercial para sistemas de rádios cognitivos praticando, em um primeiro momento, o acesso dinâmico ao espectro de forma centralizada.
- 3) BANDAS I e II (50 a 100MHz e 150 a 300MHz) - Por extensão do conceito da Banda III, aguardando as questões regulatórias de médio e longo prazo sobre a destinação do espectro para o Serviço de TV Digital.
- 4) BANDA V (5 a 10 GHz) - Inicialmente por extensão do conceito da banda IV, no segmento de 5725 a 5875 MHz, com atenção especial ao segmento de 5850 a 6425 MHz destinado ao up-link do Serviço Fixo por Satélite, seguido pelo compartilhamento dinâmico de outros segmentos até 10GHz, conforme o interesse da aplicação, restrito às condições de propagação (urbana densa e in-door).

REFERÊNCIAS

- [1] "ITU-R - World Radiocommunication Conference 2012," <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [2] "ITU-R - Question 241-1/5 - Cognitive radio systems in the mobile service, 2007," <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [3] "Federal Communication Commission. FCC 10-174: Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands. 2010," www.fcc.gov.
- [4] "Federal Communication Commission. FCC Evaluation of the Performance of Prototype TV- Band White Space Devices Phase II. 2008," www.fcc.gov.
- [5] M. e. a. Mueck, "ETSI RRS - The standardization path to next generation cognitive radio systems," *IEEE 21st International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops*, 2010.
- [6] "12ª Plenária do GRR-2.4 (Grupo Relator de Radiocomunicações) da CBC-2 (Comissão Brasileira de Comunicações). Brasília, 20 set. 2010." <http://www.anatel.gov.br>.
- [7] "Agostinho Linhares, Technical and Regulatory Aspects for the Implementation of Cognitive Radio Systems, 1st CPqD Workshop on Cognitive Radio and Dynamic Spectrum Access, Campinas, Brasil, Junho, 2011." <http://radiocognitivo.cpqd.com.br>.
- [8] "ITU-R - Resolução 956 (WRC-07), Regulatory measures and their relevance to enable the introduction of software-defined radio and cognitive radio systems. Geneva, Suíça, 2007." <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [9] "ANATEL - Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil," <http://www.anatel.gov.br>.
- [10] "ITU-R Study Group 1 (SG 1) - Spectrum management," <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [11] "ITU-R - Question 241-1/5 - Cognitive radio systems in the mobile service, 2007," <http://www.itu.int/ITU-R>.
- [12] "ANATEL - Consulta Pública N.º 506, de 30 de outubro de 2008 - Proposta de Plano Geral de Atualização da Regulamentação das Telecomunicações no Brasil - PGR," <http://www.anatel.gov.br>.