

Investigação do Processo de Categorização em *Spectrum Sensing Cognitive Radio*

Adriana Pereira do Nascimento¹ e Ricardo Ribeiro Gudwin²

Resumo — *Categorização é um processo mental habitual do homem para aprendizagem de um meio em interação. Analogamente, a aprendizagem é parte principal da cognição aplicada em uma das tecnologias mais estudada na literatura atual, nomeada por Joseph Mitola III como Rádios Cognitivos. Esse dispositivo, realiza o uso oportunístico do espectro de frequências, atualmente subutilizado, sem interferir nos usuários licenciados na banda. O trabalho apresenta uma visão geral sobre essa tecnologia e, objetiva investigar, o processo de categorização realizado quando há sensoriamento do meio espectral.*

Palavras-chave — Aprendizagem, Categorização, Sensoriamento de Espectro e Rádios Cognitivos.

Abstract — *Categorization is an usual human mental process to learning about an environment in interaction. Similarly, learning is the main part of cognition applied in one of technologies most studied in the literature, properly named by Joseph Mitola III, as Cognitive Radio. This device performs the opportunistic use of frequency spectrum, currently underutilized, without interfering in licensed users of the band. The paper presents an overview of this technology, and aims to investigate how the process of categorization is performed when Cognitive Radio is sensing the radiofrequency spectrum.*

Keywords — *Learning, Categorization, Spectrum Sensing and Cognitive Radio.*

I. INTRODUÇÃO

Uma das principais funções da mente é interpretar o significado das informações adquiridas sensorialmente e transformá-las em conhecimento. A organização e categorização dessas informações está relacionada à capacidade de aprender e assimilar novas entradas perceptivas. Essa aprendizagem, conforme ilustra [1] com a Figura 1 –, deve-se à dois macro processos: Perceptivo e Cognitivo.

Em um nível mais primitivo do comportamento, ocorre a ativação de estruturas sensoriais, e, através dos cinco sentidos³, a captação de características de um objeto. A percepção é dada então, quando há tomada de consciência dessas informações vindas do sistema sensorial.

Com auxílio dos processos da memória é identificado se aquela sensação ou informação já foi alguma vez recebida, e então, conceitualmente a informação é categorizada, interpretada e integrada aos conhecimentos do sujeito. A

categorização é portanto situada, como uma etapa da aprendizagem e um processo mental habitual do ser humano em toda interação com um meio.

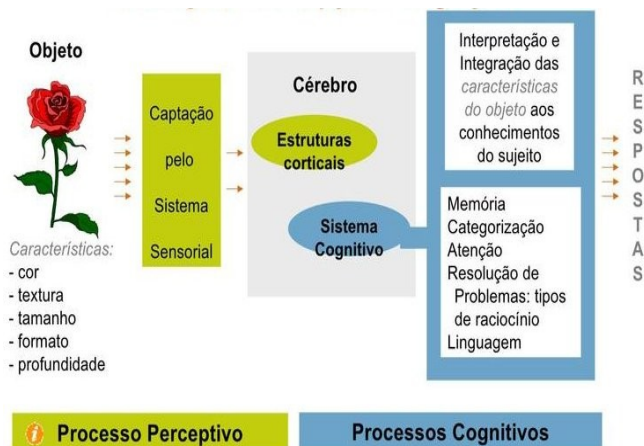


Figura 1 – Categorização: um processo da Aprendizagem

Por sua vez, a aprendizagem não é somente uma capacidade humana e analogamente, é parte principal da cognição aplicada em uma das tecnologias mais estudada na literatura atual: Rádios Cognitivos - apresentado por Joseph Mitola III em 1999 [2].

Buscando uma utilização eficiente do meio espectral, atualmente subutilizado, conforme detalha [3], esse dispositivo, realiza o uso dinâmico e oportunístico do espectro de radiofrequências, buscando lacunas espectrais para transmissão, sem interferir nos usuários licenciados na banda, denominados Usuários Primários.

Rádios Cognitivos que utilizam como parâmetros observados as condições e características do espectro de radiofrequência são chamados de *Spectrum Sensing Cognitive Radio*. O sensoriamento do meio é realizado e, comparando à cognição humana, as informações sensoriadas são percebidas, classificadas e integradas ao conhecimento do dispositivo.

O trabalho apresenta a seguir uma visão geral sobre de categorização como um processo cognitivo e sobre Rádios Cognitivos baseados em sensoriamento de espectro, bem como o Ciclo de Cognição proposto por Mitola em [2].

Por fim, uma investigação do processo de categorização - como um passo para aprendizagem do Rádio Cognitivo - de Usuários Primários e lacunas espectrais na ocorrência de sensoriamento espectral.

¹ CPqD, adrianap@cpqd.com.br

² UNICAMP, gudwin@dca.fee.unicamp.br

³ visão, audição, olfato, tato e paladar

II. CATEGORIZAÇÃO

A busca pela compreensão da prática de nomear, definir e categorizar tem origem em Platão, que introduziu a ideia de agrupar objetos baseados na semelhança e diferença de suas propriedades. Posteriormente, Aristóteles definiu então o termo categoria em seu tratado *Categorias*, no qual analisa as diferenças entre as classes e os objetos, aprofundando e sistematizando o esquema de classificação proposto por Platão [4].

Uma das definições atuais para categoria é, uma classe das semelhanças e ou diferenças existente entre conceitos dentro de um contexto. Conceito, por sua vez, é a representação mental do objeto ou uma unidade do conhecimento. Em [4], explica-se que o processo mental da formação do conceito parte de uma linha de pensamento que leva à elaboração do conhecimento, passando pela assimilação da informação pelo cérebro e transformando-a. Após essa elaboração mental, baseada no conhecimento prévio do indivíduo, a unidade de informação se transforma em uma unidade conceitual que é representada por um termo, geralmente expresso por símbolos e palavras e com significado único.

Muitos autores da área de ciência cognitiva consideram os termos categoria e conceito portadores de uma ambiguidade, entre eles, Gardner (1996) [5].

Categorizar é agrupar objetos, ideias, ações, entre outros, por semelhança. Segundo Lakoff (1987, p.5): “A maioria de nossas palavras e conceitos designam categorias [...] Categorização não é um processo que deve ser estudado superficialmente. Não há nada mais básico do que a categorização para o nosso pensamento, percepção, ação, e discurso. Cada vez que nós vemos algo como “um tipo” de coisa, por exemplo, uma árvore, nós estamos categorizando. [...] A compreensão de como categorizamos é o ponto central para a compreensão de como nós pensamos, funcionamos e, consequentemente, um ponto central para a compreensão daquilo que nós faz humanos.”

Jacob e Shaw (1998, p.155) dizem que “categorização é um processo cognitivo de dividir as experiências do mundo em grupos de entidades, ou categorias, para construir uma ordem física e social do mundo”. Markman (1989), citado por Jacob e Shaw (1998, p. 155), descreve a categorização como “um mecanismo fundamental que simplifica a interação individual com o ambiente, não somente facilitando o armazenamento e a recuperação da informação, mas também, reduzindo a demanda da memória humana”.

Finalmente, para Gardner (1996, p. 373), “as categorias têm uma estrutura interna, centrada em protótipos ou estereótipos, e outros exemplares são definidos como mais ou menos periféricos, dependendo do grau em que eles compartilham características cruciais com o protótipo central”.

Do ponto de vista cognitivo, a categorização possui as seguintes Funções:

a) Classificar: função que permite que a mente faça contato com o mundo;

b) Dar apoio a explanações e assegurar prognóstico em relação ao futuro, o qual pode ser utilizado para selecionar

planos e ações;

c) Dar sustentação à mente, pois não há necessidade de armazenar todos os fatos e suas possibilidades, se as inferências podem ser derivadas de informações já armazenadas (Medim e Ross, 1996).

A. Tipos de Categorização

Os estudos realizados em [6], detalham dois tipos de categorização: Categorização Clássica e Teoria de Protótipos.

A teoria clássica de Aristóteles é considerada por alguns como a hierarquia perfeita do mundo, onde as categorias são definidas apenas pelas propriedades comuns a todos os seus membros. A teoria clássica fornece uma explicação direta para o fato de separarmos membros e não membros de uma categoria.

Apesar de o modelo clássico ter tido uma grande repercussão em várias áreas do conhecimento, seus pressupostos têm recebido várias críticas através dos anos. Lakoff (1987, p. 6) destaca que a teoria clássica não é o resultado de um estudo empírico, e vai mais além, quando afirma que ela não era um assunto de debates. De fato, até recentemente, a teoria clássica de categorias não era nem pensada como teoria e era vista, na maioria das disciplinas, como uma verdade definida e inquestionável, sem uma hipótese empírica. De acordo com Eysenk e Keane (1990), a Teoria de Protótipos foi proposta especificamente para explicitar as deficiências do ponto de vista de definição de atributos.

Foi Eleanor Rosch quem transformou a categorização em uma questão de pesquisa. Desenvolvendo seus trabalhos na década de 70, criou o modelo de protótipo baseado na tese de que, se no modelo clássico as categorias são definidas somente pelas propriedades que todos os membros da classe possuem, então nenhum membro pode exemplificar a categoria melhor que outro (ROSCH, 1975; 1978). O princípio fundamental deste modelo sustenta que as categorias são organizadas em torno de protótipos centrais. Um item é considerado como membro de uma categoria não por se saber que ele possui um determinado atributo ou não, mas por se considerar o quanto as dimensões desse membro se aproximam das dimensões ideais para ele. Em outras palavras, um exemplo representativo de uma classe seria aquele que compartilhasse com os outros membros da categoria do maior número de características e que, por outro lado, compartilhasse de poucas ou nenhuma característica com elementos provenientes de fora da classe.

Além dos dois tipos apresentados acima, [7] menciona o tipo Agrupamento Conceitual, uma variação moderna da visão clássica, onde classes, *clusters* ou entidades são geradas pela formulação de suas descrições conceituais. A clusterização é altamente aplicada nas tecnologias de comunicação sem fio, inclusive em Rádios Cognitivos.

III. RÁDIOS COGNITIVOS

Em consequência da evolução contínua das tecnologias de comunicação sem fio observada atualmente, houve uma mudança substancial no cenário de utilização do espectro eletromagnético, e, sua utilização teve que ser avaliada e adequada. Em nível internacional, a coordenação ao uso do espectro eletromagnético, é realizada pela ITU (*International Telecommunications Union*), agência das Nações Unidas responsável por assuntos tecnológicos, de informação e de telecomunicações. O controle ao uso desse recurso, contudo, é feito de forma soberana por cada país por meio de suas agências reguladoras, como a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e a FCC (*Federal Communications Commission*), que regulam a utilização deste recurso escasso no Brasil e nos Estados Unidos, respectivamente.

Segundo [8], atualmente, a política de alocação do espectro adotada é uma política fixa, conhecida como FSA (*fixed spectrum allocation*). Nessa política, o espectro eletromagnético é subdividido em bandas que são destinadas a diversos tipos de serviço. A autorização ao uso do espectro eletromagnético possui prazo determinado e, em geral, é expedida de acordo com a região onde o sistema transmissor está instalado. Dentro dessa região e durante o período de vigência dessa autorização, somente a concessionária ou permissionária para qual a autorização foi expedida deverá ter acesso aos recursos do espectro eletromagnético, mesmo que o recurso seja subutilizado ao longo do tempo.

Inicialmente, a política adotada foi suficiente tanto para evitar a interferência entre os diversos sistemas que utilizavam o espectro eletromagnético, quanto para atender à demanda por serviços de comunicação sem fio, porém, com a atual e crescente demanda de tecnologias sem fio, esta política não é eficiente. Os Rádios Cognitivos surgem então, para cumprir essa otimização do espectro.

A tecnologia de rádio cognitivo, definida primeiramente por Joseph Mitola III [2] e [11], surge como um novo paradigma das telecomunicações. Segundo Mitola, rádio cognitivo é "um dispositivo que pode mudar seus parâmetros com base na interação com o ambiente no qual ele opera". Haykin estendeu a definição de Rádio Cognitivo: "Rádio Cognitivo é um sistema de comunicação sem fio que está atento ao ambiente externo e [...] adapta seus estados internos às variações estatísticas nos estímulos de RF, através da alteração dos respectivos parâmetros (potência de transmissão, frequência da portadora, modulação), em tempo real, com dois objetivos principais: comunicação altamente confiável, onde e quando for necessário, e utilização eficiente do espectro de rádio".

Na definição proposta pelo ITU-R: "um sistema rádio que emprega a tecnologia que permite ao sistema obter o conhecimento do seu ambiente funcional e geográfico, regras estabelecidas e seu estado interno; ajustar dinamicamente e autonomamente os seus parâmetros funcionais e os seus protocolos de acordo com os conhecimentos obtidos, a fim de atingir objetivos pré-definidos; e aprender a partir dos resultados obtidos."

Nota-se duas das principais características dos rádios cognitivos: Capacidade cognitiva e Reconfigurabilidade. A

primeira, refere-se à habilidade de capturar informações sobre o ambiente de propagação através da sua observação. E a outra, à adaptação dos parâmetros de transmissão, conforme as condições do canal, obtidas com sua capacidade cognitiva. Também, o rádio pode ser reprogramado para transmitir e receber informações em diversas frequências, que sejam suportadas pelo seu hardware.

Segundo Mitola, os Rádios Cognitivos são capazes de desempenhar três funções:

a) Percepção: sensores que recolhem dados oriundos de fatores externos e de fatores internos;

b) Concepção: um núcleo inteligente que aprende e compreende como combinar o conhecimento adquirido pelo mecanismo de percepção visando auxiliar o mecanismo de adaptação;

c) Execução: um mecanismo de otimização e adaptação que altera o comportamento do rádio.

A partir destas funções, já é possível inferir a proximidade da cognição proposta por Mitola à cognição humana, inclusive nos aspectos de sensação, percepção e aprendizagem.

A. Ciclo de Cognição

Mitola propôs em [2], o ciclo de cognição para o aprendizado de um Rádio Cognitivo, como ilustra a Figura 2. Esse ciclo descreve possíveis passos que um rádio cognitivo poderia seguir para avaliar o seu ambiente, como observar, orientar, planejar, aprender, decidir e agir. Ainda, uma máquina de aprendizado é estruturado entre essas fases.

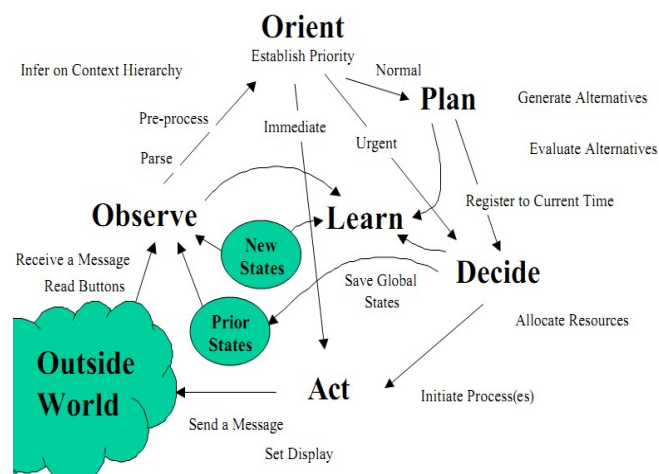


Figura 2 – Ciclo de Cognição por Joseph Mitola III

A assimilação do conhecimento pela máquina de aprendizagem é intensiva, existindo dois períodos: período de sono e período de requisição. O primeiro, ocorre quando o rádio não está em uso, mas, com potência elétrica suficiente para processamento e execução de algoritmos da máquina de

aprendizagem. E durante o período acordado, de requisição, o recebimento de um novo estímulo em seus sensores, inicia um novo ciclo de cognição.

Os Rádios Cognitivos se orientam determinando a prioridade associada a cada estímulo. Uma falha de energia pode diretamente invocar uma ação Imediata. Um perda de sinal não reconfigurável em uma rede pode requerer alocação de recursos para procura de canais alternativos de RF, essa seria uma ação Urgente. No entanto, a chegada de uma mensagem de rede, será tratada através da geração de um plano, em uma ação Normal.

A fase Planejamento inclui a geração de planos e raciocínio sobre a casualidade. Em Decisão ocorre a seleção de planos da fase anterior e então o plano selecionado será utilizado em Ação. Assim como na cognição humana, a Aprendizagem é uma função de observações e decisões. A categorização em Rádios Cognitivos, pode ser portanto, um processo do seu aprendizado.

Ainda segundo Mitola, o ciclo de cognição permite ao Rádio Cognitivo possuir consciência do seu contexto e interagir com o ambiente dinâmico de radiofrequência.

B. Sensoriamento de Espectro

Uma das principais atividades a ser realizada pelo Rádio Cognitivo é o sensoriamento do espectro, onde se trata de um processo periódico e dinâmico de monitoramento do ambiente de radiofrequência que visa determinar lacunas espectrais – ou *spectrum holes* –, evitar a interferência à comunicação licenciada dos usuários primários, detectar quais as características dos sinais presentes, tais como, tipo de modulação, forma de onda, frequência da portadora, entre outras [9].

A Figura 3, demonstra, com base na potência, quais são as faixas de espectro disponíveis durante a evolução do tempo e que, portanto, são passíveis de utilização. Os blocos cinza representam a ocupação dos usuários primários na faixa de frequência, e sua altura indica a potência de transmissão dos mesmos. Os espaços em branco, são as oportunidades de acesso dinâmico para o Rádio Cognitivo, nomeado também de usuário secundário.

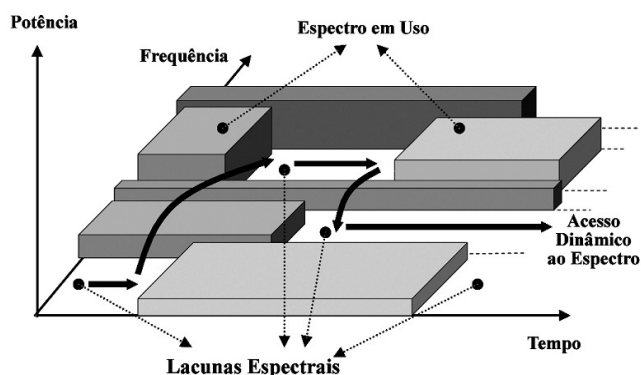


Figura 3 – Sensoriamento de Espectro

Quando uma faixa é passível de utilização, o usuário

secundário a utiliza e fica em constante monitoramento a fim de verificar o possível retorno do usuário licenciado para aquela banda. Quando o usuário primário retorna, o Rádio Cognitivo deve parar a sua transmissão, vagar aquela faixa e buscar outra faixa disponível para retomar a sua comunicação.

De acordo com [8], o sensoriamento de espectro deve prover as características de acurácia, ou seja, precisão para evitar interferência entre usuários primários e secundários; rapidez, pois, como as mudanças no espectro ocorrem de maneira rápida e repentina, os tempos de processamento também devem ser menores para melhor utilização do espectro e menor interferência nos usuários primários; robustez para que mesmo com mudanças drásticas no comportamento do ambiente, o sensoriamento adequa-se com reajustes mínimos de parâmetros.

Ainda conforme [8], são três as classes de sensoriamento de espectro: Detecção do Transmissor; Detecção Cooperativa e Detecção baseada em Interferência.

A classe de Detecção do Transmissor é a forma mais simples de sensoriamento e consiste na utilização do canal de forma oportunista quando não é detectado sinais primários em uma determinada banda. Essa classe é subdividida em outras várias técnicas conforme descreve [10], sendo as principais:

a) Filtro Casado: adequada quando as informações do sinal - forma de pulso, frequência da portadora, tipo de modulação - primário são conhecidas a priori pelo usuário secundário. Nesse caso, o detector ótimo para os canais será um filtro casado;

b) Detecção de Energia: como nem sempre é possível ter acesso às informações dos sinais dos usuários primários, a alternativa mais simples de detecção de um sinal primário com ruído é realizar a detecção de energia. Consiste em medir a energia recebida em uma faixa durante um intervalo de observação e a declara uma lacuna de espectro se a energia medida for menor que um limiar estabelecido. A principal desvantagem do detector de energia é a sua falta de habilidade para diferenciar fontes de energia;

c) Detecção de Características Cicloestacionárias: se algumas características do sinal primário são conhecidas, então, detectores de características podem ser aplicados. É possível verificar a existência de um dado sinal capturando assinaturas específicas do sinal, como por exemplo, frequência da portadora, tipo de modulação, sinais piloto, preâmbulos, cicloestacionaridade.

Voltando às classes principais, Ghasemi (2008) comentou sobre a Detecção Cooperativa: “O aumento na diversidade alcançado por meio do sensoriamento espectral cooperativo melhora a sensibilidade do processo de detecção como um todo, sem impor grandes requisitos de sensibilidade aos rádios cognitivos individualmente”. Quanto à Detecção baseada em Interferência são analisadas oportunidades entre níveis de potência total de interferência somada à potência de ruído, orientando-se por um nível de ruído estabelecido.

Como o trabalho não atém-se às questões técnicas de Rádios Cognitivos, maior detalhamento das classes de sensoriamento podem ser encontrado em [8] e [9].

IV. CATEGORIZAÇÃO EM RÁDIOS COGNITIVOS

Em sequência à visão geral sobre o processo de categorização e sobre Rádios Cognitivos baseados em sensoriamento de espectro, cabe investigar e abstrair quais são as possíveis categorias que podem ser encontradas nessa tecnologia em evidência.

Como já supracitado, a categorização é um processo para a aprendizagem quando há interação com um meio. Em Rádios Cognitivos, o ciclo de cognição proposto por Mitola [2], descreve a importância da observação e da decisão para a aprendizagem do dispositivo. Do ponto de vista cognitivo, a categorização, nesse caso, é um processo que utiliza as entradas do sensoriamento do espectro e busca conceitos e categorias para classificá-las, integrando essa informação ao conhecimento do dispositivo. Analogamente à Figura 1, passa então, por sensação, percepção e leva à aprendizagem.

Um *Spectrum Sensing Cognitive Radio* objetiva basicamente duas informações quando está constantemente observando o espectro de radiofrequência:

A. Detecção de Usuários Primários

As técnicas de Detecção do Transmissor são exemplos de percepções, ou tomada de consciência da existência de algum sinal interferente. A partir dessa percepção são levantados alguns conceitos como Frequência da portadora, tipo de modulação, preâmbulo, entre outros, que podem ser comparados ao conhecimento prévio de informações sobre o usuário primário ou sobre níveis de energia, e, então, habitualmente o sinal é classificado e identificado como um usuário primário ou secundário.

Identificando e aprendendo sobre a existência de um usuário primário, é necessário então, buscar por lacunas espectrais para se adaptar e continuar seu uso oportunístico.

B. Detecção de Lacunas Espectrais

Quanto à busca por lacunas espectrais, é importante para o Rádio Cognitivo identificar não apenas frequências para transmissão, mas também, qual a melhor no momento, levando em consideração, qualidade e tempo de utilização do canal.

A percepção pode ocorrer sabendo por exemplo da existência de um usuário primário naquele canal, fato que já o descartaria como uma oportunidade de transmissão. E com o sensoriamento poderiam ser levantados alguns conceitos como a Interferência de canais vizinhos, modulação para saber da necessidade alterar a sua, a capacidade do canal e quanto tempo poderia transmitir sem a chegada de um usuário primário.

Tendo esses conceitos, é então possível, por exemplo, estabelecer classes de canal menos interferente, ou canal com maior tempo para utilização. E posteriormente tomar a decisão de qual lacuna espectral migrar.

Essas foram duas abstrações principais de categorização em Rádios Cognitivos, com base na teoria e visão ampla do seu comportamento. Um outro exemplo de categorização mais técnica, é a Clusterização, detalhada em [4].

V. CONCLUSÃO

Do ponto de vista cognitivo, todas as funções da Categorização: Classificar, Sustentar à tomada de decisão e controlar a necessidade de memorizar informações, são desempenhadas em Rádios Cognitivos, durante o seu comportamento padrão de sensoriamento de espectro e uso oportunístico do mesmo.

Tentando fazer uma comparação com a suposição feita sobre a categorização em Rádios Cognitivos com os tipos de categorização é identificável a detecção de usuário primário como categorização clássica, pois ou sinais interferentes identificados são comprovados membros da classe de usuários licenciados ou não. Quanto à seleção do melhor canal é possível estabelecer o quão próximo as características daquele canal estão de uma classe de canal ideal para transmissão, assemelhando-se à Teoria de Protótipos.

Por fim, a categorização é também um processo habitual do Rádio Cognitivo, parte da interação com o meio através do sensoriamento espectral e está diretamente relacionado à sua aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, S. L. S; Introdução à Cognição, 2005.
- [2] MITOLA, J. III. "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", KTH, 2000
- [3] PRASAD, R. Venkatesha; PAWELCZAK, Przemyslaw; HOFFMEYER, James, "Cognitive Functionality in Next Generation Wireless Networks: Standardization Efforts". IEEE Commun. Mag., vol. 46, no. 4, Apr. 2008, pp. 72–78.
- [4] LIMA, G. A. B. O. "Categorização como um processo cognitivo". Ciências & Cognição; vol 11, 2007, 156 – 167.
- [5] GARDNER, H. "A nova ciência da mente: uma história da revolução cognitiva". São Paulo: EDUSP, 1996.
- [6] LIMA, G. A. B. O. "Modelos de Categorização: Apresentando o modelo clássico e modelo de protótipos". UFMG, 2009.
- [7] PEREIRA, M. E. "Cognição, Categorização, estereótipos e vida urbana". Ciências & Cognição; vol 13, 2007, 280-287.
- [8] ALMEIDA, E.P. L. "Desenvolvimento de Técnica de Sensoriamento de Espectro Embasada em Detecção de Energia para Aplicações em Sistemas de Rádio Cognitivos". UNB, 2010.
- [9] BALIEIRO, A. M. "Estratégia preditiva para mobilidade de espectro em redes rádio cognitivo considerando aplicações com baixo requisito de tráfego". UFPA, 2008.
- [10] COUTINHO, P. S; REZENDE, J. F. "Detecção de Energia para Rádios Cognitivos usando GNU Radio e USRP2"; UFRJ.
- [11] MITOLA, J; MAGUIRE, G. "Cognitive Radio: Making Software Radio More Personal". IEEE Personal Communications, pp13-18, August, 1999.