

# Rede de Sensoriamento Espectral Cooperativo usando Rádio Definidos por *Software* de Baixo Custo

Yngrid Keila Silva Cabral, Jerônimo Silva Rocha e Paulo Ribeiro Lins Júnior

**Resumo**— Este trabalho apresenta uma arquitetura de baixo custo, se comparado com outras arquiteturas, para uma Rede de Sensoriamento Espectral Cooperativo (RSEC) usando Rádio Definidos por *Software*, construídos usando RTL-SDR e GNURadio, integrados a Raspberry Pi. A arquitetura é avaliada usando a probabilidade de detecção em função da relação sinal ruído como métrica, em um cenário que considera dois usuários primários ocupando aleatoriamente um conjunto de possíveis canais, sensorizados por seis nós sensores. Os resultados indicam um desempenho satisfatório da arquitetura proposta, e destacam o potencial para uso em diversas aplicações.

**Palavras-Chave**— Sensoriamento Espectral, Rádio Definido por *Software*, Raspberry Pi

**Abstract**— This paper presents a low-cost architecture for Spectrum Sensing Network Cooperative (RSEC) using Software Defined Radios, using RTL-SDR and Gnuradio, integrated with Raspberry Pi. The architecture is evaluated using the probability of detection as a function of signal to noise ratio as a metric, in a scenario that considers two primary users randomly occupying a set of possible channels, with six sensor nodes. The results indicate a satisfactory performance of the proposed architecture, highlighting the potential for use in several applications.

**Keywords**— Spectrum Sensing, *Software* Defined Radio, Raspberry Pi

## I. INTRODUÇÃO

A atribuição de frequências das agências regulamentadoras, como a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), revela que a maioria das bandas de frequência está atribuída a uma determinada aplicação ou a usuários licenciados, e há pouca largura de banda disponível para novos produtos e serviços [1]. Levantamentos da FCC (*Federal Communications Commission*), nos Estados Unidos, mostram que parte das bandas licenciadas fica subutilizada ao longo do dia, com uso do espectro licenciado variando entre 15% e 85% [2]. Porém, apesar de estarem reservados e não utilizados em determinados períodos do dia, esses espectros licenciados não pode ser reutilizados por outros serviços.

Uma das alternativas para resolver esse problema é o uso de rádios cognitivos, que adaptam, de forma inteligente, seus parâmetros de transmissão a variações do canal, com dois objetivos principais: comunicação confiável e utilização eficiente do espectro eletromagnético [3].

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Campina Grande – PB, Grupo de Pesquisa em Comunicações e Processamento de Informação – GComPI, emails: yngrid.tecnico@gmail.com, jeronimo.rocha@ifpb.edu.br e paulo.ribeiro@academico.ifpb.edu.br. Projeto financiado com recursos da Chamada Interconecta IFPB – N° 01/2017.

O Sensoriamento Espectral está entre as principais funções dos rádios cognitivos, sendo responsável por identificar adequadamente as oportunidades de transmissão nos canais ociosos, evitando interferências entre transmissões simultâneas, proporcionando qualidade de transmissão [4].

Existem várias propostas de arquiteturas para implementação de sensoriamento espectral usando rádio definido por *software* (RDS), como as apresentadas em [5] e [6], cujas implementações são feitas usando GNURadio e a plataforma USRP (*Universal Software Radio Peripheral*).

Nesse trabalho é apresentada e implementada uma arquitetura para uma Rede de Sensoriamento Espectral Cooperativo (RSEC) usando RDS's implementados em uma plataforma formada por rádios RTL-SDR integrados a Raspberry Pi, implementação de custo significativamente baixo. A rede é constituída de vários nós, responsáveis por monitorar fatias específicas do espectro e que, por meio da cooperação entre si, analisam e determinam se cada canal está livre para utilização ou ocupado por algum serviço.

No restante do artigo, a seção II apresenta as características da arquitetura de rede de sensoriamento espectral proposta e os resultados de avaliação de desempenho dessa rede e a Seção III apresenta as considerações finais do trabalho.

## II. ANÁLISE DO DESEMPENHO DA REDE DE SENSORIAMENTO ESPECTRAL PROPOSTA

A rede proposta é composta por seis nós de sensoriamento, implementados com RTL-SDRs e Raspberry Pi, divididos em dois grupos de três, com cada grupo responsável por analisar faixas do espectro distintas, usando detecção de energia [3]. As leituras desses nós são enviadas para um nó concentrador, que analisa se o canal está ocupado ou livre para transmissão. A Figura 1 ilustra a arquitetura proposta.

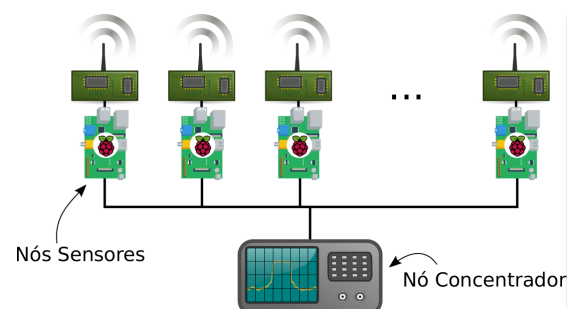


Fig. 1. Rede de Sensoriamento Espectral Cooperativo.

TABELA I  
ESPECIFICAÇÃO DOS DADOS APRESENTADOS NO GRÁFICO 2.

Frequência: 479 MHz												
Nº de Nós/SNR	-4 dB	-6 dB	-8 dB	-10 dB	-12 dB	-14 dB	-16 dB	-18 dB	-20 dB	-22 dB	-24 dB	-26 dB
3	0.999	0.987	0.997	0.999	0.998	0.995	0.998	0.998	0.998	0.999	0.998	0.999
Frequência: 617 MHz												
Nº de Nós/SNR	-4 dB	-6 dB	-8 dB	-10 dB	-12 dB	-14 dB	-16 dB	-18 dB	-20 dB	-22 dB	-24 dB	-26 dB
3	0.992	0.999	0.998	1	0.999	0.999	0.997	0.984	0.999	0.999	0.999	0.999
Frequência: 629 MHz												
Nº de Nós/SNR	-4 dB	-6 dB	-8 dB	-10 dB	-12 dB	-14 dB	-16 dB	-18 dB	-20 dB	-22 dB	-24 dB	-26 dB
3	0.929	0.998	0.978	1	0.967	1	0.991	0.973	1	0.972	1	0.981
Frequência: 641 MHz												
Nº de Nós/SNR	-4 dB	-6 dB	-8 dB	-10 dB	-12 dB	-14 dB	-16 dB	-18 dB	-20 dB	-22 dB	-24 dB	-26 dB
3	0.994	1	0.999	1	1	0.998	0.952	0.952	1	0.999	1	0.982

Para avaliação do desempenho da arquitetura, é considerado um cenário com quatro canais, com frequências centrais de 479, 617, 629 e 641 MHz e largura de banda de 6 MHz, que não tem utilização na cidade de Campina Grande – PB, de acordo com o plano de atribuição de canais de televisão digital da Anatel [7]. Dois transmissores são usados como usuários primários (UP), podendo usar qualquer um dos canais disponíveis, em transmissões com duração máxima de 10 segundos. A escolha do canal a ser usado por cada transmissor e a duração da transmissão são escolhidos aleatoriamente. Um dos grupos de três nós sensores é responsável por realizar o sensoriamento dos canais de 479 e 617 MHz e o outro, dos canais de 629 e 641 MHz.

Nos experimentos, os valores da potência dos transmissores dos UP's foram ajustados considerando a estimativa da potência do ruído no canal ( $P_N$ ), de forma a garantir que a potência recebida nos nós sensores seja adequada as SNR's esperadas, de acordo com a Equação 1:

$$SNR_{dB} = 10 \log(P_S) - 10 \log(P_N), \quad (1)$$

em que  $P_S$  é referente à potência recebida pelos nós sensores.

Foram considerados valores da SNR na recepção variando entre -26 e -4 dB, em intervalos de dois decibéis. Para cada valor de SNR foram realizadas 1000 medições.

Na Figura 2 é apresentado o gráfico da probabilidade de detecção ( $Q_d$ ), em função da relação sinal ruído nos receptores, cujos valores se encontram também são exibidos na Tabela I.

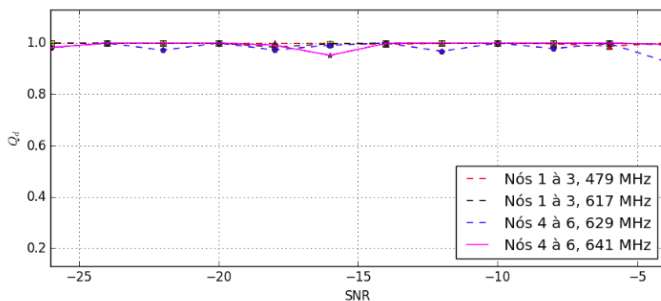


Fig. 2. Gráfico da probabilidade de detecção ( $Q_d$ ) pela relação sinal-ruído ( $SNR$ ).

É possível identificar que os valores em cada medição estão acima de 90%, obedecendo à especificação do padrão do IEEE 802.22 [8]. A variação observada em  $Q_d$  pode ser justificada

pela característica dinâmica do cenário abordado. A partir do gráfico gerado é possível observar que a probabilidade de detecção se manteve, de modo geral, próxima a 100%, o que torna o resultado satisfatório tendo em vista o número de nós em cooperação e a característica dinâmica da utilização dos canais.

### III. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresenta uma arquitetura em rede, de baixo custo, se comparado com outras arquiteturas, para sensoriamento espectral cooperativo, implementada usando RTL-SDR, GNUradio e Raspberry Pi. O desempenho da arquitetura é avaliado considerando como métrica a probabilidade de detecção em função da SNR de cada nó sensor do sistema.

A solução proposta representa uma interface de sensoriamento espectral, porém não está vinculada a nenhum usuário secundário específico, podendo ser usada para dar suporte a outros sistemas que precisam do sensoriamento espectral.

Dessa forma, pode-se afirmar que um dos potenciais dessa solução é a integração com outros sistemas que possam utilizar lacunas espectrais para a comunicação, como por exemplo uma rede de sensores sem fio ou uma rede de dispositivos IoT (Internet das Coisas), auxiliando tanto na escalabilidade, quanto na garantia de serviços dessas redes.

### REFERÊNCIAS

- [1] Anatel, "Quadro de Atribuição de Faixas de Frequências no Brasil," Abril 2012.
- [2] FCC, "First Report and Order, FCC 02-48," Federal Communication Commission Std., Tech. Rep.
- [3] J. S. Rocha, "Algoritmos de sensoriamento espectral para acesso a canais cognitivos," Ph.D. dissertation, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, Maio 2013.
- [4] Z. Li, B. Chang, S. Wang, A. Liu, F. Zeng, and G. Luo, "Dynamic compressive wide-band spectrum sensing based on channel energy reconstruction in cognitive internet of things," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2018.
- [5] G. J. M. Llamas and A. S. Banacia, "Spectrum sensing system in software-defined radio for determining spectrum availability," in *2016 International Conference on Electronics, Information, and Communications (ICEIC)*, Jan 2016, pp. 1–5.
- [6] Y. Huang, "Implementation and performance evaluation of spectrum sensing using software defined radio," Ph.D. dissertation, University of Nottingham, 2017.
- [7] Anatel, "Plano básico de canais de TV digital (PBTVD)," <https://goo.gl/pA1pFz>, 2017, (Accessed on 12/08/2017).
- [8] IEEE, "IEEE 802.22," <http://www.ieee802.org/22/>, 2014, (Accessed on 11/04/2018).