

Bolsista: Alexandre Passos Freitas  
E-mail: [alexandrepassosfreitas@gmail.com](mailto:alexandrepassosfreitas@gmail.com)  
Orientador: Paulo Cardiedi  
E-mail: [cardieri@decom.fee.unicamp.br](mailto:cardieri@decom.fee.unicamp.br)

Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC)  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)  
Palavras-Chave: Comunicação sem fio - Rádios cognitivos – Cooperação – Detecção de energia.

## Introdução

A crescente demanda por serviços de comunicação sem fio gera a necessidade de transmitir cada vez mais informação através dos sistemas de rádio frequência e ainda, uma utilização cada vez maior do espectro. Esse crescente interesse por serviços de comunicação sem fio tem motivado a investigação por formas e estratégias mais eficientes de uso do espectro de frequência. Uma forma de otimizar a utilização do espectro é por meio de uma alocação oportunista em rádios cognitivos. O objetivo deste projeto foi analisar o desempenho da técnica de sensoriamento do espectro por detecção de energia através da cooperação de rádios cognitivos.

## Metodologia

A técnica de sensoriamento de detecção de energia se baseia em um teste de hipótese dado por:

$$\begin{cases} H_0: r_i[k] = v_s[k] \\ H_1: r_i[k] = h_i s[k] + v_s[k] \end{cases} \quad (1)$$

em que  $r_i$  representa a  $k$ -ésima amostra do sinal recebido,  $v(k)$  é o ruído branco aditivo,  $s(k)$  é o sinal cuja presença deseja-se detectar e  $h_i$  a característica do canal. Portanto,  $H_0$  hipótese representa o canal livre, logo, uma oportunidade de transmissão, enquanto que  $H_1$  representa a situação com o canal ocupado.

O modelo de canal de propagação utilizado foi baseado na expressão abaixo:

$$h_l = \frac{1}{(d_l/d_0)^\eta} e^{j\phi_l} \alpha_l 10^{\zeta/20} \quad (2)$$

sendo  $d_l$  é a distância entre o transmissor e o  $l$ -ésimo sensor,  $d_0$  é a distância de referência, ajustada aqui para um metro, sem perda de generalidade.  $\eta$ ,  $\phi_0$ ,  $\alpha_l$  e  $\zeta$  são: o expoente de perda de percurso, o deslocamento de fase uniformemente distribuído, uma variável aleatória com distribuição Rayleigh que modela o desvanecimento de curto prazo e uma variável aleatória Gaussiana de média nula que caracteriza o desvanecimento log-normal (sombreamento) respectivamente.

Para a detecção, compara-se a energia  $y_l$  do sinal recebido com o limiar  $\gamma_0$  escolhido (foram usados vários valores):

$$y_l \triangleq \sum_{k=1}^K |r_l[k]|^2 \underset{H_0}{\geq} \underset{H_1}{<} \gamma_0 \quad (3)$$

A partir da decisão local de cada sensor (canal livre ou canal ocupado), toma-se a decisão global, como sendo aquela escolhida pela maioria dos sensores.

Para a análise do método de detecção de energia foi realizada uma simulação no Matlab. O algoritmo realizado para a simulação do sistema é representado no fluxograma abaixo.

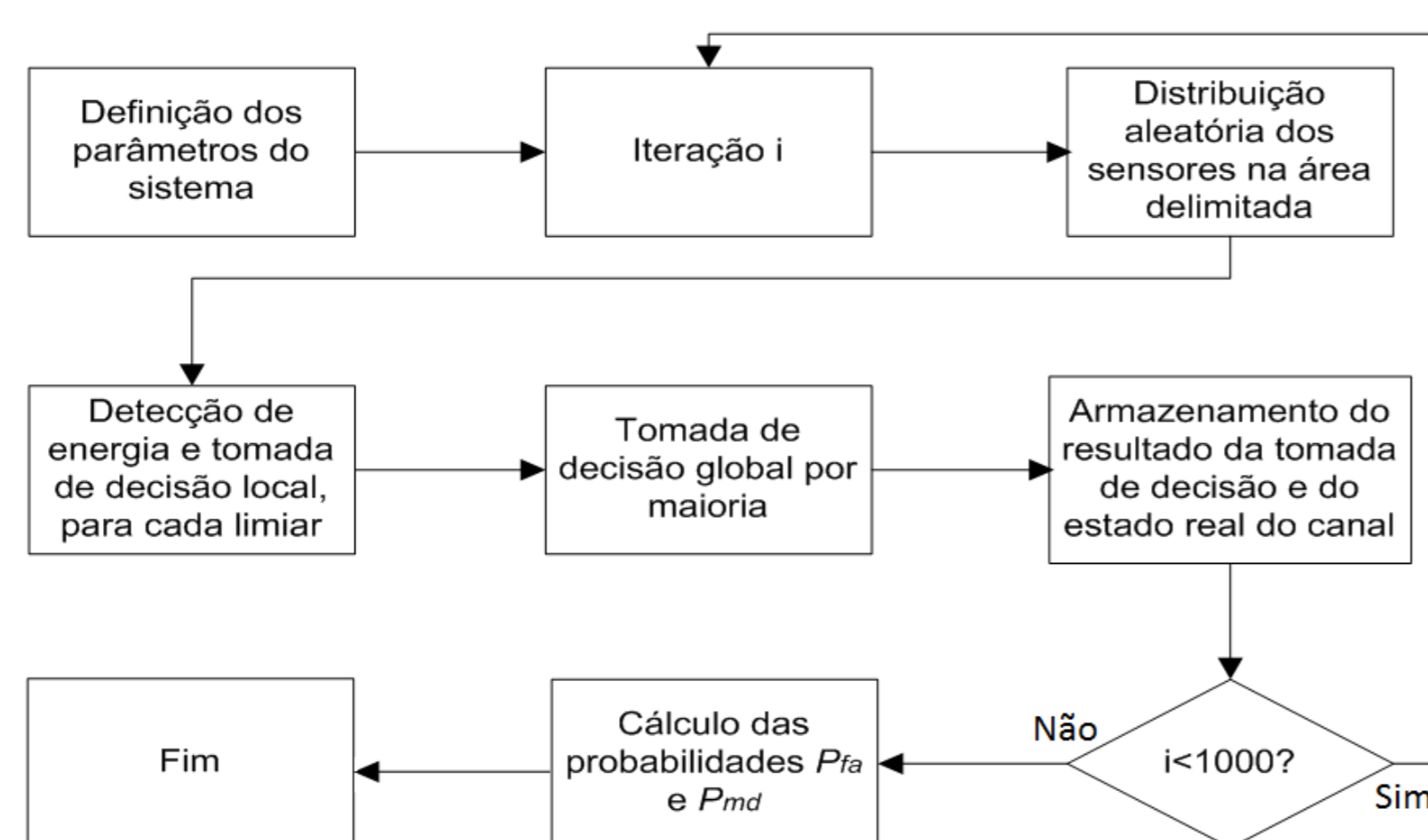


Figura 1: Algoritmo de sensoriamento espectral com técnica de cooperação baseada em SNR.

A desempenho do simulador é medido através das probabilidades de falso alarme ( $P_{fa}$ ) e de não detecção ( $P_{md}$ ):

$$\begin{cases} P_{md} = 1 - \Pr(y_l > \gamma_0 | H_1) \\ P_{fa} = \Pr(y_l > \gamma_0 | H_0) \end{cases} \quad (4)$$

## Resultados e Discussões

Nas simulações foram considerados casos com diversos sensores distribuídos aleatoriamente em uma área de 1000 m<sup>2</sup> e com o transmissor posicionado ao centro. Empregou-se um valor de coeficiente de perda de percurso igual a 3 e desvanecimento com desvio padrão igual à 6 dB, SNR ajustada para 70 dB.

A Figura 2 mostra o desempenho em um ambiente com desvanecimento decorrelacionado para 1, 5, 30 e 50 sensores. Os resultados indicam que, como esperado, o desempenho do sistema melhora com o aumento do número de sensores participantes da cooperação.

Desempenho em um ambiente decorrelacionado

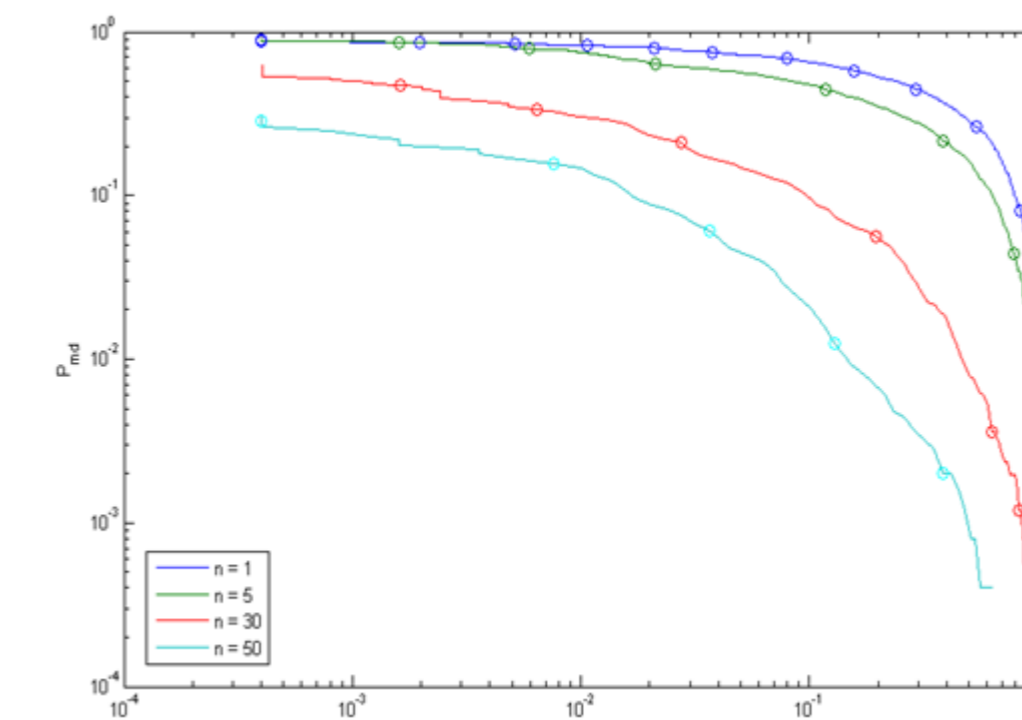


Figura 2: Gráfico de probabilidade de falso alarme vs. probabilidade de não detecção para 1, 5, 30 e 50 sensores.

A Figura 3 mostra o desempenho para o caso com desvanecimento correlacionado para diferentes valores de distância de decorrelação, em um sistema com a cooperação de 50 sensores. Para efeitos de comparação, é mostrada também a curva para o caso de desvanecimento decorrelacionado.

Cooperação de 50 sensores em um ambiente correlacionado

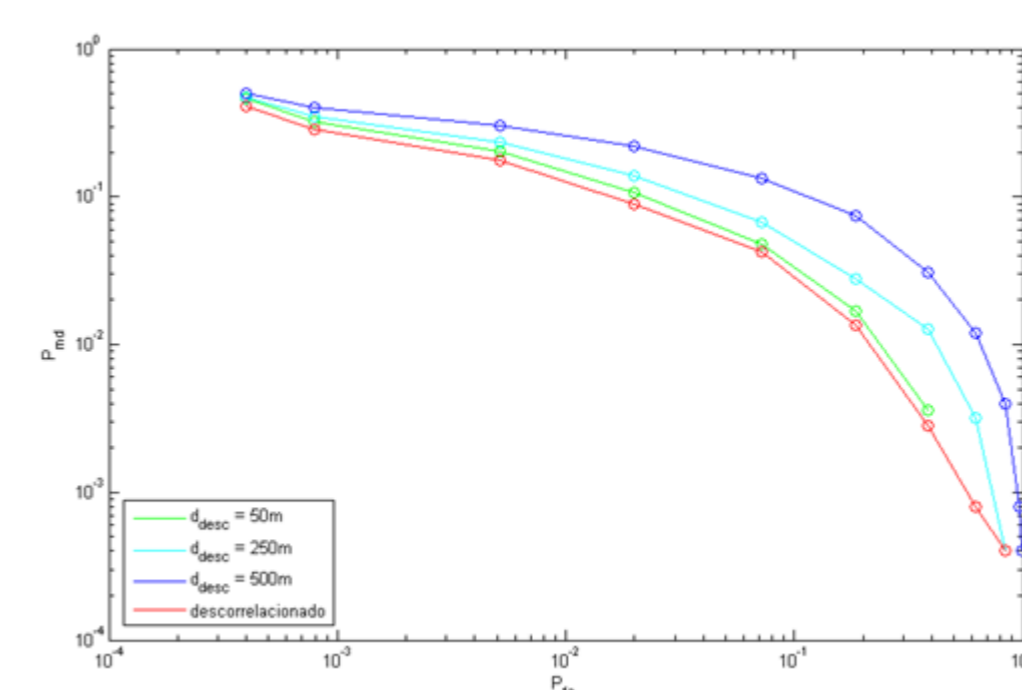


Figura 3: Gráfico de probabilidade de falso alarme vs. probabilidade de não detecção com desvanecimento correlacionado.

Observa-se que o aumento do grau de correlação espacial degrada o desempenho do sensoriamento do espectro. Isso pode ser explicado pela diminuição da diversidade de informação sobre o estado do canal quando a correlação espacial do desvanecimento aumenta.

## Conclusão

Sistemas de rádio frequência que demandam um sensoriamento espectral, como o caso das redes de rádios cognitivos, necessitam que o processo tenha um grau de confiabilidade alta. Essa confiabilidade pode ser aumentada com o uso de técnicas de cooperação.

Os resultados obtidos através das simulações mostraram que quanto mais diversidade de informação sobre o estado da rede, melhor será o desempenho do sistema. Além disso, foi observado também que o sombreamento afeta diretamente o desempenho do sensoriamento, especialmente para o caso do sombreamento correlacionado.