

# Alocação Dinâmica de Recursos Bio-inspirada Aplicada a Redes de Cuidados Médicos

Marcelo P. Sousa, Waslon T. A. Lopes, Francisco Madeiro e Marcelo S. Alencar

**Resumo**—Neste artigo, os autores apresentam um protocolo inspirado pelo comportamento natural de formigas desérticas, para alocar recursos de acordo com o grau de emergência de pacientes em redes de cuidados médicos. Os resultados de simulação mostram a diminuição do atraso médio à medida que a probabilidade de acesso oportunístico aumenta, o que privilegia o relato de emergência de pacientes com maior prioridade de acesso aos recursos. Além disso, a taxa de perda de pacote diminui devido ao uso da diversidade em modulação cooperativa com sensoriamento espectral.

**Palavras-Chave**—Redes de Sensores sem Fio, Rádio Cognitivo, Cuidados Médicos, Diversidade em Modulação, Recursos.

**Abstract**—In this paper, the authors present a protocol inspired by the natural behaviour of desert ants, to allocate resources in accordance with the emergency degree of patients, in healthcare networks. Simulation results show the decrease of the average delay as the probability of opportunistic access increases, which privileges the emergency reporting of patients with higher priority to access the resources. Furthermore, the packet loss rate is decreased by the use of cooperative modulation diversity with spectrum sensing.

**Keywords**—Wireless Sensor Networks, Cognitive Radio, Healthcare, Modulation Diversity, Resources.

## I. INTRODUÇÃO

Redes de sensores sem fio (RSSFs) consistem em pequenos dispositivos, de baixo consumo de energia e baixo custo, que integram capacidades de processamento, de sensoriamento e de comunicação [1]. As RSSFs podem apresentar um impacto significativo em vários aspectos de cuidados médicos de emergência. Sensores podem ser usados para capturar sinais vitais de pacientes, repassar os dados para dispositivos eletrônicos portáteis utilizados por técnicos em emergência médica, médicos e enfermeiros. Em um evento de desastre em massa, as redes de sensores podem melhorar a habilidade para os primeiros socorros e o tratamento de pacientes [2].

Diversos protocolos disponíveis para telemedicina são baseados no funcionamento de redes de sensores sem fio no espectro não-licenciado. Um problema observado pelas redes que operam nessa parte do espectro é a dificuldade de incrementar a qualidade de serviço (*Quality of Service* – QoS) provida. Atualmente, o espectro não-licenciado tem sido disputado por várias redes. A coexistência de múltiplas redes na mesma faixa espectral impõe desafios, *e.g.*, utilização espectral, segurança e colisões de transmissão, o que configura um problema para sistemas de monitoramento em redes de

cuidados médicos, que devem prover tráfego com requisitos de QoS específicos [3].

O acesso espectral dinâmico é uma abordagem de comunicações de utilização espectral eficaz e promissora para redes de sensores sem fio de múltiplos saltos e com restrições de recursos, devido à sua característica de comunicação por ocorrência de eventos. Por meio do uso de rádios cognitivos o acesso espectral oportunístico pode também auxiliar a implementação e manutenção de múltiplas redes de sensores sobrepostas e a eliminar colisões e atrasos excessivos [4]. O acréscimo das potencialidades do rádio cognitivo em redes de sensores sintetiza um novo paradigma, *i.e.*, rede de sensores de rádio cognitivo (RSRC) [5].

Tecnologias cognitivas podem ser inspiradas pelo comportamento organizado de grupos de insetos [6]. Os sistemas bio-inspirados podem ainda ser estendidos para o projeto de algoritmos de roteamento e para a formação de estruturas hierárquicas em protocolos de controle de acesso ao meio (*Medium Access Control* – MAC). Em [7] os autores testaram a hipótese do “pedômetro”, em que formigas desérticas utilizam um mecanismo de odômetro para otimizar o percurso entre o alimento e o formigueiro. É possível estabelecer um paralelo com a estrutura hierárquica no encaminhamento e relato do *status* de saúde e esses experimentos realizados sobre as manipulações dos comprimentos das pernas das formigas. Esses comprimentos resultam em diferentes velocidades das formigas, o que pode ser traduzido como diferentes prioridades de relato de emergência na rede de cuidados médicos.

Além do projeto das camadas superiores, o desvanecimento causado por múltiplos percursos nas transmissões sem fio aumenta a taxa de perda de pacote. Entretanto, esquemas resilientes a erro para transmissões de dados médicos devem ser desenvolvidos para aumentar a confiabilidade da rede [8]. A diversidade em modulação cooperativa (DMC) pode combater os efeitos nocivos do desvanecimento sem a necessidade de um desperdício de largura de banda ou de energia. A DMC rotaciona o ângulo da constelação do sinal e entrelaça os símbolos das componentes transmitidas [9]. Entre os intervalos de entrelaçamento, o sensoriamento espectral pode ser usado para detectar a presença de usuários com maior prioridade de uso de recursos.

Neste artigo, os autores apresentam um protocolo bio-inspirado e cooperativo, em que as relações entre as diferentes velocidades das formigas desérticas e seus comprimentos de perna são traduzidas para o projeto de uma estrutura hierárquica de uso dinâmico de recursos. Desse modo, pacientes com maior grau de emergência tendem a ter maior prioridade de acesso espectral oportunístico.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção II, as considerações sobre a rede de cuidados médicos são apresentadas; as relações de alocação dinâmica de recursos são descritas na Seção III; a técnica de diversidade em modulação cooperativa com sensoriamento espectral é apresentada na Seção IV; as Seções V e VI são dedicadas à avaliação de desempenho da técnica proposta e às considerações finais do artigo, respectivamente.

## II. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDE

As faixas de frequência licenciadas são denominadas faixas primárias e os nós que possuem licença para operar nessas faixas são denominados usuários primários. Por outro lado, os nós que operam em faixas não-licenciadas (secundárias) são denominados usuários secundários ou cognitivos, pois podem também utilizar, oportunisticamente, as faixas primárias. A mesma analogia é usada para as denominações de rede primária e rede secundária (cognitiva).

A rede de cuidados médicos considerada nesse artigo é composta por nós sensores, com rádio cognitivo associados aos pacientes, que medem os sinais vitais e podem identificar seus graus de emergência. No esquema proposto, os graus de emergência (GE) são classificados em três tipos: GE Baixo, em que o paciente não apresenta risco de morte e seu *status* de saúde pode ser considerado regular; GE Alto, em que o paciente possui alterações em seus sinais vitais e apresenta riscos moderados de morte; e GE Crítico, em que o paciente apresenta um risco expressivo de morte por causa de seu *status* de saúde criticamente irregular. O método usado para gerar um diagnóstico de grau de emergência, baseado nos valores medidos pelos sensores, não é levado em consideração neste artigo, mas diversos estudos relacionados podem ser encontrados em [3], [8], [10].

Todos os pacientes são considerados como nós da rede e são dispostos aleatoriamente sobre uma região. Portanto, diversos nós precisam relatar os GEs correspondentes e as informações dos sinais vitais medidos para uma estação central (sorvedouro), que pode estar conectada a hospitais, clínicas, ou institutos de pesquisa por meio de enlaces de Internet. Neste artigo, apenas o relato a partir dos nós sensores para o sorvedouro é analisado. Os nós compõem grupos e elege líderes de grupo (*cluster-heads*) e vice-líderes de grupo. O processo de agrupamento e eleição é baseado no protocolo LF-Ant [11], [12] e as técnicas apresentadas consideram a operação em cada rodada apenas após essa eleição.

O líder de grupo agrega as informações medidas (e seus graus de emergência) a partir de vários nós internos ao grupo. O vice-líder auxilia o grupo no relato dos casos GE Alto e GE Crítico, sobre as bandas primárias. Esse é o relato de emergência intra-grupo e é considerado livre de erros, ao passo que o encaminhamento inter-grupos está sujeito aos efeitos do desvanecimento dos canais sem fio.

## III. ALOCAÇÃO DINÂMICA DE RECURSOS

As formigas desérticas, *Cataglyphis fortis*, utilizam um modo de reconhecimento de rotas por meio de integração de percursos para monitorar suas posições correspondentes,

relativas ao formigueiro. Isso as habilita a retornar por uma rota direta, em vez de refazer trajetos tortuosos que ocorrem quando buscam por alimento em seu *habitat* desértico [7].

Em redes de cuidados médicos, o relato da informação sensorizada pode ser realizado por diferentes maneiras, usando parâmetros de transmissão diferentes, de acordo com o grau de emergência de um paciente. O protocolo proposto está voltado para o projeto de uma estrutura hierárquica de utilização dinâmica de recursos, que é baseada em experimentos de teste da hipótese de que formigas desérticas medem as distâncias percorridas por meio de um “contador de passos”.

De acordo com esses experimentos, as formigas que se locomoveram para o alimento, por meio de pernas de dimensões normais e tiveram suas pernas modificadas em comprimento, ao chegar ao alimento, devem cobrir uma distância diferente nos seus trajetos de retorno ao formigueiro. Esses experimentos foram realizados pela manipulação dos comprimentos das pernas e, portanto, pela alteração do comprimento dos passos. As formigas com pernas alongadas (implantes) ou com pernas reduzidas (amputadas) apresentaram passos mais largos ou mais curtos, respectivamente, e alteraram a distância percorrida, que foi super-estimada pelas formigas que usaram implantes e sub-estimada pelas formigas amputadas. Além disso, os resultados experimentais indicaram que, após a inclusão de mecanismos de compensação devido aos métodos experimentais usados, as velocidades das formigas foram proporcionais aos comprimentos das pernas [7].

Assim como nas formigas desérticas, usuários diferentes devem alcançar diferentes resultados de desempenho em redes de cuidados médicos. Desse modo, o protocolo MAC e a alocação de recursos devem ser projetados para atender as necessidades de tais redes, de forma a prover qualidade de serviço e utilizar os recursos da rede de maneira eficaz. O esquema de relato de emergência proposto relaciona a alocação de recursos com o grau de emergência dos pacientes. Esses graus são descritos a seguir:

- **GE Baixo** – O relato das informações medidas em um paciente com grau de emergência baixo (GE Baixo) pode ser visto como o caminhar de formigas amputadas, que, sob o domínio da rede, é equivalente ao uso apenas da rede secundária, que apresenta uma alta probabilidade de colisões e baixa qualidade de serviço. Nessa situação, a transmissão possui a menor prioridade, se comparada com o relato de maiores graus de emergência. Quanto menor é a velocidade da formiga, menor é a prioridade para relatar os dados;
- **GE Alto** – O relato de dados de pacientes com grau de emergência alto (GE Alto) apresenta uma prioridade maior e tende a usar mais recursos da rede do que no caso descrito anteriormente. Isso é equivalente aos experimentos que usam formigas sem manipulação nas pernas, que apresentam passos maiores e são mais rápidas do que as formigas amputadas. Pacientes com GE Alto possuem mais direitos de uso de recursos da rede, do que aqueles com GE Baixo, mas apresentam menos direitos do que aqueles com GE Crítico. Eles podem acessar as oportunidades espectrais primárias para transmitir os dados, mas o comprimento do bloco de transmissão

(em *bytes*) é, predominantemente, menor do que nos casos de GE Crítico. Consequentemente, nas transmissões realizadas por nós com GE Alto, existem mais intervalos de sensoriamento espectral, o que habilita a detecção de pacientes com GE Crítico, ou de usuários licenciados. De fato, a representação de quão menor é a precedência de um nó com GE Alto em relação a um nó com GE Crítico é dada por

$$TCB = \frac{CB_A}{CB_C}, \quad (1)$$

em que TCB é a taxa de comprimento de bloco para o uso espectral primário oportunístico,  $CB_A$  é o comprimento do bloco para a transmissão permitida para um nó com GE Alto (sobre um acesso oportunístico) e  $CB_C$  é o comprimento do bloco para a transmissão de dados de um nó com GE Crítico (sobre um acesso oportunístico). Um valor pequeno de TCB indica que nós com GE Alto possuem, continuamente, menor acesso ao espectro primário, em favor de nós com GE Crítico. Por exemplo, se TCB é igual a zero, então isso significa que nós com GE Alto não têm permissão para uso do espectro primário, de maneira oportunística. Nesse caso, todas as oportunidades espectrais detectadas são alocadas para nós com GE Crítico. Por outro lado, se TCB é igual a um, então ambos os nós com GE Alto e Crítico apresentam o mesmo direito de transmissão de dados sobre as bandas primárias.

- **GE Crítico** – As formigas com implante apresentam passos maiores no teste do odômetro. Após a compensação do efeito causado pela cola adicionada às suas pernas, as formigas com implante podem ser caracterizadas pela maior velocidade de trajeto e o relato dos dados de pacientes com GE Crítico pode ser representado pelo movimento dessas formigas. Esses nós possuem a maior prioridade (na rede de cuidados médicos) e devem usar mais recursos de transmissão, ou seja, mais oportunidades espectrais.
- **Usuários Primários** – Apesar de não fazerem parte da rede de cuidados médicos considerada, os usuários primários possuem prioridade absoluta de acesso espectral (nas faixas primárias) e não podem ser prejudicados por um usuário cognitivo.

O roteamento inter-grupos guia a informação agregada pelo líder de grupo. O vice-líder pode cooperar se erros ocorrerem, mas precisa detectar novas requisições de relato de emergência e ser capaz de encaminhar os dados associados a essas requisições. Essa colaboração pode diminuir a taxa de perda de pacote e esse processo é explicado na seção seguinte.

#### IV. DIVERSIDADE EM MODULAÇÃO COOPERATIVA COM SENSORIAMENTO ESPECTRAL

A respeito do comportamento biológico das colônias de formigas, uma transmissão cooperativa pode ser interpretada como uma maneira eficaz de transportar uma grande presa ao ninho, pois formigas que trabalham colaborativamente podem carregar dez vezes a capacidade de uma formiga solitária [13].

No protocolo proposto, essa colaboração entre as formigas é traduzida no uso de uma técnica colaborativa entre os nós de modo a combater os efeitos nocivos do desvanecimento do canal. A diversidade em modulação cooperativa (DMC) explora o ganho de diversidade em um sistema se cada componente do sinal transmitido é afetada pelo desvanecimento do canal de maneira independente. Além disso, para alcançar o ganho máximo de diversidade, quaisquer dois pontos na constelação do sistema precisa ter o máximo número de componentes distintas. A DMC é executada em uma maneira adaptativa, pois só é necessária se erros de transmissão ocorrerem. O próximo salto de transmissão a partir de um líder fonte pode ser realizado em dois estágios: *difusão* e *retransmissão*.

##### A. O Estágio de Difusão

No estágio de difusão, um líder de grupo fonte encaminha a mensagem agregada de seu grupo para um outro líder (de outro grupo), *i.e.*, o líder mais próximo, que é também o próximo salto no processo de roteamento em direção ao nó sorvedouro. O vice-líder recebe o pacote transmitido devido à natureza de difusão do canal sem fio. Os nós sensores restantes do grupo ativam o modo de hibernação e economizam energia. O pacote é transmitido por um esquema de modulação QPSK convencional.

O pacote transmitido possui um CRC em anexo e o receptor (o próximo líder de grupo, ou o candidato a colaborador, ou o nó sorvedouro) o detecta. Uma mensagem de reconhecimento é enviada de volta para o líder fonte. Se o pacote é corretamente recuperado pelo receptor, o líder fonte continua a transmitir novos pacotes e o processo anterior é repetido. Caso contrário, o estágio de retransmissão é iniciado.

##### B. O Estágio de Retransmissão

O vice-líder daquele grupo e o líder fonte retransmitem o pacote utilizando a diversidade em modulação cooperativa. As retransmissões continuam até o pacote ser entregue com sucesso, ou o número de retransmissões exceder  $N_r^{\max}$ , que é um parâmetro pré-selecionado e indica o número máximo de retransmissões permitidas por pacote.

Na diversidade em modulação cooperativa, se uma constelação QPSK é rotacionada por um ângulo específico, um certo tipo de redundância entre os dois canais de quadratura é introduzido e o sistema pode obter vantagem da diversidade obtida. Então, ambos os líderes fonte e vice rotacionam a constelação por um ângulo  $\theta$ . A fase constante  $\theta$  é selecionada de modo que a distância euclidiana entre as constelações do sinal QPSK seja minimizada para ambas as componentes, fase e quadratura [9].

As componentes em quadratura são geradas e entrelaçadas de modo que, após o desentrelaçamento, as duas componentes sejam independentes. Um exemplo do processo de entrelaçamento é apresentado na Tabela I. O primeiro símbolo transmitido pelo líder fonte possui a componente em quadratura do segundo símbolo ( $Q_2$ ), no primeiro intervalo de tempo. Em paralelo, o vice-líder realiza o sensoriamento espectral (SE). No segundo intervalo de tempo, o vice-líder transmite um símbolo com a componente em quadratura do

primeiro símbolo ( $Q_1$ ) e o líder fonte realiza o sensoriamento espectral. Esse mecanismo habilita a detecção de requisições por relato de emergência. Se uma requisição é detectada, o líder fonte e o vice interrompem a cooperação na diversidade em modulação, de modo que o líder fonte passa a transmitir o pacote, por QPSK convencional, e o vice-líder recebe e repassa a informação de relato de emergência.

TABELA I

O PROCESSO DE ENTRELÇAMENTO PARA DOIS SÍMBOLOS. POR MEIO DO SENSORIAMENTO ESPECTRAL É POSSÍVEL DETECTAR REQUISIÇÕES POR RELATOS DE EMERGÊNCIA.

Alocação temporal	Intervalo 1	Intervalo 2
Líder fonte	$Q_2$	$I_1$ SE
Vice-líder	SE	$Q_1$ $I_2$

V. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para avaliar o desempenho da técnica proposta, simulações em Matlab 7 foram realizadas. A rede sensores é composta de 100 nós, que estão distribuídos sobre cinco grupos. Portanto, cinco líderes de grupo e vice-líderes são eleitos a cada rodada. Os nós estão dispostos aleatoriamente em uma área de  $100 \times 100$  metros. O nó sorvedouro está localizado nas coordenadas  $x = 50$  e  $y = 250$  metros. A taxa de transmissão adotada é de 128 kbit/s e o comprimento do pacote gerado em cada nó sensor é de 128 bits.

A probabilidade de um nó apresentar um grau de emergência específico ( $P_{GE}$ ) é distribuída de acordo com três conjuntos diferentes. O primeiro conjunto é denotado C.1 e contém 60 nós dispostos aleatoriamente sobre a rede. O segundo e o terceiro conjunto são denotados C.2 e C.3 e contém 30 e 10 nós, respectivamente. Os valores considerados de  $P_{GE}$  para os três conjuntos estão representados na Figura 1.

As métricas de desempenho avaliadas são o tempo de atraso médio e taxa de perda de pacote. O ângulo de rotação da constelação é selecionado para  $\theta = 27^\circ$ , porque é ótimo para o esquema QPSK [14]. O número máximo de retransmissões é quatro, *i.e.*,  $N_r^{max} = 4$  e um CRC com  $C = 16$  bits é usado. Para as simulações, apesar de identificar oportunidades espectrais ou requisições de relato de emergência, a operação de sensoriamento espectral está restrita ao nível de detecção de resultados em bancos de dados dinâmicos. Ou seja, nenhum método de varredura espectral é adotado, e sim, apenas uma consulta aos bancos de dados que apresentam as oportunidades espectrais e as requisições de relato de emergência.

O tempo de atraso médio (ms) relacionado à probabilidade de acesso oportunístico ( $P_{ao}$ ), considerando os três graus de emergência, é avaliado na Figura 2. Ele diminui à medida que a probabilidade de acesso oportunístico aumenta. Usuários migram da operação na rede secundária para a rede primária, o que alivia a alta concorrência no espectro não-licenciado e melhora a qualidade de serviço por meio do uso do espectro licenciado disponível. Os nós que correspondem a GE Crítico apresentam o melhor desempenho em todos os valores de  $P_{ao}$ . O menor valor de tempo de atraso médio é 7 ms, para  $P_{ao} = 0,8$ .

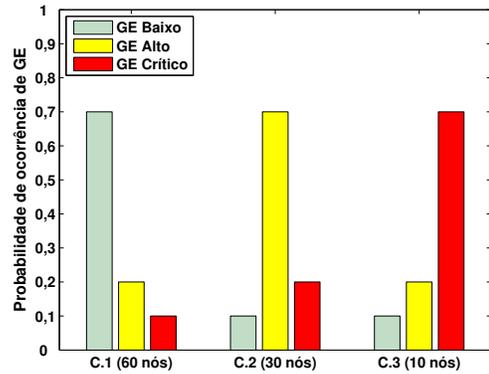


Fig. 1. Distribuição de probabilidade de um nó apresentar um grau de emergência específico.

Os nós com GE Alto apresentam um desempenho intermediário, porque possuem menor prioridade e menor alocação no uso oportunístico do espectro, *i.e.*, nessa simulação a taxa de comprimento de bloco é 0,4. O menor valor alcançado de tempo de atraso médio é 36 ms, para  $P_{ao} = 0,8$ . Os nós com GE Baixo, que são restritos ao uso de recursos da rede secundária, apresentam o pior desempenho, com o menor valor de atraso médio, igual a 58 ms, para  $P_{ao} = 0,8$ . O espectro secundário muito disputado contribui para esse desempenho degradado. Em  $P_{oa} = 0$  os usuários compartilham um desempenho similar correspondente a um atraso de 91 ms (em média). Nesse caso, devido à probabilidade nula de acesso oportunístico, todos os nós da rede estão restritos apenas a usar a rede secundária.

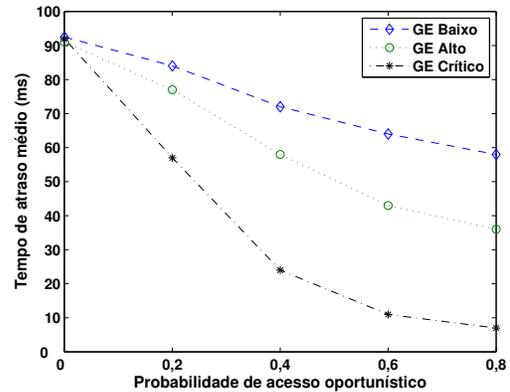


Fig. 2. Tempo de atraso médio como uma função da probabilidade de acesso oportunístico do espectro, sobre uma TCB igual a 0,4.

A Figura 3 mostra a avaliação de desempenho relacionada ao tempo de atraso médio como uma função da taxa de comprimento de bloco, considerando  $P_{oa} = 0,6$ . Os nós com GE Baixo e GE Alto possuem seus desempenhos melhorados à medida que a taxa de comprimento de bloco aumenta. Essa melhoria é mais expressiva em nós com GE Alto, porque eles podem usar continuamente as oportunidades espectrais por períodos mais longos, à medida que o valor da TCB aumenta. Se o mesmo tamanho de bloco é assegurado para nós com GE

Alto e Crítico ( $TCB = 1$ ), então o desempenho desses nós é similar (38 ms e 36 ms, respectivamente). Por outro lado, se a taxa de comprimento de bloco é nula, então apenas nós com GE Crítico são permitidos a usar as oportunidades espectrais na rede primária, o que resulta no menor tempo de atraso médio desses nós (3 ms). Apesar de melhorar o desempenho dos nós com GE Baixo, o incremento da TCB não causa tanto impacto (comparado com as demais classes), *i.e.*, apenas uma variação de 69 ms para 59 ms.

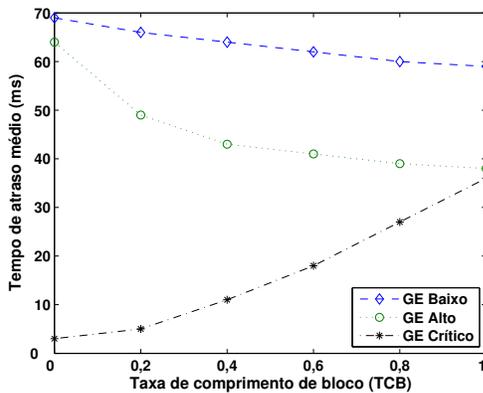


Fig. 3. Tempo de atraso médio como uma função da taxa de comprimento de bloco, sobre  $P_{ao} = 0,6$ .

Os resultados relativos à taxa de perda de pacote (TPP) como uma função da SNR média, para os três casos de emergência considerados, são apresentados na Tabela II, em que  $P_{ao} = 0,6$  e  $TCB = 0,4$ . Uma comparação entre o desempenho das transmissões com diversidade em modulação cooperativa (se necessária) e sem a aplicação dessa técnica também é apresentada. Em todos os casos, os valores de TPP diminuem à medida que a SNR média aumenta, o que é um comportamento esperado. Além disso, quanto maior é o grau de emergência, menor é a TPP. Isso pode ser explicado porque existe um decréscimo no número de colisões pelo uso de faixas espectrais disponíveis, permitido aos nós com GE Crítico e, com as restrições impostas pela taxa de comprimento de bloco, aos nós com GE Alto. O uso da diversidade em modulação cooperativa também melhorou o desempenho da taxa de perda de pacote para os três casos de GE.

TABELA II

TAXA DE PERDA DE PACOTE COMO FUNÇÃO DA SNR MÉDIA.

SNR (dB)	Esquema	GE Baixo	GE Alto	GE Crítico
15	QPSK	0,76	0,62	0,46
	DMC	0,51	0,47	0,38
25	QPSK	0,38	0,29	0,13
	DMC	0,24	0,16	0,09

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes de sensores sem fio para cuidados médicos apresentam diversas potencialidades para o monitoramento de pacientes e para desempenhar relatos de emergência. Entretanto, elas estão sujeitas à alta concorrência pelo acesso ao espectro não-licenciado, o que diminui a qualidade do serviço prestado.

A operação cognitiva utiliza o espectro de maneira mais eficaz e pode melhorar o desempenho das redes de cuidados médicos.

Neste artigo, os autores apresentaram um esquema de alocação dinâmica de recursos inspirada nos experimentos de manipulação de pernas de formigas desérticas. Além disso, a diversidade em modulação cooperativa com sensoriamento espectral foi proposta para atuar de maneira adaptativa e ajudar no combate ao desvanecimento dos canais sem fio. Os resultados de simulação mostraram um decréscimo no tempo de atraso médio necessário para relatar os casos de emergência. Além disso, a taxa de perda de pacote foi também reduzida, principalmente quando a diversidade em modulação cooperativa foi usada.

Pesquisas futuras incluem o estudo do impacto de erros de estimação no desempenho do protocolo proposto, assim como a avaliação do consumo de energia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do IFPB, Iecom, UFCG, UPE, CNPq e Coelba.

## REFERÊNCIAS

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. "Wireless Sensor Networks: a Survey". *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393–422, 2002.
- [2] D. Malan, T. Fulford-Jones, M. Welsh and S. Moulton. "CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care". In *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, 2004.
- [3] S. Feng, Z. Liang and D. Zhao. "Providing Telemedicine Services in an Infrastructure-based Cognitive Radio Network". *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 1, pp. 96–103, 2010.
- [4] M. P. Sousa, R. F. Lopes, W. T. A. Lopes and M. S. Alencar. "Redes Cognitivas: Um Novo Paradigma para as Comunicações Sem Fio". In *Minicursos do XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, edited by C. A. Kamienski, L. P. Gasparly and M. P. Barcellos, chapter 4, pp. 153–197. Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, RS, 2010.
- [5] O. Akan, O. Karli and O. Ergul. "Cognitive Radio Sensor Networks". *IEEE Network*, vol. 23, no. 4, pp. 34–40, 2009.
- [6] Q. Mahmoud. *Cognitive Networks: Towards Self-Aware Networks*. John Wiley and Sons, 2007.
- [7] M. Wittlinger, R. Wehner and H. Wolf. "The Ant Odometer: Stepping on Stilts and Stumps." *Science*, vol. 312, no. 5782, pp. 1965–1967, 2006.
- [8] H. Alemdar and C. Ersoy. "Wireless Sensor Networks for Healthcare: A Survey". *Computer Networks*, vol. 54, pp. 2688–2710, October 2010.
- [9] S. B. Slimane. "An Improved PSK Scheme for Fading Channels". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 47, no. 2, pp. 703–710, 1998.
- [10] J. Ko, C. Lu, M. B. Srivastava, J. Stankovic, A. Terzis and M. Welsh. "Wireless Sensor Networks for Healthcare". *Proceedings of the IEEE*, vol. 98, no. 11, pp. 1947–1960, nov. 2010.
- [11] M. P. Sousa, W. T. A. Lopes and M. S. Alencar. "LF-Ant: A Bio-inspired Cooperative Cross-layer Design for Wireless Sensor Networks". In *Proceedings of the 22nd IEEE Symposium on Personal, Indoor, Mobile and Radio Communications (PIMRC'11)*, pp. 143–147, Toronto, Canada, September 2011.
- [12] M. P. Sousa, W. T. A. Lopes and M. S. Alencar. "Otimização por Colônia de Formigas com Informação Heurística Nebulosa Aplicada a Redes de Sensores sem Fio". In *Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBTr'11)*, Curitiba, PR, Outubro 2011.
- [13] G. Montemayor and J. Wen. "Decentralized Collaborative Load Transport by Multiple Robots". In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'05)*, pp. 372–377, 2005.
- [14] W. T. A. Lopes, F. Madeiro, J. F. Galdino and M. S. Alencar. "Impact of the Estimation Errors and Doppler Effect on the Modulation Diversity Technique". In *Proceedings of the 64th IEEE Vehicular Technology Conference 2006 Fall (VTC'2006Fall)*, pp. 1–5, Montréal, Canada, September 2006.