

# Um Survey de Seleção de Nodos Cooperantes em Abordagens de Comunicação Cooperativa em Redes de Sensores Sem Fio

Suelen M. Laurindo<sup>1</sup>, Carlos Montez<sup>1</sup>, Odilson T. Valle<sup>2</sup>, Ricardo Moraes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Caixa Postal 476 – 88040-900 – Florianópolis – SC – Brazil

<sup>2</sup>Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)  
Campus São José – SC – Brazil

{suelen.m.l}@posgrad.ufsc.br, {montez}@ieee.org, {odilson}@ifsc.edu.br

{ricardo.moraes}@ufsc.br

**Abstract.** *The cooperative diversity is a widely used technique to improve the performance of communications in a Sensor Wireless Network (WSN). The relay selection is a decisive step in the application of this technique. This paper proposes a classification taxonomy of the approaches of relay selection and presents a study of literature, describing the used techniques. The main goal of this paper is to present a general guide to selecting the most appropriate technique for the relay selection, according with the characteristics of the applications.*

**Resumo.** *A diversidade cooperativa é uma técnica muito utilizada para melhorar o desempenho das comunicações em uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF). A seleção de nodos retransmissores é uma etapa decisiva na aplicação desta técnica. Este artigo propõe uma taxonomia de classificação das abordagens de seleção dos nodos cooperantes e apresenta um estudo da literatura, descrevendo as técnicas utilizadas. O objetivo principal deste artigo é apresentar um guia geral para a seleção da técnica mais adequada para a seleção de nodos cooperantes, de acordo com as características das aplicações.*

## 1. Introdução

As primeiras concepções de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) ocorreram em 1998. Estas redes são compostas de diversos dispositivos denominados de nodos, os quais são dispositivos compostos por sensores, processador, memória, fonte de alimentação, rádio e atuador [Yick et al. 2008]. Destaca-se ainda que os nodos são pequenos, simples e apresentam limitações nos recursos computacionais e energéticos. As principais aplicabilidades estão relacionadas com o sensoriamento do ambiente e o repasse dos dados recolhidos através da rede [Buratti et al. 2011].

Os nodos de uma RSSF utilizam radiofrequência para realizar a comunicação, que é a tarefa responsável pelo maior consumo energético [Gungor and Hancke 2009]. Nesta etapa, um nodo consome em média de 25 a 50mA quando está em operação. Já em seu período inativo, quando este não está realizando comunicação, esse consumo diminui para dezenas de  $\mu\text{A}$  [Valle 2014].

O alto consumo energético dos nodos é um problema, pois nem sempre é viável realizar a troca de bateria, já que em aplicações de RSSF os nodos podem se encontrar em áreas de difícil acesso. Por isso, é necessário utilizar os sensores de modo que nem todos precisem estar ativos o tempo todo, assim o consumo de bateria de alguns nodos é poupado, aumentando o tempo de vida da rede [Valle 2014].

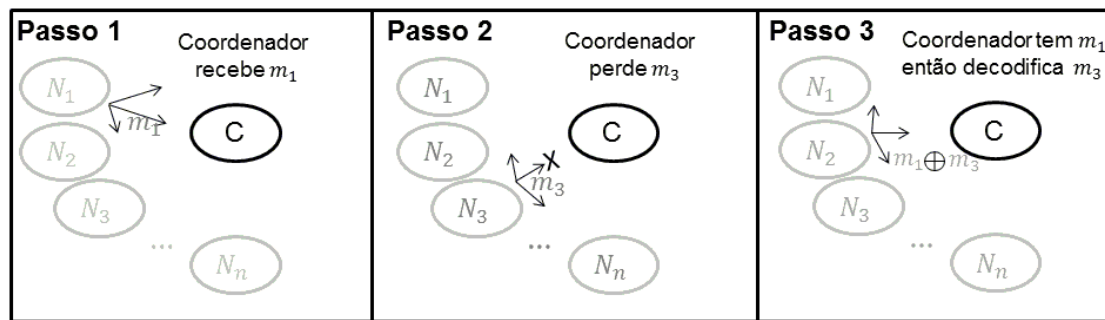
Obstáculos entre os nodos podem gerar interferência ou perda de mensagens durante a comunicação, o que torna essa rede não confiável. Para minimizar este problema pode ser utilizada cooperação entre os nodos [Valle 2014]. Técnicas de diversidade cooperativa têm sido propostas para melhorar o desempenho da rede sem aumentar a complexidade do hardware e ainda promover ganho de diversidade espacial no destino [Wang and Syue 2009]. Estas técnicas permitem a criação de um sistema MIMO-virtual (*multiple-input-multiple-output*), já que a implantação de múltiplas antenas em RSSF geralmente não é uma opção viável, principalmente devido ao tamanho dos nodos e dos recursos energéticos limitados [Wang and Syue 2009].

Ambientes sem fio são projetados para que a transmissão envolva apenas um transmissor e um receptor, podendo o receptor ser o destino ou apenas o próximo nodo em uma rede *multi-hop* [Khan and Karl 2014]. Já na diversidade cooperativa, considera-se a existência de nodos que irão cooperar com o par transmissor-receptor para que o nodo receptor realmente receba o pacote enviado [Khan and Karl 2014]. Este comportamento fornecido pela diversidade cooperativa permite um melhor aproveitamento da própria natureza das transmissões sem fio [Liang et al. 2009], já que a transmissão normalmente é ouvida por nodos vizinhos. Entretanto, em sistemas normais, estes nodos descartam os pacotes que não são destinados a eles [Khan and Karl 2014].

Na retransmissão cooperativa, os nodos estão espacialmente distribuídos e cooperam retransmitindo mensagens, promovendo melhoria na comunicação [Himanshu et al. 2015]. Desta maneira, um nodo escuta o meio e obtêm todas as mensagens que consegue ouvir e as envia para o coordenador. Assim, caso exista um obstáculo entre algum nodo e o coordenador, as mensagens do nodo que não conseguiu comunicação direta serão entregues ao coordenador por meio da cooperação de outros nodos [Valle 2014].

A Figura 1 apresenta uma transmissão utilizando diversidade cooperativa. Nesta Figura é possível visualizar três passos, os nodos  $N_1$  e  $N_3$  desejam enviar uma mensagem para o nodo coordenador. No passo 1, o nodo  $N_1$  envia uma mensagem  $m_1$  em *broadcast*, que é recebida corretamente pelo nodo coordenador e que também é escutada pelo nodo  $N_2$ . No passo 2, o nodo  $N_3$  envia uma mensagem  $m_3$  em *broadcast*, mas que por interferências não foi recebida corretamente pelo nodo coordenador. Entretanto, foi escutada pelo nodo  $N_2$ . No passo 3, o nodo  $N_2$ , que escutou e armazenou as mensagens  $m_1$  e  $m_3$  retransmite estas para o coordenador. O coordenador já possui a mensagem  $m_1$ , e por meio de técnicas de codificação de rede pode recuperar a mensagem  $m_3$ .

O desempenho da retransmissão cooperativa depende fortemente da eficiência do processo utilizado para selecionar um ou mais nodos cooperantes [Jamal and Mendes 2010]. Utilizar todos os nodos como cooperantes permite obter uma grande diversidade cooperativa, mas gera desperdícios de banda e aumenta a dificuldade de sincronização entre os nodos [Wang and Syue 2009]. Por isso um dos principais desafios na retransmissão cooperativa é selecionar um nodo, ou conjunto de nodos, e assim, melhorar eficientemente



**Figura 1. Transmissão com nodos cooperantes.**

a transmissão de dados [Jamal and Mendes 2010].

O foco deste trabalho é apresentar uma visão geral dos diferentes algoritmos de seleção de nodos cooperantes. As principais contribuições deste trabalho são: i) apresentar uma revisão geral do estado da arte das técnicas de seleção de nodos cooperantes em abordagens de comunicação cooperativa em RSSF; ii) propõe uma taxonomia das abordagens de seleção dos nodos cooperantes; e iii) provê um pequeno tutorial para a seleção adequada de técnicas de seleção de nodos cooperantes de acordo com as características das aplicações.

O restante do trabalho está estruturado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada uma revisão do estado da arte sobre a seleção de nodos cooperantes, juntamente com a taxonomia desenvolvida neste trabalho. Na Seção 3 são apresentadas as técnicas descentralizadas citadas na taxonomia. Na Seção 4 são apresentadas as técnicas centralizadas citadas na taxonomia. Na Seção 5 é apresentada uma síntese do estado da arte e finalmente na Seção 6 são apresentadas as conclusões.

## 2. Seleção de nodos Cooperantes

Em um sistema que utiliza cooperação em sua comunicação, os nodos transmitem seus dados e cooperam transmitindo dados de outros nodos [Valle 2014]. Mas, simplesmente inserir um número maior de sensores na rede e deixar que os nodos cooperantes sejam escolhidos arbitrariamente apresenta baixa eficiência. Atualmente estudos estão sendo realizados buscando encontrar a melhor técnica de seleção de nodos cooperantes [Wang and Syue 2009].

O desempenho de sistemas que utilizam cooperação pode ser melhorado se os nodos cooperantes forem otimamente selecionados. Este fato proporciona grande investigação no desenvolvimento de técnicas de seleção de nodos retransmissores [Etezadi et al. 2012]. Para realizar esta seleção é necessário considerar quais os critérios de seleção que serão utilizados. Exemplo de critérios encontrados na literatura são: eficiência energética de cada nodo, indicador da potência do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*) em relação ao coordenador ou entre os próprios nodos, seleção por vizinhança (Topologia), estado do canal (CSI - *Channel State Information*), relação sinal- ruído (SNR - *Signal-to-noise ratio*), erros de transmissão (PER - *Packet-Error-Rate*) ou a combinação destes parâmetros [Liu et al. 2015].

É importante ressaltar que os algoritmos encontrados na literatura podem ser

classificados em duas grandes categorias: centralizados e descentralizados. As técnicas centralizadas fornecem um bom desempenho, mas não são recomendadas para redes de larga escala, pois o algoritmo de seleção será executado em um único nó, e, para isto, o nó deverá obter todos os parâmetros dos outros nós da rede. Entretanto para receber estes parâmetros utilizará o meio de transmissão, o que comprometerá o monitoramento dos sensores, gerando sobrecarga. Já nas técnicas descentralizadas cada nó toma a decisão se será ou não cooperante, sem gerar sobrecarga na rede. Entretanto, diminui o desempenho da rede, pois nesta técnica as seleções de nós retransmissores podem falhar se ocorrer um processo de seleção mal sucedido [Feng et al. 2013]. Neste artigo propõe-se a taxonomia apresentada na Figura 2 para a classificação dos métodos de seleção dos nós cooperantes e nas próximas seções são descritos os trabalhos encontrados na literatura com base nesta taxonomia.

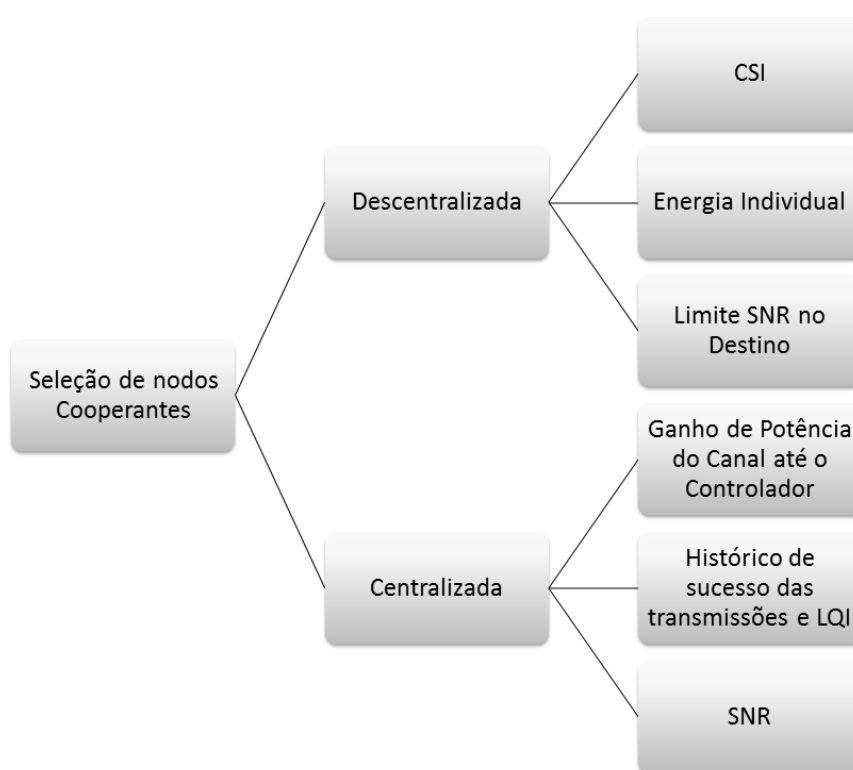
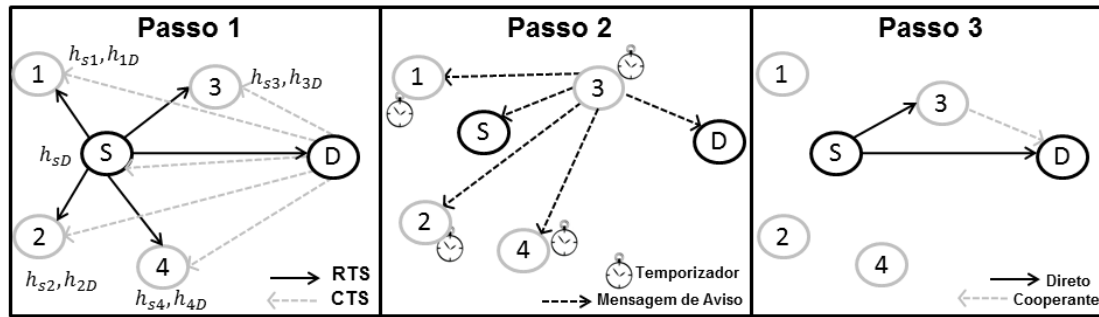


Figura 2. Taxonomia seleção de nós cooperantes.

### 3. Técnicas Descentralizadas

#### 3.1. CSI - *Channel State Information*

De modo geral, nesta abordagem assume-se que os potenciais nós cooperantes podem ouvir a sequência de mensagens de *Handshaking Request-to-Send (RTS)* e *Clear-to-Send (CTS)* (Figura 3 - Passo 1) entre o transmissor e o receptor indicando o início de uma transmissão. Então, cada potencial nó cooperante estima a condição do canal (CSI) do nó transmissor até o nó cooperante ( $h_{s,i}$ ) e do nó cooperante até o destino ( $h_{i,d}$ ). A estimativa do CSI é baseada na variação da intensidade dos sinais de recebimento dos frames RTS/CTS. Após estimar o CSI, cada nó cooperante define um limite de tempo



**Figura 3. Etapas para estimar a condição do canal.**

Fonte: adaptado de [Chen et al. 2006].

com um valor inverso ao do valor estimado no CSI. Este valor funciona como um *Back-off*, assim, o nodo com menor tempo de espera torna-se o nodo cooperante. Os outros nodos ainda estão em modo de escuta, assim o nodo selecionado como cooperante irá enviar uma mensagem informando os outros nodos que o cooperante já foi selecionado (Figura 3 - Passo 2). Para evitar casos onde nodos podem estar fora do alcance, os nodos transmissor e o receptor podem anunciar que o nodo cooperante foi selecionado. E então o nodo selecionado pode cooperar na transmissão (Figura 3 - Passo 3) [Bletsas et al. 2006].

### 3.2. Energia individual

A economia de energia é um fator importante quando se lida com dispositivos onde a energia da bateria é limitada, como no caso dos nodos de uma RSSF. Os autores Chen et al. (2006) propuseram uma seleção de nodos cooperantes *power-aware* (PARS) utilizando como base o modelo oportunista de Bletsas et al. (2006), com o objetivo de maximizar o tempo de vida da rede. A proposta destes é dividida em duas etapas. A primeira é a alocação ótima de energia (OPA) e a segunda é a seleção de nodos cooperantes, como é explicado abaixo:

*Etapa 1 alocação ótima de energia (OPA):* Todos os potenciais nodos cooperantes irão executar o algoritmo OPA utilizando como base as medições do canal obtidas por meio das mensagens RTS/CTS, com o objetivo de diminuir o consumo total de energia da transmissão, dada uma determinada taxa de transmissão. Como resultado do algoritmo, cada nodo cooperante irá obter a energia de transmissão ótima tanto para o transmissor quanto para cada nodo cooperante  $i$ . A solução obtida usando método de multiplicadores de Lagrange<sup>1</sup> é aplicada nos esquemas *Amplify-and-Forward* (AF) e *Decode-and-Forward* (DF).

*Etapa 2 seleção de nodos cooperantes:* A técnica proposta PARS realiza a seleção dos nodos utilizando como base a ideia de temporizadores proposta na seleção oportunista de Bletsas et al. (2006). Entretanto, não utiliza diretamente as medições do canal para estabelecer o limite do temporizador, mas sim o resultado do OPA, que é o consumo mínimo de energia necessário para a transmissão do par, nodo transmissor e nodo cooperante, e também o nível de energia residual do nodo transmissor e de cada nodo cooperante. Adicionalmente, os autores propuseram outros três critérios, onde cada um

<sup>1</sup>O método dos multiplicadores de Lagrange permite encontrar extremos (máximos e mínimos) de uma função de uma ou mais variáveis suscetíveis a uma ou mais restrições.

dos critérios corresponde a um conjunto de valores iniciais para o temporizador do nodo origem e para o temporizador de cada potencial nodo cooperante.

O critério I tem como foco minimizar a energia total da transmissão e necessita apenas dos resultados do OPA. Os critérios II e III tentam maximizar a energia residual de cada nodo, ou seja, tentam manter de maneira aproximada a energia residual em cada nodo. E assim como no método oportunista o nodo com o temporizador que expirar primeiro será selecionado como cooperante. Mas nesta abordagem, o nodo origem também possui um temporizador e caso este expire primeiro significa que não há necessidade de cooperantes. Quando um nodo é selecionado como cooperante, este notifica os outros nodos da rede por meio de uma mensagem informando que um nodo cooperante foi selecionado.

### 3.3. Limite de SNR no destino

Os autores Amarasuriya et al. (2010) propuseram o esquema de seleção OT-MRS (*Output-Threshold Multiple Relay Selection*). Este esquema permite selecionar mais de um nodo cooperante se necessário. Considera-se uma rede com  $L + 2$  nodos, na qual um nodo é origem, um nodo é destino e  $L$  nodos são retransmissores. O esquema seleciona os  $n$  primeiros  $L_c$  (o número de cooperantes é determinado com a normalização do limite SNR) nodos cooperantes não ordenados ( $1 \leq L_c \leq L$ ), onde combina o SNR das retransmissões com o SNR da transmissão do link direto para verificar se excede o limite SNR predefinido. Este limite de SNR pode ser escolhido para ser o mínimo SNR requerido para decodificar com sucesso um dado esquema de modulação. Este esquema é dividido em duas fases:

*1ª fase:* o destino  $D$  recebe o sinal transmitido pela origem durante a fase de *broadcast*.

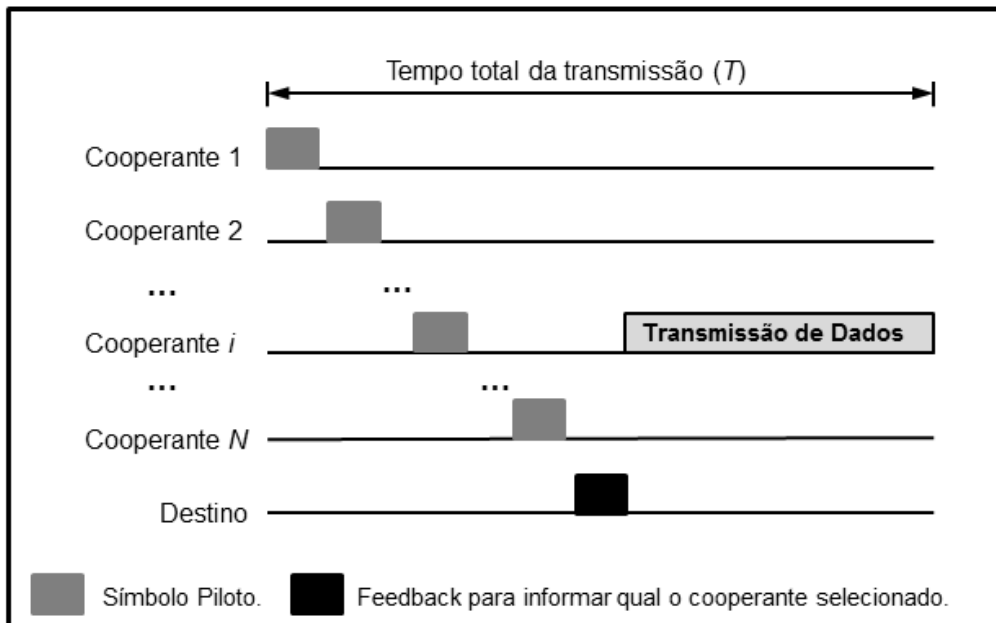
*2ª fase:* o primeiro *relay* retransmite a versão amplificada da mensagem para o destino  $D$  no primeiro *time slot* da fase de retransmissão (este esquema utiliza alocação de canal por divisão de tempo com  $L_c$  *time slots*). Então,  $D$  combina este sinal com o sinal recebido direto da origem (link direto) por meio do método de MRC (*Maximum-Ratio Combining*). Se o SNR de saída do combinador for superior ao limite, não é necessário que os outros nodos cooperantes retransmitam. Caso contrário, os nodos retransmissores restantes serão selecionados nos *time slots* seguintes até que a saída cumulativa do SNR seja superior ao limite.

## 4. Técnicas Centralizadas

### 4.1. Ganho de potência do canal com o nodo Controlador

Os autores Feng et al. (2013) propuseram um método centralizado chamado *Centralized Feedback-Based Relay Selection* (FBRS), neste método o nodo origem envia uma mensagem em uma transmissão *broadcast*, para que todos os nodos possam ouvir. Os nodos que conseguirem ouvir a mensagem irão enviar um símbolo piloto para o nodo destino (Figura 4), pois este método utiliza o nodo destino como um controlador central que realiza a seleção do nodo cooperante. Este controlador irá escolher o nodo que apresente o maior ganho de canal para ser o nodo cooperante.

O controlador irá obter a informação global dos canais, por meio dos símbolos piloto enviados por cada nodo candidato a cooperante, os símbolos piloto são conhecidos



**Figura 4. Transmissão do símbolo piloto.**

Fonte: [Feng et al. 2013].

por todos os nodos da rede, e por meio destes o nodo destino pode obter as estimativas dos canais, os autores assumem que por meio dos símbolos piloto o destino obtém conhecimento sobre o perfeito ganho de potência do canal. Então o nodo destino seleciona o nodo cooperante que apresente o melhor ganho e notifica este, assim o nodo cooperante retransmite a mensagem que a origem enviou.

#### 4.2. Seleção Oportunista

Valle (2014) propôs uma seleção oportunista de nodos cooperantes baseada no histórico de sucesso das transmissões e no LQI (*Link quality indicator*) entre cada nodo e o coordenador, valor este medido no coordenador. Para descobrir quais os melhores nodos cooperantes dentre os candidatos o autor propôs a seguinte equação:  $CN_i = \frac{SR_i + LQI}{2}$ ; onde,  $i$  representa cada nodo na rede,  $SR$  é o índice histórico da taxa de sucesso nas transmissões recentes e o LQI é o indicador de qualidade do enlace entre o nodo e o coordenador.

Os nodos que apresentarem os maiores  $CN_i$  serão selecionados como cooperantes, para determinar quantos nodos serão cooperantes o autor utilizou o percentual de perdas de mensagens na rede, assim o número de cooperantes é determinado dinamicamente. O coordenador notifica os nodos cooperantes por meio de uma mensagem especial na qual o autor chamou de *Blocop*, e então os nodos selecionados como cooperantes irão armazenar todas as mensagens que são enviadas por todos os nodos durante cada um dos  $T$  compartimentos (onde  $T$  é o número total de compartimentos no período de transmissão), após o término dos  $T$  compartimentos, os nodos cooperantes irão codificar as mensagens que estão em seus *buffers* e aguardarão até o seu compartimento para realizar a retransmissão da mensagem.

### 4.3. SNR - *Signal-to-noise ratio*

Luo et al. (2015) propuseram um esquema de seleção de nodo cooperante baseado na média do SNR do link do nodo candidato a cooperante até o nodo destino. Os autores consideram que os nodos que receberam a mensagem do nodo origem e conseguiram decodificá-las fazem parte do grupo decodificadores, que seria o grupo de candidatos a nodos cooperantes. Para cada transmissão realizada pelo nodo origem, os nodos pertencentes ao grupo decodificadores devem enviar para o nodo origem o seu SNR médio até o destino, assim o nodo origem irá selecionar o nodo com o maior SNR médio e irá informar todos os nodos do grupo por meio de uma mensagem *broadcast* que o nodo cooperante foi selecionado. Então o nodo cooperante irá retransmitir a mensagem para o nodo destino.

## 5. Síntese do Estado da Arte

Uma abordagem de seleção de nodos cooperantes adequada permite atingir um melhor ganho de diversidade cooperativa, melhorando o desempenho da transmissão [Abdulhadi et al. 2012]. Para a escolha adequada da abordagem a ser utilizada é necessário analisar qual será a aplicação da rede, e assim tomar a primeira decisão: usar técnicas centralizadas ou descentralizadas. Se o número de nodos é pequeno ou a rede é estática, o efeito de sobrecarga para sistemas centralizados torna-se insignificante [Feng et al. 2013], e assim técnicas centralizados podem ser utilizadas. Por outro lado, se há muitos nodos na rede ou a rede é dinâmica, as técnicas descentralizados são as abordagens mais recomendadas, devido a menor quantidade de sobrecarga gerada. Nesse sentido, a taxonomia proposta tem o objetivo de auxiliar os projetistas de sistemas a encontrar a técnica ou as técnicas mais adequadas para o seu caso.

Baseado na taxonomia proposta selecionamos algumas características das técnicas apresentadas, que podem ser vistas na Tabela 1 .

**Tabela 1. Características das Técnicas de Seleção de Nodos Cooperantes.**

TÉCNICAS	BAIXO OVERHEAD	SELEÇÃO DE MÚLTIPLOS NODOS	MAXIMIZAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA REDE	REDUÇÃO DE FALHAS NAS TRANSMISSÕES
CSI	✓			✓
Energia Individual	✓		✓	✓
Limite de SNR no Destino	✓	✓		✓
Ganho de Potência com o nodo Controlador				✓
Seleção Oportunista	✓	✓		✓
SNR				✓

Na Tabela 1 é possível verificar que as técnicas CSI, Energia Individual, Limite de SNR no Destino e Seleção Oportunista apresentam a vantagem de não gerar elevado overhead na rede e reduzem as falhas nas transmissões. As técnicas Limite de SNR no Destino e Seleção Oportunista permitem que mais de um nodo cooperante seja selecionado, sendo que as demais selecionam apenas um cooperante. A técnica Energia Indivi-



dual proporciona a maximização da vida útil da rede e a técnica SNR também proporciona redução nas falhas nas transmissões.

## 6. Conclusões

A seleção de nodos retransmissores é um ponto importante quando se trata de maximizar o ganho de diversidade cooperativa em redes de sensores sem fio. Diferentes técnicas de seleção de nodos cooperantes, cada uma delas com objetivos específicos, são propostas na literatura. Este artigo apresentou um amplo estudo das técnicas de seleção de nodos cooperantes, propondo uma taxonomia de classificação para a seleção de nodos retransmissores. Esta taxonomia é baseada em abordagens centralizadas e descentralizadas. Por fim, destaca-se que foram apresentadas algumas características das técnicas estudadas, as quais foram resumidas neste trabalho.

A seleção das técnicas deve ocorrer de acordo com as exigências estabelecidas pelos projetistas da rede, levando em consideração as características de cada técnica e, principalmente, a aplicação alvo. Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar e propor técnicas de seleção de nodos cooperantes para diversos tipos de aplicações. As técnicas propostas considerarão um número maior de variáveis para a escolha dos nodos cooperantes, tais como: o número de nodos vizinhos, a energia restante dos nodos, etc.

## 7. Agradecimentos

Este trabalho teve o auxílio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil (400508/2014-1, 445700/2014-9) e CAPES.

## Referências

- Abdulhadi, S., Jaseemuddin, M., and Anpalagan, A. (2012). A Survey of Distributed Relay Selection Schemes in Cooperative Wireless Ad hoc Networks. *Wireless Personal Communications*, 63(4):917–935.
- Amarasuriya, G., Ardakani, M., and Tellambura, C. ((2010)). Output-threshold multiple-relay-selection scheme for cooperative wireless networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(6):3091–3097.
- Bletsas, A., Khisti, A., Reed, D. P., and Lippman, A. (2006). A simple cooperative diversity method based on network path selection. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(3):659–672.
- Buratti, C., Martalò, M., Ferrari, G., and Verdone, R. (2011). *Sensor Networks with IEEE 802.15.4 Systems*. Signals and Communication Technology. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1 edition.
- Chen, Y., Yu, G., Qiu, P., and Zhang, Z. (2006). Power-Aware Cooperative Relay Selection Strategies in Wireless Ad Hoc Networks. *IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pages 1–5.
- Etezadi, F., Zarifi, K., Ghayeb, A., and Affes, S. (2012). Decentralized Relay Selection Schemes in Uniformly Distributed Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 11(3):938–951.

- Feng, H., Xiao, Y., and Cimini, L. J. (2013). Spectral Efficiency of Centralized and Decentralized Cooperative Networks with Relay Selection. In *MILCOM 2013 - 2013 IEEE Military Communications Conference*, volume 3, pages 7–12. IEEE.
- Gungor, V. and Hancke, G. (2009). Industrial wireless sensor networks: challenges, design principles, and technical approaches. *IEEE Transactions on Industrial*, 56(10):4258–4265.
- Himanshu, K., Ashutosh, R., and Rupali, A. (2015). Cooperative Communication: A Review. *IETE Technical Review*, 5:1–10.
- Jamal, T. and Mendes, P. (2010). Relay selection approaches for wireless cooperative networks. In *2010 IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pages 661–668. IEEE.
- Khan, R. A. M. and Karl, H. (2014). MAC Protocols for Cooperative Diversity in Wireless LANs and Wireless Sensor Networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1):46–63.
- Liang, X., Balasingham, I., and Leung, V. C. M. (2009). Cooperative Communications with Relay Selection for QoS Provisioning in Wireless Sensor Networks. In *GLOBECOM 2009 - 2009 IEEE Global Telecommunications Conference*, pages 1–8. IEEE.
- Liu, L., Hua, C., Chen, C., and Guan, X. (2015). Relay Selection for Three-Stage Relaying Scheme in Clustered Wireless Networks. *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 64(6):2398–2408.
- Luo, J., Blum, R., Cimini, L., Greenstein, L., and Haimovich, A. (2005). Link-Failure Probabilities for Practical Cooperative Relay Networks. In *2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference*, volume 3, pages 1489–1493. IEEE.
- Valle, O. T. (2014). *Codificação de Rede na Retransmissão Oportunista De Mensagens Em Redes de Sensores Sem Fio*. PhD thesis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Wang, C.-L. and Syue, S.-J. (2009). An Efficient Relay Selection Protocol for Cooperative Wireless Sensor Networks. In *2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 1–5. IEEE.
- Yick, J., Mukherjee, B., and Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12):2292–2330.