

# Protocolo de Roteamento Híbrido Baseado em Emissor e em Receptor para Redes de Sensores Sem Fio

Gabriel F. C. Novy<sup>1</sup>, Max V. Machado<sup>1</sup>,  
Fátima L. P. D. Figueiredo<sup>1</sup>, Raquel A. F. Mini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência da Computação – PUC Minas

`gabrielnovy@yahoo.com.br,`

`{maxm, fatimafig, raquelmini}@pucminas.br`

**Abstract.** *In Wireless Sensor Networks (WSNs), sensor nodes detect events in the environment and send them to sink nodes, which process these events. Due to the small size of the nodes, the main constraint of a WSN is related to the energy consumption. Communication Protocols based on sender and receiver have advantages and disadvantages in certain scenarios. As a WSN may change over time, a protocol capable of adapting to environmental conditions can increase the lifetime of the network. This paper presents a hybrid routing protocol that operates based on sender and receiver approaches. The protocol has been implemented in NS-2 simulator and compared to approaches based on sender and receiver operating alone. Results showed that the hybrid approach achieves high delivery rates performing fewer of transmissions.*

**Resumo.** *Em Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs), nós sensores detectam eventos no ambiente e os enviam para nós sorvedouros, que realizam o processamento desses eventos. Devido ao tamanho reduzido dos nós, a maior restrição de uma RSSF é em relação ao consumo de energia. Protocolos de comunicação baseados em emissor e em receptor possuem, cada um, vantagens e desvantagens em determinados cenários. Como uma RSSF pode sofrer alterações ao longo do tempo, um protocolo capaz de se adaptar às condições do ambiente pode aumentar o tempo de vida da rede. Este trabalho apresenta um protocolo de roteamento híbrido que opera segundo abordagens baseadas em emissor e em receptor. O protocolo foi implementado no simulador NS-2 e comparado com as abordagens baseadas em emissor e em receptor operando sozinhas. Os resultados mostraram que a abordagem híbrida consegue alcançar altas taxas de entrega realizando reduzidos números de transmissões.*

## 1. Introdução

As RSSFs são compostas por nós sensores, que realizam a detecção de eventos e por um nó sorvedouro. A comunicação entre os nós, através de salto, é a maior responsável pelo consumo de energia. Os nós são dispositivos de tamanho reduzido, com reduzida capacidade de processamento, memória, comunicação e energia. Sabendo que a comunicação entre os nós é o processo que mais consome energia, reduzi-la é fundamental.

A camada *Medium Access Control* (MAC) controla o acesso ao meio, detecta e corrige colisões e controla os ciclos operacionais e de trabalho de um nó. O ciclo

operacional é a divisão do tempo em intervalos periódicos de atividade e dormência do nó. Nos períodos de atividade, o nó permanece com o rádio ligado para realizar transmissões, recepções e escuta na rede. Nos momentos em que o nó permanece dormindo, o seu rádio é desligado para economizar energia. O percentual de tempo em que o nó permanece acordado durante o ciclo operacional é definido como ciclo de trabalho.

Uma questão importante no projeto de protocolos de rede em RSSFs é a forma com que a camada de rede determina o próximo nó da rota. Duas abordagens possíveis para realizar essa escolha são a baseada em emissor e a baseada em receptor. Nos protocolos baseados em emissor o nó transmite o pacote para um vizinho escolhido, que se torna responsável pelo encaminhamento. Por outro lado, nos baseados em receptor o nó envia o pacote para todos os vizinhos e cada vizinho decide se deve ou não propagá-lo.

Uma diferença fundamental entre as duas abordagens de envio de pacotes é o conhecimento dos nós vizinhos. Na abordagem baseada em emissor existe o custo de se conhecer os vizinhos. A abordagem baseada em receptor não possui esse custo de conhecimento. No entanto, por não conhecer os vizinhos, o nó pode ter que realizar várias retransmissões de um pacote até que um vizinho realize o encaminhamento. Cada abordagem é adequada a um cenário. Por exemplo, quando existem poucos pacotes a serem enviados, o ideal é utilizar a abordagem baseada em receptor. O custo gerado pelo conhecimento dos vizinhos pode não compensar a redução alcançada no número de retransmissões quando utilizada a abordagem baseada em emissor. No entanto, o cenário de uma RSSF nem sempre é estático. A movimentação dos nós vizinhos, a movimentação do nó sorvedouro, falhas de nós vizinhos, utilização de ciclos de trabalho, morte de nós e inserção de novos nós na rede são alguns eventos que fazem com que os ambientes de RSSFs sejam dinâmicos. A utilização de um protocolo que opere segundo uma única abordagem pode não ser o ideal para um ambiente dinâmico. Por isso, o ideal é a rede operar com um protocolo que se adapte às mudanças que ocorrem ao longo do tempo.

O objetivo deste trabalho foi a construção de um protocolo de roteamento híbrido, capaz de operar segundo as abordagens baseadas em emissor e em receptor. O protocolo proposto avalia, em tempo real, o estado da rede e realiza o chaveamento entre as abordagens. Para a construção do protocolo, foram identificados os cenários em que cada abordagem possui melhor desempenho. Essa identificação serviu como base para modelar o comportamento do protocolo híbrido, auxiliando o protocolo a realizar a troca entre as duas abordagens de comunicação.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma discussão sobre os principais trabalhos relacionados ao trabalho proposto. A seção 3 apresenta o protocolo proposto. A seção 4 apresenta os resultados de simulação. A seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

Um grande número de protocolos híbridos de camada MAC utilizam as abordagens de reserva de *slots* e escuta ociosa para realizar o acesso ao meio. O STC-MAC [Tan et al. 2009] agrupa os nós da rede em regiões, em que um nó é eleito para ser o nó mestre e intermediar a comunicação entre os nós. A comunicação dentro das regiões utiliza a abordagem de reserva de *slots* enquanto que a comunicação entre os nós mestre é utiliza a abordagem de escuta ociosa. Diferente do STC-MAC, o IH-MAC

[Arifuzzaman et al. 2011] decide qual abordagem utilizar baseado na latência do pacote. O protocolo proposto em [Bithas et al. 2012] determina qual abordagem utilizar baseado no fluxo de pacotes na rede. Se o fluxo é elevado é utilizada a abordagem de reserva de *slots*. Senão, o acesso ao meio é feito através de escuta ociosa.

Protocolos de rede híbridos costumam utilizar as abordagens com e sem tabelas de roteamento para realizar a decisão de escolha de um vizinho. O protocolo ZRP [Haas and Pearlman 2001] utiliza tabelas de roteamento para regiões próximas do nó e requisições de rotas quando um pacote deve ser enviado para um nó de fora da área. Como proposta de melhoria do ZRP, o SHARP [Ramasubramanian et al. 2003] altera as dimensões das regiões em função do fluxo de pacotes na rede. O protocolo proposto em [Safdar et al. 2012] é outra extensão do ZRP em que a dimensão das regiões é alterada com base na velocidade de movimentação do nó sorvedouro. O Multi [Figueiredo et al. 2007] é um protocolo de rede híbrido que possui um método de predição de fluxo para alterar o seu funcionamento. Com fluxo reduzido, é utilizada a abordagem de requisição de rota para envio de um pacote. Quando o fluxo é elevado, é criada uma infraestrutura de tabelas de roteamento para enviar os pacotes. O protocolo proposto em [Chen et al. 2010] faz uma reserva de nós para elevar o tempo de vida da rede. Nós ativos utilizam comunicação com tabelas de roteamento. Quando é necessário utilizar os nós inativos, a comunicação com eles é feita utilizando a abordagem de requisição de rota.

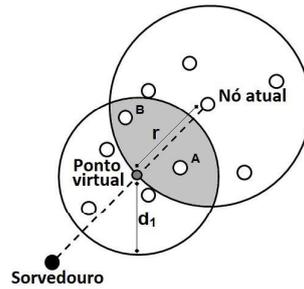
### 3. Protocolo Híbrido Baseado em Emissor e em Receptor

#### 3.1. Definição de Rota

Um protocolo de roteamento deve determinar o próximo salto de um pacote. Para isso, deve existir um método que determine uma rota até o destino. No protocolo proposto, a rota definida é uma linha reta entre o nó emissor e o sorvedouro. Vizinhos próximos à rota são chamados de vizinhos candidatos e podem participar do encaminhamento. Para determinar os vizinhos candidatos, primeiramente é traçada uma reta virtual entre o nó e o sorvedouro. Nessa reta, é determinado um ponto virtual que se localiza a uma distância  $r$  do nó, sendo  $r$  o raio de comunicação. Todos os vizinhos que estão a uma distância menor ou igual a  $d_1$  do ponto virtual são nós candidatos a encaminhar o pacote. Essa política é utilizada nas abordagens baseada em emissor e em receptor. No entanto, na abordagem baseada em emissor, um vizinho candidato é escolhido para encaminhar o pacote. Na abordagem baseada em receptor, o pacote é enviado a todos os vizinhos. O primeiro vizinho candidato que receber o pacote realiza o encaminhamento. A Figura 1 apresenta um cenário de exemplo. Nesse caso, somente os nós A e B podem encaminhar o pacote. Vizinhos que estão fora do raio de comunicação não podem ser candidatos e o raio de comunicação deve ser maior ou igual à distância  $d_1$ . Caso contrário, há a chance de serem escolhidos vizinhos que estão mais distantes do sorvedouro que o nó que está enviando o pacote, fazendo com que o pacote não seja entregue, pois podem sempre ser selecionados vizinhos cada vez mais distantes do nó sorvedouro.

#### 3.2. Abordagem Baseada em Emissor

Quando a abordagem utilizada é a baseada em emissor, o nó deve conhecer os seus vizinhos para, então, escolher um deles para encaminhar um pacote. Para conhecer os vizinhos, o nó envia pacotes de atualização com informações das suas coordenadas, as coordenadas



**Figura 1. Exemplo de vizinhos candidatos a encaminhar um pacote.**

do ponto virtual, o seu ciclo de trabalho e em qual momento do ciclo operacional se encontra. Ao receber um pacote de atualização, o vizinho verifica se é um vizinho candidato. Os nós que são vizinhos candidatos respondem enviando, também, pacotes de atualização com as suas informações. Após conhecer os seus vizinhos, quando um nó decide encaminhar um pacote utilizando a abordagem baseada em emissor, ele procura na sua lista de vizinhos por um que esteja acordado. Caso o vizinho escolhido esteja acordado, o pacote é transmitido imediatamente. Caso contrário, é escalonada uma transmissão para o momento em que o vizinho escolhido esteja acordado. Ao receber um pacote, o vizinho, imediatamente, envia um pacote *ack* para confirmar o recebimento e evitar possíveis retransmissões.

Para determinar o custo estimado do número de pacotes a serem enviados quando utiliza a abordagem baseada no emissor, o protocolo assume que o cada nó sabe a taxa de envio de pacotes e o período de tempo que irá durar o envio de pacotes. Assim, o custo total estimado é dado pelo custo de descoberta de vizinhos somado ao custo de envio dos pacotes, apresentado na equação 1, em que *ciclo* é o ciclo de trabalho atual e  $n_{viz}$  é o número total de vizinhos,  $\Delta_c$  é o intervalo de envio de pacotes e  $taxa_{envio}$  é a taxa de envio de pacotes. O número de pacotes de atualização é inversamente proporcional ao período acordado de nó, pois caso o nó permaneça acordado durante um curto período de tempo, a probabilidade de um pacote ser recebido é reduzida. Por isso, o número de envios de pacotes de atualização deve ser elevado para aumentar a probabilidade de recebimento do pacote. Por sua vez, o custo de envio dos pacotes estima a quantidade de transmissões que serão realizadas para se enviar todos os pacotes. A constante 2 multiplica o número de pacotes por causa de cada pacote *ack* que é transmitido.

$$custo_{emissor} = \left( \left\lceil \frac{1}{ciclo} \right\rceil \times n_{viz} \right) + (2 \times \Delta_c \times taxa_{envio}) \quad (1)$$

### 3.3. Abordagem Baseada em Receptor

Quando é utilizada a abordagem baseada em receptor, não existe uma infraestrutura de conhecimento. Por isso, o pacote é enviado para todos os vizinhos em *broadcasting*. Por não conhecer os vizinhos, é determinado um número máximo de retransmissões que devem ser feitas. Em seguida é iniciado o processo de retransmissões. Durante o processo, um vizinho candidato pode receber o pacote e enviar um *ack*. Ao receber o pacote de confirmação, as retransmissões são canceladas. Caso sejam realizadas todas as retransmissões o pacote é descartado.

O custo estimado do número de pacotes a serem enviados quando é utilizada a abordagem baseada em receptor é dado apenas pelo custo estimado de transmissão dos pacotes. Esse custo é apresentado na equação 2 em que o inverso do produto do ciclo de trabalho pelo número de candidatos  $\left(\left\lceil \frac{1}{\text{ciclo} \times n_{\text{viz}}} \right\rceil\right)$  determina a média de quantas retransmissões serão realizadas até que um vizinho candidato receba o pacote. Quanto maior a quantidade de vizinhos candidatos, menor a quantidade de retransmissões que serão feitas. A quantidade de retransmissões é somada à constante 1 que representa o pacote *ack* que será enviado pelo vizinho que encaminhará o pacote. O produto do período de tempo de coleta de dados pela taxa de envio de pacotes  $(\Delta_c \times \text{taxa}_{\text{envio}})$  determina quantos pacotes serão enviados.

$$\text{custo}_{\text{receptor}} = \left( \left\lceil \frac{1}{\text{ciclo} \times n_{\text{viz}}} \right\rceil + 1 \right) \times (\Delta_c \times \text{taxa}_{\text{envio}}) \quad (2)$$

O processo de envio de pacotes na abordagem baseada em receptor é semelhante ao processo de descoberta de vizinhos da abordagem baseada em emissor. Como não há o conhecimento dos vizinhos, o pacote deve ser retransmitido diversas vezes. No processo de descoberta de vizinhos, o pacote é retransmitido quantas vezes forem estipuladas. Na abordagem baseada em receptor, inicialmente, a quantidade estipulada de retransmissões é a mesma, ou seja, o inverso do ciclo de trabalho. Mas, durante o processo de retransmissões, o primeiro vizinho candidato que recebe o pacote, responde com um pacote *ack* e faz com que o nó cancele o processo de retransmissões, evitando envios desnecessários. A quantidade de vizinhos influencia diretamente na quantidade de retransmissões que devem ser feitas até que o primeiro candidato receba o pacote. Quanto maior a quantidade de vizinhos, menos retransmissões são realizadas, pois há maior chance de um vizinho estar acordado durante as primeiras retransmissões.

### 3.4. Abordagem Híbrida

O protocolo híbrido proposto utiliza as abordagens baseadas no emissor e no receptor e decide qual utilizar baseado nas funções de custo de cada uma. No envio de cada pacote, cada nó verifica se conhece os vizinhos. Caso conheça, o nó escolhe a abordagem baseada em emissor, por possuir custo reduzido de retransmissões. Durante o processo de envio utilizando a abordagem baseada em emissor podem ser detectadas falhas de comunicação. Uma falha é detectada se o nó realiza um número pré-determinado de transmissões e não recebe um *ack* de confirmação de recebimento. Caso ocorra uma falha, a abordagem é alterada para a baseada em receptor. Caso o nó não conheça os vizinhos, é calculado o custo de utilização de cada abordagem. Se o custo de utilizar o emissor for inferior ao custo do receptor, é iniciado o processo de conhecimento de vizinhos e o pacote é enviado utilizando a abordagem baseada em emissor. Caso contrário, é utilizada a abordagem baseada em receptor.

## 4. Resultados

### 4.1. Cenários de Simulação

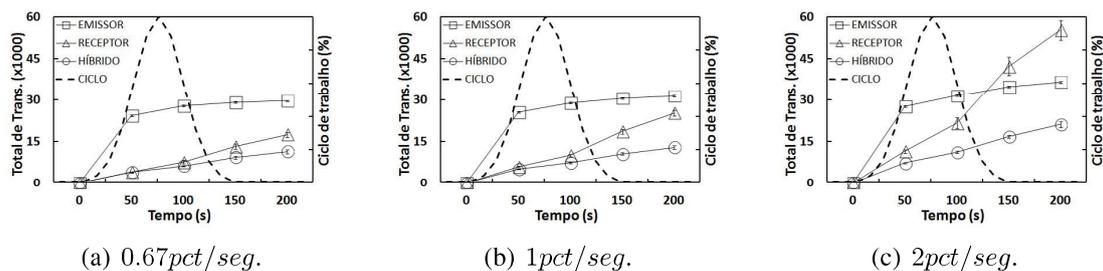
As simulações foram realizadas no NS-2 v. 2.32. Cada cenário de simulação foi composto por 500 nós dispostos de forma aleatória em uma região de  $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ . O raio de comunicação de todos os nós é igual a 100 m. O valor de  $d_1$ , utilizado para definir a

área em que estão os vizinhos candidatos, é de 80 m. Esse valor foi utilizado por ser um valor próximo ao raio de comunicação do nó. Em todos os cenários, o número de nós emissores que enviam dados é igual a 10. Todos os emissores estão localizados a 900 m do sorvedouro e equidistantes entre si. O nó sorvedouro está sempre localizado no ponto P(0,0) do cenário.

As simulações foram divididas em dois conjuntos: cenários sem falhas de comunicação e cenários com falhas de comunicação. Em ambos os cenários, o ciclo de trabalho dos nós varia ao longo do tempo seguindo uma distribuição normal com média em 80 segundos e desvio padrão de 20. Em cada conjunto, foram realizadas simulações com fluxos de pacotes de  $0.67\text{pct}/\text{seg}$ ,  $1\text{pct}/\text{seg}$  e  $2\text{pct}/\text{seg}$ . As falhas de comunicação são geradas com a morte de nós. Ao todo, 10% dos nós morrem durante a simulação, seguindo uma distribuição normal com média em 80 segundos e desvio padrão igual a 20. O tempo de cada simulação foi de 200 segundos. Os gráficos apresentados são de médias de 30 simulações com intervalos de confiança de 95%.

Os parâmetros de avaliação utilizados para a comparação entre os protocolos foram o total de pacotes enviados, o percentual de entrega de pacotes, o número de transmissões por pacote entregue e a latência média de entrega dos pacotes. O total de pacotes enviados está diretamente relacionado ao consumo de energia. Quanto maior o número de pacotes enviados, maior é o gasto de energia. Como a energia é o recurso mais importante em uma RSSF, o protocolo de rede deve conseguir operar transmitindo a menor quantidade possível de pacotes. O percentual de entrega está diretamente relacionado à capacidade do protocolo de encontrar rotas e de contornar possíveis problemas nas rotas. O número de transmissões por pacote entregue mostra a eficiência do protocolo em relação ao seu custo de utilização. Por fim, a latência média mostra o tempo de entrega dos pacotes. Algumas aplicações são sensíveis a atrasos na entrega do pacote.

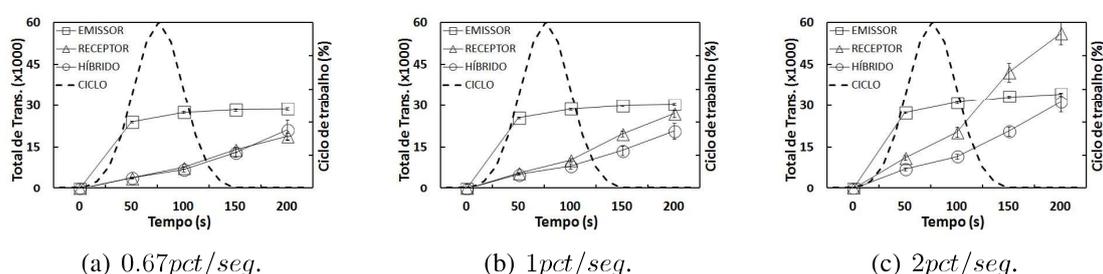
#### 4.2. Total de Transmissões



**Figura 2. Total de transmissões para diferentes fluxos e sem morte de nós.**

O protocolo híbrido proposto tem como objetivo reduzir o número de transmissões, escolhendo entre as abordagens baseadas em emissor ou em receptor a que mais se adéqua a cada momento. Os gráficos da Figura 2 apresentam o total de transmissões ao longo do tempo em cenários onde não ocorrem falhas de comunicação. Cada gráfico apresenta um cenário com fluxo de pacotes específico. Em todos os cenários, o protocolo baseado em emissor possui alta taxa de transmissões nos momentos iniciais da simulação que são decorrentes da fase inicial de descoberta de vizinhos. Em seguida o crescimento do número de transmissões reduz devido ao baixo número de transmissões para se transmitir um pacote. No protocolo baseado em receptor, o número de transmissões cresce de

forma mais acentuada e constante por causa do alto custo de transmissões dos pacotes. No entanto, em momentos em que o ciclo de trabalho é reduzido, o custo de utilização do receptor também reduz, mostrado pelo crescimento menos acentuado da curva. Em todos os cenários o protocolo híbrido realiza menos transmissões que os protocolos baseados em emissor e em receptor pois no protocolo híbrido cada nó determina se compensa ou não conhecer os seus vizinhos. Nós que possuem fluxo de pacotes reduzido optam por utilizar a abordagem baseada em receptor, enquanto que nós com alto fluxo optam por utilizar a abordagem baseada em emissor. É importante ressaltar que um nó que pertença a diversas rotas concentra diversos fluxos irá optar pela abordagem baseada em emissor. Também, o nó pode escolher conhecer o vizinho em momentos em que o ciclo de trabalho é elevado, fazendo com que o custo de conhecimento seja reduzido.



**Figura 3. Total de transmissões para diferentes fluxos e com morte de nós.**

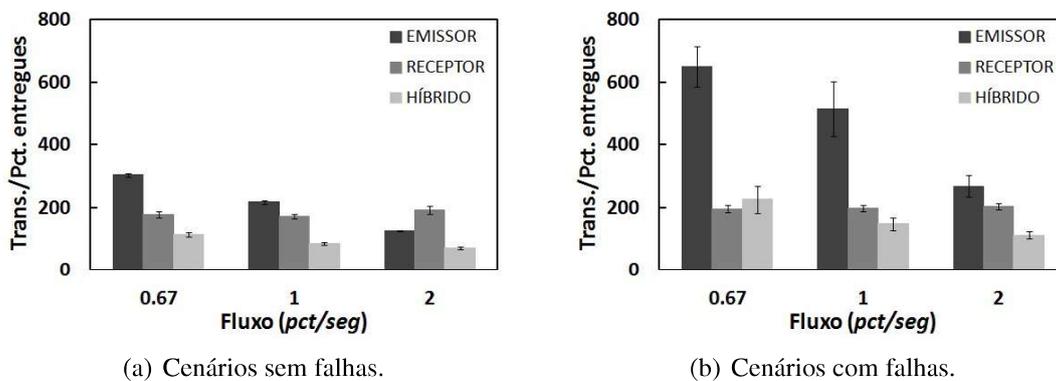
Os gráficos da Figura 3 apresentam o total de transmissões ao longo do tempo em cenários onde ocorrem falhas de comunicação. O protocolo baseado em emissor possui comportamento bastante semelhante em cenários onde não ocorrem falhas. No entanto, o número de transmissões reduz levemente pois há a perda de pacotes devido às falhas. Isso implica que os próximos nós da rota não realizarão transmissões que seriam relativas ao pacote perdido. Por outro lado o número de transmissões do receptor ele tende a aumentar. No protocolo baseado em receptor, quando ocorrem falhas no primeiro vizinho candidato a acordar, o nó atual continua retransmitindo até encontrar o próximo candidato. Dessa forma, o número de retransmissões é elevado, acarretando no aumento do número total de transmissões do protocolo baseado em receptor. Em cenários com falhas, o protocolo híbrido apresenta um aumento no número de transmissões que ocorre pela utilização, no mesmo nó, das duas abordagens de comunicação quando ocorre uma falha. Primeiramente, o nó, ao decidir utilizar a abordagem baseada em emissor, deve conhecer os seus vizinhos, acarretando em custo de retransmissões de pacotes de conhecimento. A partir desse momento, o nó opta sempre por utilizar a abordagem baseada em emissor. Quando ocorrem falhas de comunicação, a abordagem baseada em receptor é utilizada. Nesse caso, é acumulado o custo de retransmissões da abordagem baseada em emissor até a detecção de uma falha de comunicação e o custo das retransmissões da abordagem baseada em receptor até que outro vizinho candidato receba e encaminhe o pacote.

### 4.3. Percentual de Entrega

O percentual de entrega de dados está diretamente relacionado à eficiência do protocolo. Um protocolo que entrega percentuais reduzidos de pacotes pode não ser confiável. Em cenários sem falhas de comunicação os três protocolos possuem altas taxas de entrega,

próximas de 100%. Por outro lado, em cenários com falhas de comunicação, o protocolo baseado em emissor possui uma queda brusca no seu percentual de entrega, com percentuais de entrega inferiores à 50%. Isso ocorre pois, na abordagem baseada em emissor, se o nó escolhido falhar o pacote é descartado. O protocolo baseado em receptor consegue contornar as falhas, pois qualquer vizinho candidato pode encaminhar o pacote. O protocolo híbrido possui percentuais de entrega iguais aos da abordagem baseada em receptor. O protocolo híbrido consegue contornar as falhas, pois, quando é utilizada a abordagem baseada em emissor e uma falha de comunicação é detectada, a abordagem é alterada para a baseada em receptor para que o pacote possa ser reenviado e, assim, outros vizinhos candidatos podem encaminhar o pacote.

#### 4.4. Transmissões por Pacote Entregue



**Figura 4. Número de transmissões por pacote entregue para diferentes fluxos de pacotes.**

Os gráficos da Figura 4 mostram os números de transmissões realizadas por pacote entregue em diferentes fluxos e em cenários sem e com falhas de comunicação. Em cenários com fluxo de trabalho reduzido o número de transmissões por pacote do protocolo baseado em emissor é elevado pois o alto custo de conhecimento não compensa o número reduzido de transmissões por pacote. Por outro lado, quando o fluxo de pacotes aumenta, o custo de conhecimento se dilui entre as transmissões dos pacotes, fazendo com que o número de transmissões por pacote diminua. Em cenários com falhas de comunicação, o número de transmissões por pacote eleva-se consideravelmente. Por não conseguir entregar o pacote, as transmissões realizadas acabam sendo contabilizadas nas transmissões dos pacotes entregues. O protocolo baseado em receptor possui o custo semelhante para todos os fluxos em cenários sem e com falhas de comunicação. O número de retransmissões de um pacote no protocolo baseado em emissor sofre influência do ciclo de trabalho e do número de vizinhos. Então, independentemente do fluxo, o envio de um pacote possui o mesmo custo. O protocolo híbrido possui número de transmissões por pacote inferior aos protocolos baseado em emissor e no receptor em quase todos os cenários. Isso ocorre, pois o protocolo híbrido utiliza, em cada momento, a abordagem apropriada para a situação. Cada nó possui autonomia para operar segundo a abordagem que julgue mais adequada. Dessa forma, o protocolo híbrido consegue reduzir significativamente o número de transmissões realizadas para entregar um pacote.

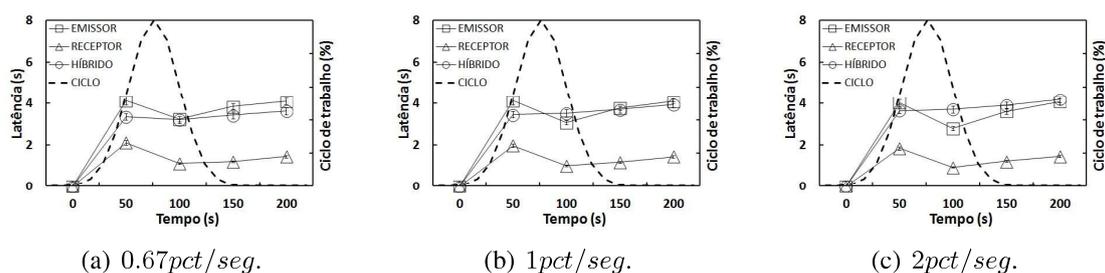


Figura 5. Latência para diferentes fluxos de e sem morte de nós.

#### 4.5. Latência

A latência é fortemente influenciada pelo ciclo de trabalho dos nós, pois, em cenários com ciclo reduzido, o tempo de espera para que o nó acorde e possa ser enviado um pacote é elevado. Os gráficos da Figura 5 mostram a latência média acumulada dos pacotes ao longo do tempo de simulação em cenários sem falhas. O protocolo baseado em emissor escolhe um vizinho e encaminha o pacote apenas quando este vizinho estiver acordado. Nesse momento, há um acúmulo de tempo na latência do pacote. Por outro lado, a abordagem baseada em emissor está sempre transmitindo e consegue enviar o pacote para um vizinho que acorde fora do seu horário para realizar uma transmissão oportunista. O protocolo híbrido possui latência média acumulada próxima da abordagem baseada em emissor porque há nós que utilizam a abordagem baseada em emissor, e consequentemente, a latência do pacote tende a se elevar. Também é importante notar que, à medida que o fluxo de dados se reduz, menos nós utilizam a abordagem baseada em emissor, fazendo com que a latência média diminua, como mostrado no gráfico da Figura 5(a).

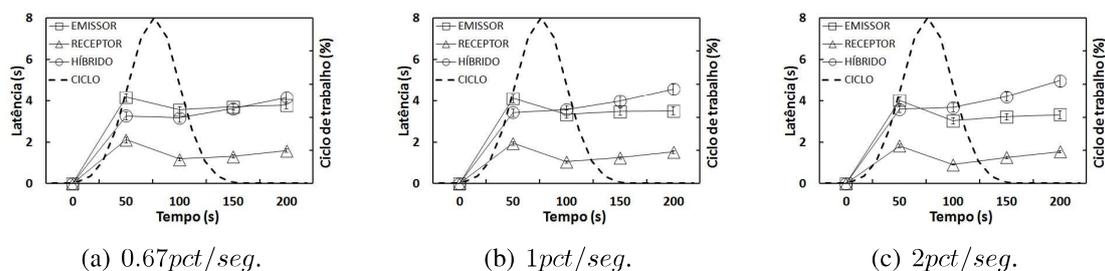


Figura 6. Latência para diferentes fluxos e com morte de nós.

A Figura 6 mostra que, em cenários onde ocorrem falhas de comunicação, a latência do protocolo híbrido eleva-se consideravelmente, pois quando há uma falha de comunicação o protocolo híbrido acumula a latência das duas abordagens. Se um nó está utilizando a abordagem baseada em emissor e detecta uma falha, ele altera para a baseada em receptor. Neste caso é acumulada a latência de transmissão das duas abordagens.

### 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma proposta de protocolo de rede híbrido baseado em emissor e em receptor para RSSFs. O protocolo utiliza ambas as abordagens para alcançar altas taxas de entrega com menor número de transmissões, levando a uma redução no consumo de energia. Resultados de simulação mostram que, em cenários sem falhas

de comunicação, o protocolo híbrido realiza menor número total de transmissões que as abordagens baseadas em emissor e em receptor. Em cenários com falhas de comunicação, quando o fluxo de pacotes é elevado, o híbrido possui menor número de transmissões que o baseado em emissor. Quando o fluxo diminui, ambos tendem a realizar o mesmo número de transmissões. Em relação à latência, o protocolo híbrido possui latência elevada em cenários com falhas de comunicação pois acumula o tempo de utilização das duas abordagens. Em relação ao percentual de entrega, o protocolo híbrido possui mesmo percentual que as outras duas abordagens operando sozinhas. O grande ganho de utilização do protocolo híbrido é em relação ao total de transmissões por pacote entregue, que está diretamente relacionado ao consumo de energia. O protocolo híbrido consegue atingir altos percentuais de entrega realizando menor número de transmissões que as abordagens baseadas em emissor e em receptor. Dessa forma, o protocolo híbrido se mostra uma opção interessante em cenários dinâmicos em RSSFs.

Como sugestões de direções futuras, o valor de  $d_1$ , que é utilizado para determinar quais nós são candidatos a encaminhar um pacote pode variar em função do ciclo de trabalho. Outra sugestão de direções futuras é a avaliação e adaptação do protocolo híbrido para cenários em que ocorre movimentação dos nós.

## Referências

- Arifuzzaman, M., Alam, M., and Matsumoto, M. (2011). **A hybrid MAC with intelligent sleep scheduling for wireless sensor networks.** In *Kaleidoscope 2011: The Fully Networked Human? - Innovations for Future Networks and Services (K-2011), Proceedings of ITU*, pages 1–7.
- Bithas, P., Lioumpas, A., and Alexiou, A. (2012). **A hybrid contention/reservation medium access protocol for Wireless Sensor Networks.** In *Globecom Workshops (GC Wkshps), 2012 IEEE*, pages 1669–1674.
- Chen, J.-L., Ma, Y.-W., Hsu, Y.-M., and Huang, Y.-M. (2010). **Adaptive routing protocol for reliable wireless sensor networking.** In *Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on*, volume 1, pages 358–363.
- Figueiredo, C., Nakamura, E., Loureiro, A., and Ruiz, L. (2007). **An Event-Detection Estimation Model for Hybrid Adaptive Routing in WSNs.** In *Communications, 2007. ICC '07. IEEE International Conference on*, pages 3887–3894.
- Haas, Z. J. and Pearlman, M. R. (2001). **The performance of query control schemes for the zone routing protocol.** *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 9:427–438.
- Ramasubramanian, V., Haas, Z. J., and Siler, E. G. (2003). **SHARP: a hybrid adaptive routing protocol for mobile ad hoc networks.** In *Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, MobiHoc '03*, pages 303–314, New York, NY, USA. ACM.
- Safdar, V., Bashir, F., Hamid, Z., Afzal, H., and Pyun, J. Y. (2012). **A hybrid routing protocol for wireless sensor networks with mobile sinks.** In *Wireless and Pervasive Computing (ISWPC), 2012 7th International Symposium on*, pages 1–5.
- Tan, M., Tang, L., Chang, H., and Tian, H. (2009). **A Hybrid MAC Protocol for Wireless Sensor Network.** In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on*, pages 1–5.