

UTILIZANDO UMA TÉCNICA DO PSEUDOSSINCRONISMO PARA PROLONGAR O TEMPO DE VIDA DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO

Data de entrega dos originais à redação em 16/07/2014
e recebido para diagramação em 27/11/2014.

Inacio Henrique Yano ¹
Vitor Chaves de Oliveira ²
Mauricio Becker ³
Andreiwid Sheffer Correa ⁴

Este artigo propõe uma solução para aumentar o tempo de vida de nós repetidores para Redes de Sensores Sem Fio. Os nós repetidores tem a função de permitir a comunicação entre os nós de coleta de dados e uma base central, uma vez que os dispositivos utilizados neste tipo de rede tem limitado alcance de sinal de rádio. Outra restrição dos nós de redes de sensores sem fio é seu curto tempo de vida, devido à limitada autonomia de carga de suas baterias. Isso reforça a importância de poupar energia dos nós repetidores, a fim de mantê-los ativos o maior tempo possível, sem os quais a transmissão de dados não seria possível. A contribuição deste trabalho é o prolongamento do tempo de vida de nós repetidores, através da implementação de uma estratégia de dormência. Cujo resultado foi a ampliação significativa do tempo de vida dos nós repetidores em mais de 326%.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio. Nós Repetidores. Tempo de Vida.

This article proposes a solution to increase the lifetime of relay nodes for Wireless Sensor Networks. The relay nodes have the function of enabling communication between the data collection nodes and the sink, since the devices used in this type of network have limited radio signal range. Another restriction of the nodes of Wireless Sensor Networks is its lifetime, given the limited autonomy of its charge of the batteries, this reinforce the importance of saving relay nodes energy in order to keep them active as long as possible, without which the data transmission will not be possible. The contribution of this work is the prolonging of a relay node lifetime, by implementing a sleep strategy. The result was a significant increase of the relay node lifetime in more than 326%.

Keywords: Wireless Sensor Networks. Relay Node. Lifetime.

1 INTRODUÇÃO

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são redes próprias para coletar dados, especialmente em ambientes com pouca ou nenhuma infraestrutura de energia elétrica e de comunicação de dados, e também, muitas vezes de difícil localização, por isso são projetados para serem baratos e pequenos, pois muitas vezes não é possível retornar ao local onde foram colocados para sua recuperação posterior. Os nós das RSSFs são dispositivos compostos basicamente de uma unidade de processamento de dados, memória, bateria e rádio (AKYILDIZ, 2002), esta conformação permite ao nó coletar e transmitir dados para os nós vizinhos e para o destino final dos dados, ou seja, estão preparados para funcionar em praticamente todos os lugares e sob as mais diversas condições, sem a necessidade de prévias instalações.

Conforme descrito os nós das RSSFs devem ser baratos, isto gera limitações de capacidade de processamento e transmissão de dados. Como os rádios tem alcance limitado, quando existem longas distâncias a serem vencidas, entre o ponto de coleta de dados e o destino final dos mesmos, os nós coletores de dados (end devices – ED) necessitam de nós repetidores (RN) para retransmitir seus dados para uma base central (BC) (ZAHMATI, 2007).

Outra limitação das RSSFs é o curto tempo de vida dos nós, pois estes dependem da energia das baterias que os alimentam para continuar operando, poupar energia das mesmas, portanto, é um dos maiores desafios das RSSFs. O problema do tempo de vida dos nós agrava-se quando este nó faz o trabalho de repetidor, pois toda parte da rede que dele depende para o encaminhamento

1 Mestre em Engenharia Elétrica – PUC-Campinas - Analista de Sistemas da Embrapa Informática Agropecuária - Docente da Faculdade de Americana. E-mail: <ihvano@yahoo.com.br >.

2 Mestre em Engenharia Elétrica – PUC-Campinas - Docente da Faculdade de Americana.

3 Mestre em Engenharia Elétrica – PUC-Campinas - Docente da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

4 Mestre em Engenharia Elétrica – PUC-Campinas - Docente Efetivo do Instituto Federal de São Paulo, Campus Campinas.

de seus dados fica comprometida, quando este parar de funcionar, criando os chamados nós órfãos (SHANTI, 2011). Torna-se evidente, portanto, preservar ao máximo a energia dos nós que servem de ligação de partes da rede, pois quando estes ficam inativos prematuramente, todos os nós que destes dependem, para transmitir seus dados, tem seu caminho interrompido.

Em função da limitação da vida dos nós e da própria RSSF estar atrelada ao estoque de energia das baterias, diversos estudos foram desenvolvidos para contornar este problema. Uma das abordagens mais importantes é a conservação de energia dos nós utilizando técnicas de mudança de estado dos mesmos de ativo para dormente, por meio dessa técnica existe bastante economia e até mesmo a possibilidade de recuperação de parte da energia da bateria durante esse período de dormência (PARK, 2005). Esta abordagem também pode ter variações, como considerar vários diferentes estágios de dormência pelo qual um nó pode passar (WANG, 2007).

A aplicação de dormência em EDs é um procedimento usual e apresenta ótimos resultados para prolongar tempo de vida destes nós. Entretanto, a aplicação de dormência em RNs apresenta certa dificuldade, pois os mesmos precisam estar ativos no momento em que um ED transmitir seus dados. Por este motivo existem soluções nas quais os nós responsáveis pela retransmissão de dados não entram em dormência (XBEE, 2012) e, em função desta condição, deveriam ter uma capacidade maior de energia armazenada (YANG, 2010).

Existem propostas de dormência de RNs (LIU, 2010), nas quais, sempre existe pelo menos um RN ativo para atender os EDs. Isto normalmente mostra-se eficiente para redes densas, com redundâncias de RNs para grupos de EDs - que permitem o revezamento na função de retransmissão. Tais soluções, apesar de resolverem o problema de interrupção de rotas, ocasionam intervalos significativos de ociosidade dos RNs, pois pelo menos um dos mesmos estará ativo durante todo o tempo. Outra técnica (BUETTNER, 2006) com dormência estabelece a comunicação - entre o RN e o ED - mediante o envio de preâmbulos. Os preâmbulos, que são sequências pré-definidas de zeros e uns, quando recebidos pelo RN, fazem com que o mesmo responda ao ED e permaneça acordado, aguardando o envio de dados.

Este trabalho apresenta uma adaptação da solução de BUETTNER (2006), para uma situação específica em que o ED tenha de enviar dados em intervalos regulares de tempos ao RN, é importante ressaltar que esta situação específica abrange uma grande variedade de aplicações de coleta de dados, tais como medições de temperatura, umidade, vazão, entre outras. Assim como a solução de BUETTNER (2006), também faz a procura de períodos em que

o RN esteja em atividade, para estabelecer com o mesmo um pseudossincronismo, considera-se que não se trata de um sincronismo clássico, porque não foi estabelecido por um RTC (*real-time clock*), mas por uma composição de intervalos de tempo estimados. Este pseudossincronismo permite desabilitar a rotina de busca do período de atividade de RN, a partir da segunda transmissão de dados do ED, poupando assim energia do mesmo. O nó RN por sua vez tem sua energia poupada, por não tem de fazer *polling* para ED (BOONSAWAT, 2010), economizando com as transmissões de pedidos de dados e, principalmente, devido ao seu período de dormência que acontece a cada ciclo.

Neste trabalho também foram eliminados os preâmbulos que anunciam uma nova transmissão de dados, bem como quadros de controle de comunicação, pois consomem muita energia tanto em suas transmissões e recepções, como pelo maior tempo de atividade que os nós precisam permanecer para concluir cada rotina de transmissão de dados.

Esta proposta, portanto, implementa uma forma de se estabelecer a comunicação entre os nós de uma RSSF, destinada a sistemas de coleta dados, cuja captura e transmissão de dados deva ocorrer em intervalos regulares de tempo e tem como objetivo demonstrar que é possível economizar energia e estender significativamente o tempo de vida do nó RN, que é um nó essencial para que os dados cheguem à BC em redes com mais de um salto. Conforme a vida da RSSF é prolongada, evitam-se manutenções frequentes e pontuais (TONG, 2011), que geram custos devido ao deslocamento de um técnico ao local, que nem sempre é de fácil acesso.

Resultados preliminares indicam que tal estratégia mostra-se eficaz para prolongar o tempo de vida do RN em mais de 326%, conforme será descrito nas próximas seções, que estão divididas em:

Seção 2, na qual será explicada a técnica de dormência aplicada nos nós repetidores;

Seção 3, que descreve o arranjo experimental utilizado neste trabalho;

Seção 4, que demonstra a programação da rede *multihop*;

Seção 5, que apresenta os primeiros resultados e faz-se uma discussão desta pesquisa e finalmente;

Seção 6, na qual, encontra-se a conclusão deste trabalho.

2 TÉCNICA DE DORMÊNCIA EM NÓS REPETIDORES

A técnica de prolongamento do tempo de vida proposta neste trabalho fundamenta-se em um pseudossincronismo entre os EDs e os RNs, de modo que o tempo de atividade do ED coincida com o período ativo do RN.

Neste trabalho, supõe-se que os tempos, tanto no estado de atividade, como no de dormência do RN, repetem-se em intervalos regulares.

O pseudossincronismo é atingido por meio da busca, pelo ED, do intervalo de atividade do RN. Uma vez descoberto tal período, como o RN entra em dormência em intervalos regulares, basta ao ED adotar o mesmo ciclo, para que em uma nova transmissão, haja coincidência com o próximo intervalo de atividade do RN. Isto é ilustrado na Figura 1, na qual, mapeia-se a potência de transmissão em função do tempo - tanto para o ED como para o RN.

Esta busca é feita utilizando-se de um quadro completo formado por cabeçalho e dados. Este

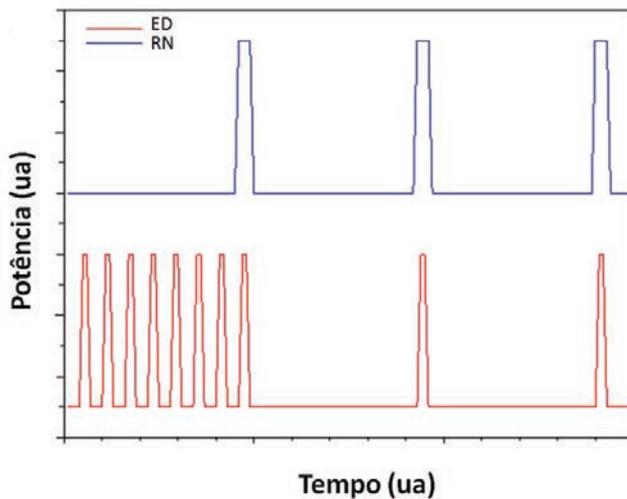


Figura 1 - Estabelecimento do pseudossincronismo

processo apresenta latência menor, pois, quando um dos envios do ED for bem sucedido, coincidindo com um intervalo ativo do RN, o quadro já estará completo e poderá ser enviado para a BC, evitando-se a troca de mensagens adicionais para completar a retransmissão à BC.

A Figura 2 demonstra que consumo de energia entre os períodos de transmissão e recepção são bem maiores que o de ociosidade (*idle*) e dormência (*sleep*), portanto eliminando-se quadros de controle (Fig. 3a), reduzem-se estas transmissões e recepções de grande consumo de energia tanto de ED como de RN.

Os quadros de controle (*RTS* – *Request to Send* e *CTS* – *Clear to Send*) são usados para se evitar colisões devido ao problema da estação oculta (KAPADIA, 2010). Em RSSF, em que os quadros completos são pouco maiores que os quadros

de controle, existe pouca vantagem na utilização deste artifício, uma vez que tanto o quadro *RTS*, quanto o quadro completo tem aproximadamente a mesma probabilidade de sofrerem colisões e o gasto energético para enviar ambos é semelhante. Justifica-se, portanto, enviar o quadro completo, pois em caso de sucesso a transmissão já pode ser concluída e em caso de colisão, simplesmente, envia-se novamente o quadro completo. O excesso de quadros de controle é um dos motivos de desperdício de energia em RSSF (REZAEI, 2012), conseqüentemente sua utilização deve ser avaliada, de acordo com a aplicação.

Ainda em relação aos quadros de controle é possível eliminar o quadro de confirmação de recebimento dos dados (*ACK* – *Acknowledgment*). Porque, uma vez que o RN tenha visada tanto para a BC como para o ED, que iniciou a comunicação (conforme a Figura 4), no momento em que o RN estiver ativo e receber um quadro do ED, este imediatamente o reenviará para a BC. Esta retransmissão, salvo situações de exceção, atingirá igualmente a BC e o ED (Fig. 3b). As situações de exceção que impedem o recebimento dos quadros pelos seus destinatários podem ser devido ao surgimento de obstáculos, como a passagem de pessoas ou veículos, bem como por problemas inerentes à própria comunicação como colisões, congestionamentos do canal, etc.

A confirmação pelo correto recebimento do quadro pelo RN acontece quando o ED, estando na visada do RN, detecta a retransmissão à BC. Desta forma, o ED poderá entrar em dormência e completar um ciclo de mesmo período que o do RN, o que estabelece o pseudossincronismo.

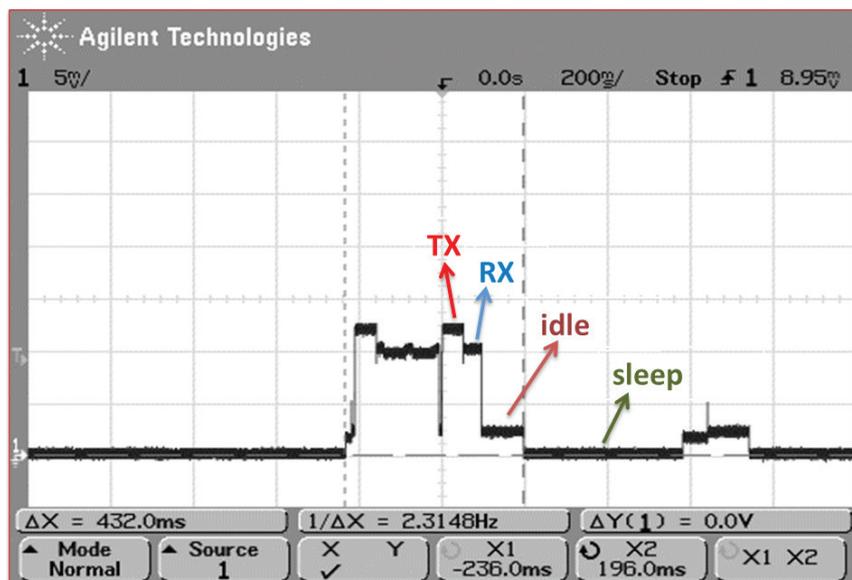


Figura 2 – Consumo de energia nos períodos TX, RX, idle e sleep de um nó RFBee, configurado para trabalhar em potência máxima

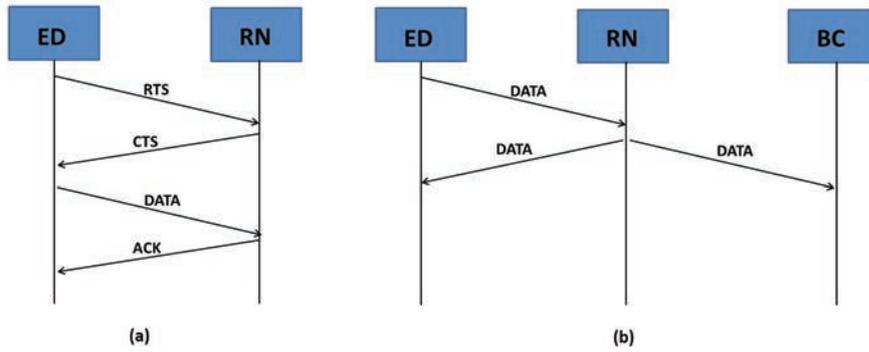


Figura 3 – (a) Troca de quadros entre ED e RN utilizando quadros de controle e (b) Troca de quadros entre ED e RN sem os quadros de controle

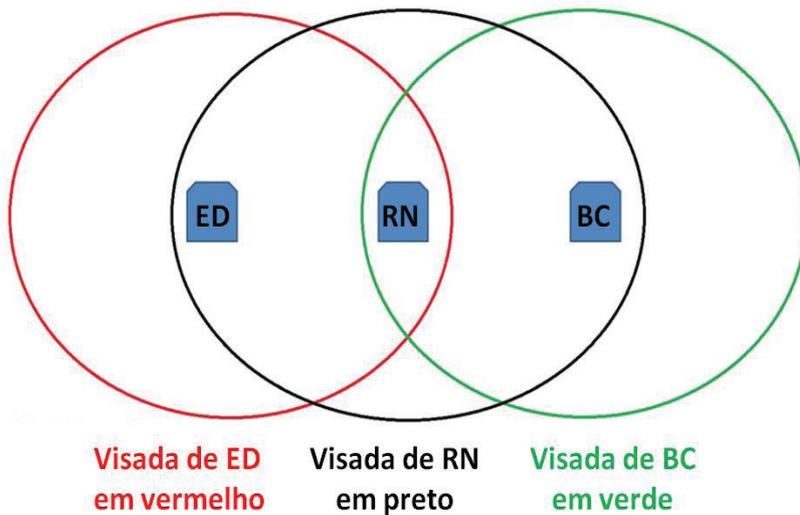


Figura 4 - Visada do ED, RN e BC

É importante o ED assegurar-se que todos os quadros por ele enviados foram retransmitidos pelo RN, uma vez que existem duas situações nas quais a retransmissão pode não ser bem sucedida. Primeiramente, no início do processo, pois ainda é preciso se estabelecer o pseudossincronismo. Além disso, há, também, a situação em que ocorre a perda do pseudossincronismo, devido a:

Clock drift que é a variação de frequência resultado da variação da tensão de alimentação e da temperatura que acontece com os cristais geradores de pulsos, em maior ou menor grau dependendo da precisão dos mesmos, esta variação da frequência irá provocar imprecisões nas medidas de tempo de alguns milissegundos entre os nós, prejudicando o sincronismo ou, neste caso, o pseudossincronismo (TEXAS INSTRUMENTS, 2012);

Um número diferente de instruções executadas pelo RN e ED, antes e após

o período de dormência, que pode gerar pequenas diferenças na duração do ciclo, as quais, ainda que mínimas, vão se acumulando ao longo do tempo e podem se tornar significativas; Variações nos tempos de transmissão e recepção causadas por congestionamentos, erros e outros fatores;

Variação da precisão na contagem de tempo, que se acentua conforme a carga da bateria vai diminuindo.

Conforme descrito, a perda do pseudossincronismo é causada pelo acúmulo de pequenas diferenças de tempo entre os ciclos do ED e do RN. Em vista destas diferenças serem de alguns milissegundos, elas não inviabilizam a coleta de dados para uma grande gama de aplicações.

Nesta seção descreveu-se o processo de estabelecimento do pseudossincronismo, bem como, os motivos da quebra do mesmo, na próxima seção será descrito o arranjo experimental utilizado neste trabalho.

3 ARRANJO EXPERIMENTAL

Na seção anterior descreveu-se a técnica do pseudossincronismo e nesta seção apresentar-se-á

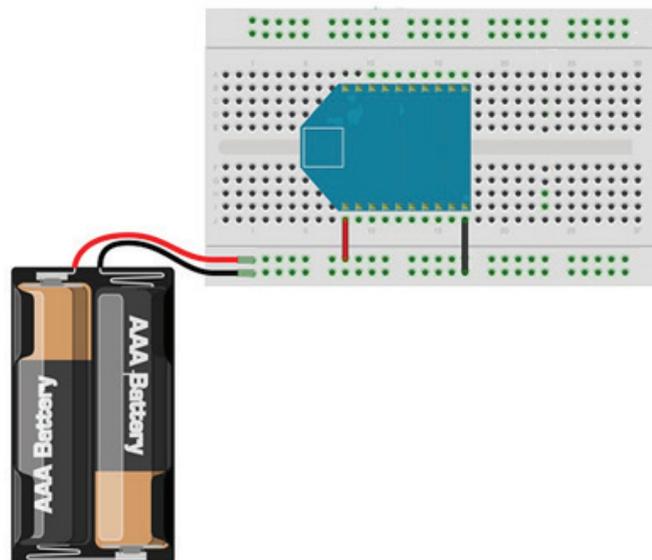


Figura 5 - Esquema de um nó sensor utilizado neste trabalho

o arranjo experimental para validação da solução proposta.

Os dispositivos sensores escolhidos para implementar a proposta deste trabalho foram os sensores RFBee v.1.1 (SEED STUDIO, 2012), devido a facilidade de programação proporcionada por sua IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino (ARDUINO, 2012).

O RFBee é formado pelo microcontrolador ATmega 168 (ATMEL, 2012) e o transceptor CC1101 (TEXAS INSTRUMENTS, 2012), alimentados por duas baterias AA-recarregáveis de 2500mAh, conforme ilustrado na Figura 5.

Para verificação da funcionalidade desta proposta foi desenvolvido um protótipo de aplicação, que registra a intensidade de sinal recebida (RSSI) (PROCÓPIO, 2013).

O tempo de dormência do RN foi ajustado para 1,75 s e o tempo de *idle* para 250 ms, totalizando um ciclo de 2,00 s, que se repete ao longo da vida do RN. O tempo de *idle* é o tempo em que o sensor fica ocioso, aguardando quadros para serem recebidos ou transmitidos.

A programação dos EDs também obedeceu a este ciclo, de acordo com o processo de pseudossincronização, descrito na seção anterior. Observa-se que eles não terão necessariamente de permanecer ativos durante os 250 ms, mas somente durante um período que corresponda à soma do período de atividade mais o de dormência. No caso específico dos resultados apresentados neste trabalho, foram necessários 120 ms para coletar, transmitir e conferir a recepção dos dados pelo RN e mais 1,88 s para o estado de dormência.

Uma vez que, a cada 2 s, o RN fica em estado *idle* por 250 ms, o ED, antes de

estabelecer o pseudossincronismo, ou ao restabelecê-lo em vista de algum problema, envia um quadro a cada, aproximadamente, 220 ms, conforme ilustrado pela Figura 6.

A Figura 6 ilustra um caso típico de busca pelo período de atividade do RN. No pior caso, haverá 8 transmissões do ED antes da descoberta do ciclo de atividade do RN. Desta forma, somente na nona tentativa é que haverá sucesso e estabelece-se o pseudossincronismo. Na sequência, o ED completa um ciclo de 2,00 s igual ao do RN e em sua próxima transmissão encontra novamente o RN ativo. Este processo somente seria interrompido por perda do pseudossincronismo, o que levaria ao reinício do processo de busca.

Esta seção apresentou o arranjo experimental utilizado para validação da proposta deste trabalho e a próxima seção descrever-se-á a programação dos nós da rede *multihop*.

4 PROGRAMAÇÃO DA REDE *MULTIHOP*

A seção anterior descreveu o arranjo experimental deste trabalho. Nesta seção descrever-se-á a programação dos nós sensores, que teve como base a plataforma Radiuino (RADIOIT, 2012).

O Radiuino é uma plataforma de rede de sensores, que em sua versão original, contemplava redes de sensores ponto-a-ponto de somente um salto. Um ponto é denominado Base e o ponto remoto é denominado Sensor. A Figura 7 ilustra uma

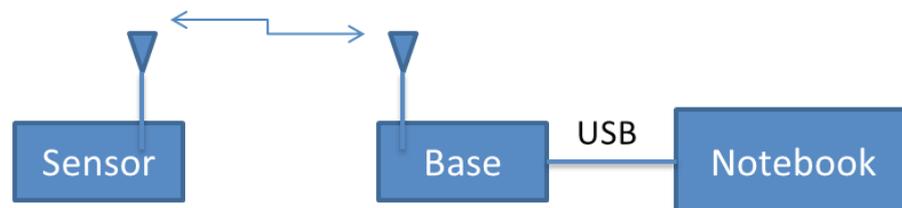


Figura 7 - Nós da plataforma Radiuino

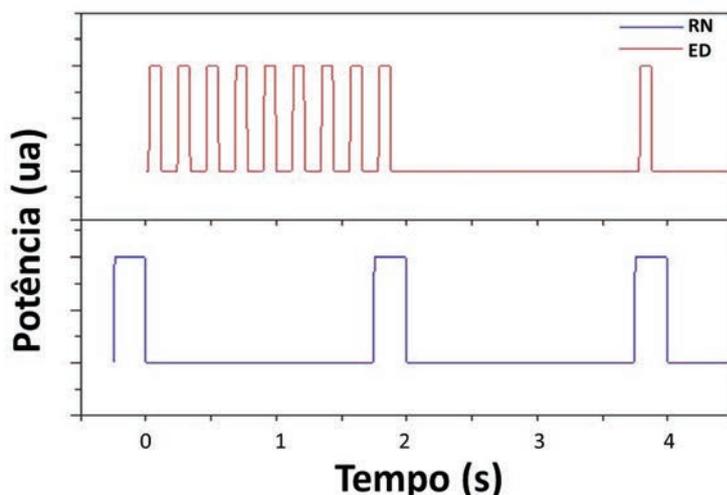


Figura 6 - Processo de formação do pseudossincronismo

rede com estes dois nós, ou seja, um nó com a biblioteca Base e o outro com a biblioteca Sensor.

Um RFBee com a biblioteca Base precisa ser conectado por uma porta USB a um computador, no qual existe um aplicativo de nome `dk101.py` (RADIOIT, 2012), que tem a função de requisitar dados aos nós remotos. Este conjunto formado pelo RFBee com a biblioteca Base mais o computador formam o nó central da plataforma Radiuino, responsável pelo armazenamento de dados em arquivos textos. Os nós remotos são programados com

a biblioteca Sensor da plataforma Rádiumo e são responsáveis pela coleta de dados.

Na solução proposta neste trabalho e para atender aos requisitos de uma rede *multihop* foi necessária a criação de mais uma biblioteca denominada RN (Nó Repetidor). E feitas modificações nas bibliotecas Base e Sensor (Figura 8).

A biblioteca Base, que originalmente fazia requisições de dados aos nós coletores de dados, teve esta função de requisição retirada, pois o nó coletor de dados passou a coletar e transmitir dados em seu período de atividade, seguindo os intervalos regulares de tempo do pseudossincronismo. Devido a esta modificação o nome da biblioteca que programa o RFBee ligado ao computador, nesta proposta, passou a ser BC (Base Central).

Conforme descrito no parágrafo anterior, o nó Sensor foi modificado, sendo a definição dos intervalos de tempo para coletar de dados, bem como, a responsabilidade de estabelecer o pseudossincronismo, deste nó, que nesta proposta passou a ser denominado ED (End Device).

Outra modificação da biblioteca ED em relação à biblioteca Sensor da plataforma Rádiumo é que se incluiu uma sub-rotina de dormência, como parte da formação do pseudossincronismo e para economia de energia.

A biblioteca RN, que não existia na plataforma Rádiumo, apenas recebe quadros e os retransmite em seu período de atividade, que nos testes realizados representaram um oitavo do tempo do ciclo, nos outros sete oitavos do tempo o nó permaneceu em

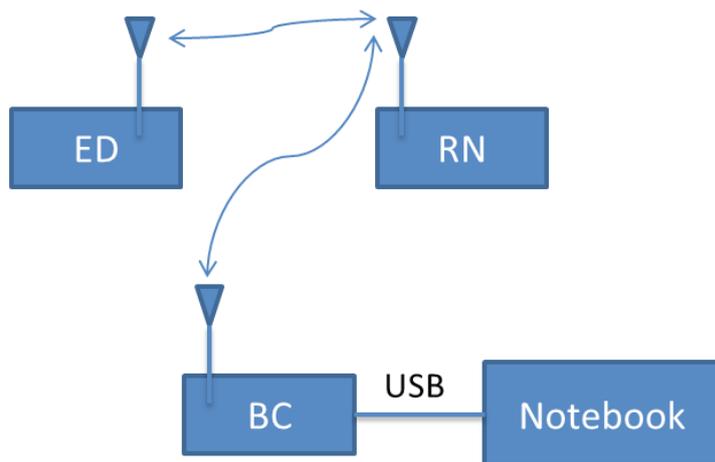


Figura 8 - Exemplo de rede com os quatro diferentes tipos de nós, de acordo com a sua função nesta nova proposta

dormência para poupar energia.

Os nós repetidores são necessários em redes *multihop*, devido à limitação de alcance dos rádios dos dispositivos sensores. Estes limites de alcance dos rádios variam de acordo com o ambiente no

qual a rede está instalada e de acordo com a marca e o modelo do transceptor. No caso específico do RFBee, que foi o dispositivo utilizado para validar esta proposta, a distância máxima em ambientes abertos é de 120 metros (TEXAS INSTRUMENTS, 2012).

O nó RN também pode ser utilizado para coleta de dados, mas nos testes realizados, sua função limitou-se a retransmitir os quadros de ED.

Esta seção apresentou as modificações na plataforma Rádiumo para a implementação de uma rede *multihop* e do pseudossincronismo e na próxima seção serão apresentados os resultados e discussão deste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas seções anteriores apresentaram-se a solução proposta, o arranjo experimental e as modificações na plataforma Rádiumo para a realização das medições, cujos resultados e discussão apresentar-se-ão a seguir.

Foram realizados dois testes, em ambos as pilhas estavam com sua carga máxima no início do teste e as transmissões foram feitas até que as cargas das mesmas estivessem esgotadas e, conseqüentemente, novos dados não pudessem ser transmitidos até o microcomputador.

O primeiro teste foi feito sem a aplicação da técnica de dormência, ou seja, o RN ficou o tempo todo ativo, conforme descrito em XBEE (2012), neste teste, a bateria do nó RN esgotou-se rapidamente, permitindo que o mesmo retransmitisse somente 164.641 mensagens de ED. No segundo teste, no mesmo RN foi aplicada a técnica proposta de dormência, que permitiu realizar a retransmissão de uma quantidade muito maior de dados de ED, totalizando 702.978 mensagens, constata-se, portanto, um aumento expressivo na quantidade de mensagens retransmitidas, acima de 326% (Fig. 9).

Os testes foram realizados com somente um nó RN, para um ambiente em que fossem necessários vários saltos, esta solução depende de um prévio sincronismo entre os RNs, a fim de se criar um caminho de RNs, no qual todos estejam ativos no momento da transmissão dos

dados. A Figura 10 tem um exemplo com dois RNs, sendo que RN2 e RN1 deverão sair da dormência juntos, porque quando RN1 fizer a retransmissão dos dados dos EDs, RN2 estará ativo e receberá a retransmissão de RN1 e a enviará para BC, que é o destino final dos dados. Por isso, o sincronismo ou

pseudossincronismo entre RNs tem de ocorrer no início da montagem da rede. Uma forma de se fazer isso é criando uma rotina de inicialização do nó, na qual, os RNs somente ativam a rotina de dormência e passam a trabalhar em ciclos, depois de estabelecer uma primeira comunicação com seus RNs vizinhos e tendo definido o caminho pelo qual os dados irão passar dos EDs até a BC. Por exemplo, R1 e R2 (Fig. 10) somente passam a trabalhar em ciclos com 1,75 s de período de dormência e 250 ms de período de atividade, depois de comunicarem-se entre si com sucesso, imediatamente após serem ligados. Esses 250 ms será o tempo de atividade dos RNs para o recebimento, processamento e transmissão dos dados, originários de EDs, em cada ciclo.

Uma consideração importante é a possibilidade da presença de diversos EDs para um RN (Fig. 10), neste caso, para evitar colisões, somente ED1 faria o pseudossincronismo com RN1, sendo que ED2 enviaria seus dados depois que ED1 tivesse feito sua transmissão com sucesso, ou seja, após um intervalo de tempo que ED1 tivesse enviado seus dados, de forma que, o quadro de ED1 seria o sinal para os dados de ED2 serem enviados, bem como, o sinal para ED3 enviar seus dados seria o quadro de

dados enviado por ED2.

Em relação à forma como RN1 iria retransmitir os dados dos EDs para RN2, primeiro teria que fazer a agregação dos dados dos EDs (PATIL, 2010), para isto o quadro teria que ser expandido para possibilitar a concatenação de dados de vários EDs para então fazer-se a transmissão para o RN2 (Fig. 10). O diferencial deste método, conforme já mencionado, seria a ausência de *pollings* (YANG, 2007) do RN para os EDs, e portanto, um menor consumo de energia neste nó que centraliza a comunicação e, dessa forma, a carga de sua bateria iria esgotar-se mais lentamente e, portanto, permaneceria ativo por mais tempo.

6 CONCLUSÃO

Neste artigo apresentou-se uma estratégia que faz uso da dormência para ampliar o tempo de vida dos RNs, para que este se aproxime do tempo de vida dos EDs. Assim os nós da rede morreriam conjuntamente, momento no qual se fariam eventuais manutenções na rede, como a troca de baterias ou a sua total desativação. Isto trás a vantagem de se evitar interrupções parciais, que descontinuariam a coleta de dados e tornariam as

manutenções pontuais caras e frequentes.

Resultados experimentais preliminares indicam uma extensão considerável no tempo de vida da rede, com um aumento de 326% no número de mensagens transmitidas, em comparação com uma rede sem este artifício.

Apesar de a técnica ter sido aplicada a ciclos de

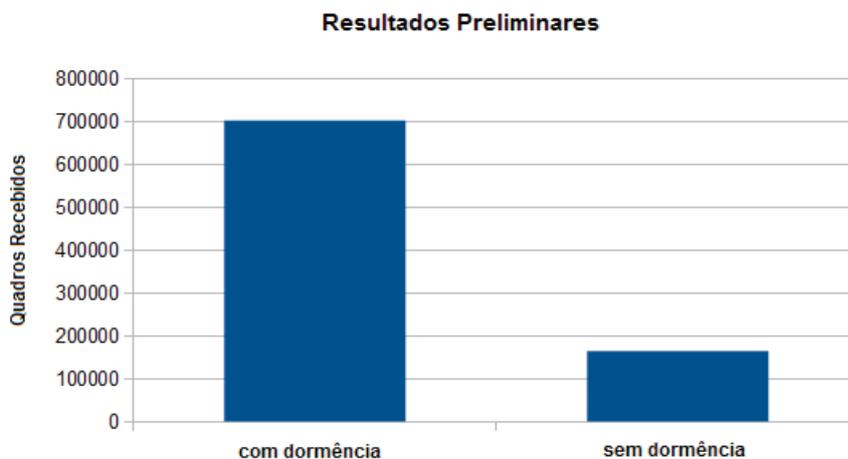


Figura 9 - Resultados preliminares antes e após a aplicação da técnica de dormência

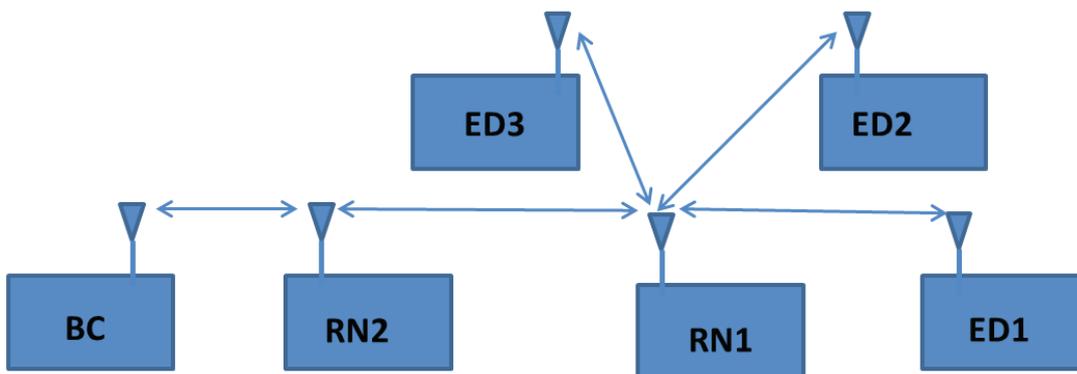


Figura 10 - Rede vários RNs e vários EDs

atividade com períodos de 2 s, esta pode ser estendida a ciclos de duração arbitrária.

Na continuidade deste trabalho, será avaliado o desempenho da técnica para redes com um número maior de saltos, maior número de nós coletores de dados e com diferentes períodos de atividade dos RNs. Outra investigação a realizar-se seria a comparação desta técnica de pseudossincronismo com a técnica em que o RN faz *pollings* para os EDs para requisitar dados e depois entrar em dormência, esta comparação teria o objetivo de se comprovar que o pseudossincronismo seria mais eficiente na economia de energia do RN, uma vez que a tarefa de identificar o momento de se realizar a transmissão estaria com os EDs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Profs. Dr. Eric A. M. Fagotto e Dr. Omar C. Branquinho por valiosas discussões e aos Engenheiros Rafael Galdenci M. Ferraz e Adriana Gama Campagnuci pelo suporte prestado no desenvolvimento na parte experimental deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AKYILDIZ, Ian F. et al. Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, v. 38, n. 4, p. 393-422, 2002.
- ARDUINO. **Arduino Software**. 23/03/2012. <http://arduino.cc/hu/Main/Software>.
- ATMEL. **ATmega48/88/168**. 23/03/2012. <http://www.atmel.com/Images/doc2545.pdf>.
- BOONSAWAT, Vongsagon, et al., **XBee Wireless Sensor Networks for Temperature Monitoring**, School of Information, Computer, and Communication Technology - Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Pathum-Thani, Thailand 12000, 2010.
- BUETTNER, Michael, et al., **X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks**, SenSys '06 Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, 2006.
- KAPADIA, Viral V., et. al. **COMPARATIVE STUDY OF HIDDEN NODE PROBLEM AND SOLUTION USING DIFFERENT TECHNIQUES AND PROTOCOLS**, JOURNAL OF COMPUTING, VOLUME 2, ISSUE 3, MARCH 2010, ISSN 2151-9617
- LIU, Shucheng, et al., **ORAS OPPORTUNISTIC ROUTING WITH ASYNCHRONOUS SLEEP IN WIRELESS SENSOR**, 2nd International Conference on Future Computer and Communication, 2010.
- Patil, Nandini S., et al., **Data Aggregation in Wireless Sensor Network**, 2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 2010.
- PARK, Chulsung; LAHIRI, Kanishka; RAGHUNATHAN, Anand. **Battery discharge characteristics of wireless sensor nodes: An experimental analysis**. *Power*, v. 20, p. 21, 2005.
- PROCOPIO, Edson Taira et al. RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION MODELING IN INDOOR WIRELESS SENSOR NETWORKS. *American journal of Applied Sciences*, v. 10, n. 9, p. 1043, 2013.
- Radioit. Radiuino. 12/04/2012. <http://www.radiuino.cc/>.
- Rezaei Z, et al., **Energy saving in wireless sensor networks**, 2012,3(1):23–37. [doi:10.5121/ijcses.2012.3103], *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES)* Vol.3, No.1, February 2012
- Rezaei Z, et al., **Energy saving in wireless sensor networks**, 2012,3(1):23–37. [doi:10.5121/ijcses.2012.3103], *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES)* Vol.3, No.1, February 2012
- SEED STUDIO. **RFBe**. 20/03/2012. <http://www.seeedstudio.com/depot/rfbee-v11-wireless-arduino-compatible-node-p-614.html>.
- SHANTI, Chilukuri; SAHOO, Anirudha. **Distributed fault tolerance for WSNs with routing tree overlays**. In: *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2011 Third International Conference on*. IEEE, 2011. p. 1-4.
- TEXAS INSTRUMENTS. **CC1101**. 13/03/2012, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>.
- TONG, Bin et al. **Node reclamation and replacement for long-lived sensor networks**. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, v. 22, n. 9, p. 1550-1563, 2011.
- WANG, Qin; YANG, Woodward. **Energy consumption model for power management in wireless sensor networks**. In: *Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2007. SECON'07. 4th Annual IEEE Communications Society Conference on*. IEEE, 2007. p. 142-151.
- XBEE, XBee® ZNet 2.5/XBee-PRO® ZNet 2.5 OEM RF Modules, 23/01/2012, ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866_f.pdf, 2012, pp. 20.
- YANG, Haiming et. al., **Performance Analysis of Polling based TDMA MAC Protocols with Sleep and Wakeup Cycles**, Department of ECSE, RPI, Troy NY 12180 USA, ICC 2007 proceedings, 2007.
- YANG, Fan; HE, Chun; SHAO, Huai-zong. **Two simplified coding schemes for wireless sensor networks with star topologies**. In: *Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2010 International Conference on*. IEEE, 2010. p. 185-189.
- ZAHMATI, Amir Sepasi; MOGHADAM, Nadieh M.; ABOLHASSANI, Bahman. **EPMLCS: An efficient power management protocol with limited cluster size for wireless sensor networks**. In: *Distributed Computing Systems Workshops, 2007. ICDCSW'07. 27th International Conference on*. IEEE, 2007. p. 78-78.