

# Protocolo de Fusão de Dados em Redes de Sensores Sem Fio

Leandro A. Freitas<sup>1</sup>, André R. Coimbra<sup>1</sup>, Vagner Sacramento<sup>1</sup>,  
Silvana Rossetto<sup>2</sup>, Fábio Moreira Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Caixa Postal 131 – 74001-970 – Goiânia – GO – Brasil

<sup>2</sup>Pólo Universitário de Rio das Ostras (PURO) –  
Universidade Federal Fluminense (UFF) – Rio das Ostras – RJ – Brasil

{leandroaf, andrecoimbra, vagner, fmc}@inf.ufg.br, silvana@ic.uff.br

**Abstract.** *Wireless Sensor Networks (WSNs) currently appear as an emerging technology and have a promising area in environments that require agility and efficiency in sensing the environment conditions such as temperature and humidity. However, these devices have limited capability of hardware, therefore, applications that use this technology must save the most of the device's resources, mainly battery. Seeking to prolong the lifetime of a WSN, this project proposed a data fusion protocol that minimizes the amount of messages exchanged in the network and makes communication more efficient.*

**Resumo.** *As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) surgem atualmente como uma tecnologia emergente e apresentam uma área promissora em ambientes que requerem agilidade e eficiência no sensoriamento de fenômenos físicos do ambiente tais como temperatura e umidade. No entanto, esses dispositivos possuem capacidade de hardware limitada, por isto, as aplicações que usam essa tecnologia devem poupar ao máximo os recursos dos dispositivos, principalmente bateria. Visando prolongar o tempo de vida de uma RSSF, neste projeto é proposto um protocolo de fusão de dados que minimiza a quantidade de mensagens trocadas na rede e torna a comunicação mais eficiente.*

## 1. Introdução

Redes de sensores sem fio (RSSFs) são formadas por um conjunto de sensores que interagem entre si de maneira colaborativa, coletando e disseminando os dados obtidos do meio físico. Elas são formadas por dispositivos autônomos que coletam dados do ambiente, tais como temperatura, luminosidade e umidade. Os sensores podem ser utilizados em vários domínios de aplicação tais como monitoramento de ambientes industriais, ambientes controlados, controle de tráfego de veículos em rodovias, dentre outros.

Entretanto, para explorar o potencial desta tecnologia, há uma série de desafios e problemas que devem ser tratados, uma vez que as RSSFs são constituídas por dispositivos com fonte de energia limitada, baixa capacidade de processamento e pouco espaço de armazenamento. Em função disso, o desenvolvimento de aplicações para as RSSFs deve levar em conta a necessidade de gerenciar cuidadosamente a demanda de processamento e o consumo de energia dos nós sensores, de forma a maximizar o tempo de vida útil da rede. Uma das direções para alcançar essa meta é o uso de técnicas para processamento

das informações coletadas que visem reduzir o número de mensagens trocadas entre os nós sensores [Nakamura and Loureiro 2008].

Este trabalho tem como objetivo especificar e implementar um protocolo de fusão de dados – denominado Sol – que realiza a fusão das informações coletadas pelos sensores em dois pontos estratégicos: no próprio sensor ou em um ponto específico da rede. Independente do local e da técnica de fusão utilizada, este protocolo tem dois propósitos principais: i) diminuir a quantidade de mensagens trocadas entre os sensores; e ii) prover informações com maior precisão para as aplicações interessadas nos dados fornecidos pela RSSF.

A fusão de dados minimiza a redundância dos dados lidos, diminui o número de transmissões e, conseqüentemente, aumenta o tempo de vida global da RSSF. De certa forma, a fusão também permite uma maior precisão dos dados coletados [Nakamura et al. 2007], já que leituras individuais dos sensores não têm um valor tão expressivo e podem ser inerentemente não confiáveis. Além disto, os usuários normalmente não estão interessados em dados isolados, mas sim em padrões globais que representam a realidade do ambiente monitorado [Hellerstein et al. 2003].

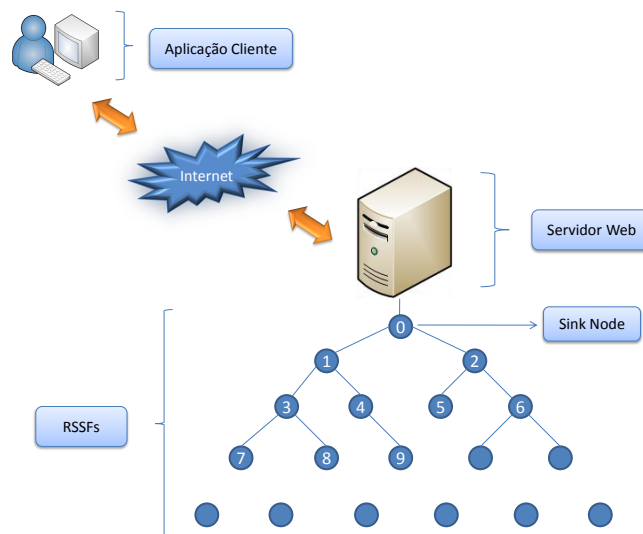
O protocolo Sol foi desenvolvido e avaliado através de experimentos de monitoramento de um ambiente controlado que consiste do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Goiás (UFG). Este ambiente requer um monitoramento integral da temperatura, umidade e luminosidade, pois mudanças bruscas dessas variáveis podem comprometer os experimentos de crescimento de tecido vegetal e, conseqüentemente, invalidar as pesquisas realizadas ou gerar resultados duvidosos.

Dentre as contribuições deste trabalho destacam-se: i) a especificação e implementação de um protocolo de fusão de dados que minimiza a quantidade mensagens trocadas e, conseqüentemente, aumenta o tempo de vida útil das RSSFs; ii) projeto e desenvolvimento de uma infra-estrutura que permite que os dados coletados por sensores reais implantados em um ambiente de produção possam ser acessados e manipulados por qualquer dispositivo na Internet; iii) experimentação em cenários reais de produção, contribuindo para o trabalho desempenhado pelos pesquisadores do ICB da UFG.

## **2. Infra-estrutura de Coleta de Dados e Protocolo de Roteamento**

Nas RSSFs, a infra-estrutura de coleta de dados e o protocolo para roteamento das mensagens entre os nós devem se adequar às características particulares de cada cenário de aplicação. Neste trabalho, o cenário de aplicação da RSSF é um ambiente fechado, no qual os nós podem ser distribuídos de forma uniforme, com baixa densidade de distribuição e posicionamento estático. A infra-estrutura projetada para a coleta de dados nesse cenário de aplicação foi organizada em três partes principais:

- **Aplicação cliente:** a aplicação cliente pode ser executada em estações de trabalho ou em dispositivos móveis, como por exemplo PDA's e celulares. A partir desta aplicação, o cliente pode consultar os dados coletados pela RSSF e alterar coeficientes de funcionamento da rede, como, por exemplo, a frequência de coleta dos dados;
- **Servidor Web:** o servidor web é responsável por intermediar a comunicação entre a aplicação cliente e a RSSF;



**Figura 1. Infra-estrutura de Coleta de Dados.**

- RSSF: os sensores são responsáveis por coletar os dados do ambiente e repassá-los ao *sink* (nó sorvedouro ou raiz), minimizando o número de mensagens na rede. Para isso é utilizado o protocolo de fusão de dados Sol.

Com relação ao roteamento das mensagens, optamos por usar um protocolo simples e estático, responsável apenas por atender aos requisitos básicos de comunicação entre os nós da rede. Focamos nossa atenção no projeto e avaliação do protocolo específico de fusão de dados, o qual visa reduzir o número de mensagens trafegando na rede.

### 3. Fusão de Dados

Considerando as características das RSSFs e as especificidades das suas aplicações, o paradigma de *fusão de dados* dentro da própria rede destaca-se como uma solução adequada. O foco tradicional de protocolos centrados em endereço muda para uma abordagem centrada em dados, a qual permite a consolidação de dados redundantes e a redução do número de mensagens na rede. O paradigma pode ser visto como um conjunto de métodos para combinar dados provenientes de diferentes nós em uma única informação.

Um termo normalmente adotado para referenciar esse paradigma é *agregação de dados*. Comumente, o termo tem aparecido como sinônimo de fusão. No entanto, [van Renesse 2003] define agregação como “habilidade de sumarizar”, o que significa resumir, reduzir a quantidade de dados. Dentre as funções de agregação temos: o máximo, o mínimo e a média dos dados. Neste trabalho, consideramos que a agregação de dados é um tipo particular de fusão de dados.

#### 3.1. Agregação, Concatenação e Concatenação Baseada em Expressão

O protocolo proposto — denominado Sol — foi projetado para implementar três tipos de fusão: agregação de dados, concatenação de dados e concatenação de dados baseada em expressão. A *agregação de dados* é realizada por meio do cálculo de uma média dos dados coletados. Já a *concatenação de dados* ocorre quando a aplicação solicita que os

dados sejam reunidos e enviados em apenas uma ou mais mensagens (dependendo do tamanho configurado para a mensagem). Note que, diferentemente da agregação, na qual os dados são condensados em apenas uma mensagem, na concatenação temos a redução do número de mensagens sem a sumarização das mesmas. Isto permite que as aplicações tenham ciência do valor obtido em cada amostra reportada pelos sensores, ao contrário da agregação. Por fim, a *concatenação de dados baseada em expressão* segue a mesma abordagem da concatenação de dados. No entanto, temos um maior refinamento das informações coletadas, já que a aplicação pode definir uma “expressão” para determinar quais dados serão concatenados. Por exemplo, a aplicação pode solicitar a concatenação dos dados nos quais a temperatura seja superior a 30 graus Celsius.

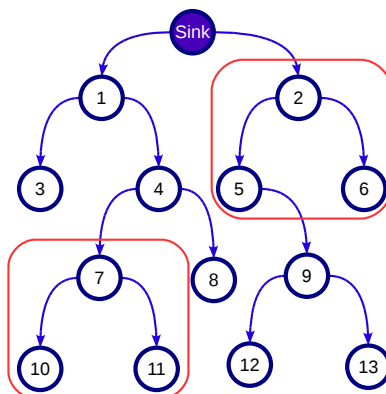
Os tipos de fusão de dados propostos no protocolo Sol apresentam algumas vantagens se comparados àqueles apresentados em [Younis et al. 2002] e [Nakamura and Loureiro 2008], pois permitem um monitoramento mais refinado de ambientes controlados, além de um maior controle da RSSF por parte da aplicação. Essas vantagens provêm dos seguintes fatores: (i) aplicações podem realizar consultas aos dados sensoriados em pontos determinados do ambiente e; (ii) a aplicação pode alterar parâmetros de configuração da rede, como, por exemplo, o intervalo de tempo de coleta de dados referentes aos fenômenos monitorados. Essa possibilidade de reconfigurar as consultas durante a execução da aplicação permite minimizar o consumo de recursos da rede com base em informações obtidas da própria aplicação.

Apesar da fusão de dados ter o intuito de minimizar a quantidade de mensagens trocadas entre os nós visando prolongar o tempo de vida da RSSF, somente o desenvolvedor da aplicação é quem sabe com que granularidade a fusão deve ser feita, pois é ele quem conhece as necessidades da aplicação final. Por exemplo, uma solução que faça a fusão com base em uma média predeterminada pelo próprio protocolo de fusão pode gerar dados em uma taxa não desejável pela aplicação, ou distorcer a interpretação dos dados sensoriados em função da taxa de sumarização realizada.

Para oferecer um maior controle do processo de fusão às aplicações, classificamos a fusão de dados quanto à coleta e ao local onde será realizada. Isto permitirá aos desenvolvedores de aplicações solicitar, por exemplo, uma agregação de dados que ocorre a cada N coletas ou a cada intervalo de tempo definido. Além disto, essas coletas podem ser realizadas em um determinado nó ou grupo de nós da rede. Esses mecanismos de controle de fusão de dados (relacionados ao tipo de coleta e ao local) são implementados nos diferentes tipos de fusão suportados (agregação, concatenação e concatenação baseada em expressão) e são descritos a seguir.

- Quanto à Coleta:
  - Fusão baseada no número de coletas (FNC): determina quantas coletas serão feitas antes da realização da fusão.
  - Fusão baseada no tempo (FT): escolhe o intervalo de tempo durante o qual será realizada a fusão. Este período pode variar de segundos a horas.
- Quanto ao Local:
  - Fusão de dados no nó (FDN): ocorre no próprio nó sensor, podendo ser por número de coletas (FNC) ou por tempo (FT).
  - Fusão de dados na rede (FDR): ocorre em uma região denominada “grupo”. Cada grupo é formado por um nó pai e seus filhos a um salto

de distância. Na Figura 2, temos a representação de dois grupos: o grupo cujo pai é o nó 2 e tem como filhos 5 e 6; e o grupo cujo pai é o nó 7, e tem como filhos os nós 10 e 11.



**Figura 2. Fusão de dados na rede - Caracterização do grupo.**

Usando a fusão de dados no nó (FDN), é possível determinar de forma mais precisa um coeficiente sensoriado em um determinado ponto da rede. Por exemplo, determinar o histórico das últimas 10 medidas de temperatura de uma região do laboratório. Este histórico permite aos usuários da aplicação gerar gráficos estatísticos das variações ocorridas durante a coleta dessas amostragens e, por fim, obter informações que auxiliarão na realização das atividades inseridas no ambiente monitorado. Usando a fusão de dados na rede (FDR), a aplicação pode realizar uma consulta mais abrangente, determinando a temperatura de uma região delimitada por alguns nós sensores.

#### **4. Protocolo de Fusão de Dados**

A base para o funcionamento do protocolo de fusão de dados está na especificação do conteúdo das mensagens de configuração e de resposta. Por meio dessas mensagens os nós sensores podem identificar o tipo de fusão a ser realizada, ou mesmo, desabilitar o mecanismo de fusão, passando a operar somente como nós roteadores. A definição das estruturas básicas das mensagens de configuração e de resposta são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Como a RSSF opera de maneira assíncrona, para as mensagens de resposta foi desenvolvido um mecanismo de *timeout* para evitar que dados envelhecidos (i.e., leituras defasadas) sejam repassados à aplicação. Foram realizados experimentos que permitiram determinar o *timeout* como sendo  $3/2$  do intervalo entre uma coleta de dados e outra. Por exemplo, caso a aplicação escolha o intervalo de tempo de sensoriamento de 10 segundos, o *timeout* será automaticamente configurado para 15 segundos e as mensagens que chegarem após esse tempo serão descartadas.

##### **4.1. Agregação de Dados**

A agregação de dados tem o intuito de minimizar o número de mensagens trocadas entre os sensores fazendo uma média dos valores coletados durante um intervalo de tempo (FT) ou em função do número de coletas(FNC). A Figura 3) ilustra o funcionamento da agregação de dados através do protocolo proposto.

Campo	Dado	Descrição
<b>ID_Sender</b>	int	Identifica o remetente da mensagem.
<b>ID_Receiver</b>	int	Identifica o destinatário da mensagem. Caso o destinatário seja -1, a mensagem é propagada em broadcast.
<b>Fusion</b>	int	Identifica qual o tipo de fusão será realizada: agregação, 1; concatenação, 2; e concatenação baseada em expressão, 3.
<b>Flag_Number</b>	boolean	<i>True</i> determina fusão de dados baseada no número de coletas.
<b>Flag_Time</b>	boolean	<i>True</i> determina fusão de dados baseada no tempo.
<b>Flag_Group</b>	boolean	<i>True</i> determina fusão de dados realizada por grupo.
<b>Sample_Number</b>	int	Número de coletas para implementar a fusão.
<b>Sample_Time</b>	int	Intervalo de tempo para implementar a fusão.
<b>Concat_Exp</b>	int	Intervalo que define a concatenação baseada em expressão.

Tabela 1. Estrutura da Mensagem de Configuração.

Campo	Dado	Descrição
<b>ID_Sender</b>	int	Identifica o remetente da mensagem.
<b>ID_Receiver</b>	int	Identifica o destinatário da mensagem.
<b>Flag_Warning</b>	int	Utilizada para a determinação de possíveis erros e falhas na rede. Assim, a partir de uma tabela de números será possível identificar o erro ocorrido e o nó que o enviou.
<b>Data</b>	int	Dados coletados (ex., temperatura).

Tabela 2. Estrutura da Mensagem de Resposta.

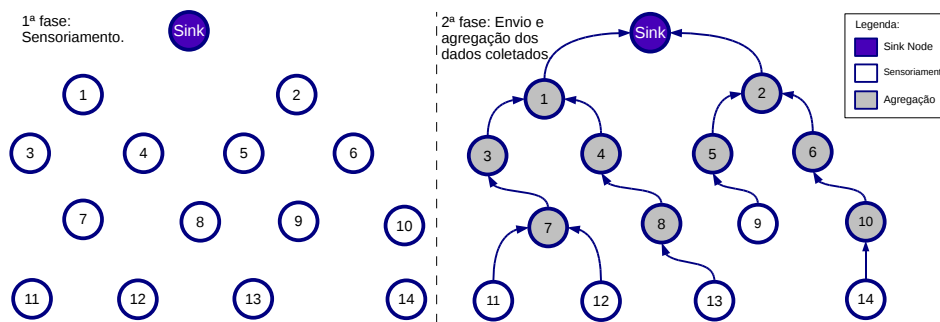


Figura 3. Agregação de dados.

A primeira fase é constituída do sensoriamento. Durante essa fase os nós realizam a coleta de informações do ambiente de acordo com a configuração escolhida pela aplicação. Na segunda fase os nós líderes ou intermediários, representados na Figura 3 pelos nós *Agregação*, aguardam respostas dos nós filhos utilizando uma das duas abordagens: número de coletas ou intervalo de tempo. Em seguida, o nó líder realiza a agregação dos dados recebidos, juntamente com seus dados coletados, e repassa a mensagem em apenas um pacote para o seu nó pai. Caso ocorra *timeout* em um nó líder, mesmo não tendo recebido as mensagens de todos os seus nós filhos a um salto de distância, ele realiza a agregação dos dados recebidos e os repassa ao nó pai.

Após a primeira agregação, a mensagem continua seu percurso em direção ao

nó sorvedouro (*sink*), sendo roteada pelos nós intermediários. Por fim, os dados serão disponibilizados para a aplicação cliente.

## 4.2. Concatenação de Dados

Em alguns cenários, a aplicação pode requerer o valor específico medido por cada sensor no ambiente monitorado. Nesse caso, podemos utilizar a concatenação de dados. Um exemplo de cenário de uso pode ser visto na Figura 4. Suponha que a aplicação configure a rede para realizar a concatenação dos dados do grupo 7 a cada 5 coletas.

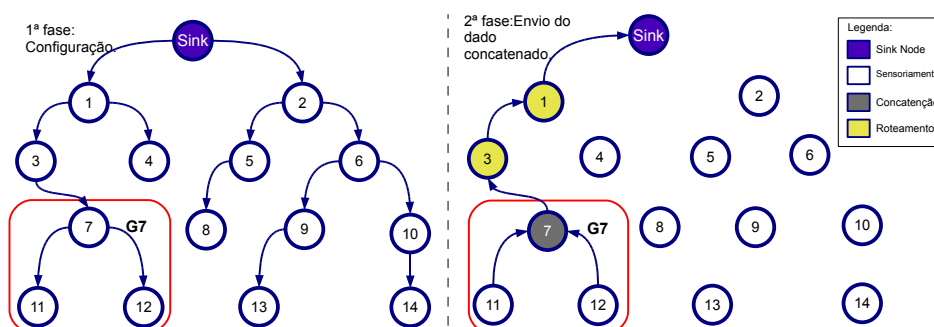


Figura 4. Concatenação de dados.

Primeiramente, a aplicação envia uma mensagem de configuração da RSSF definindo as tarefas de cada nó: os nós 11 e 12 realizarão o sensoriamento; o nó 7 será responsável por realizar a concatenação dos dados recebidos; e os nós 1 e 3 funcionarão apenas como roteadores, transportando os dados ao nó sorvedouro. Assim, temos as seguintes ações: os nós 11 e 12 realizam a coleta dos dados e enviam ao nó 7. Após o recebimento destas mensagens, os dados são encapsulados em um único pacote (através de uma concatenação sem sumarização) e repassados aos nós roteadores que encaminharão essas mensagens ao nó sorvedouro, disponibilizando-as à aplicação.

## 4.3. Concatenação de Dados Baseada em Expressão

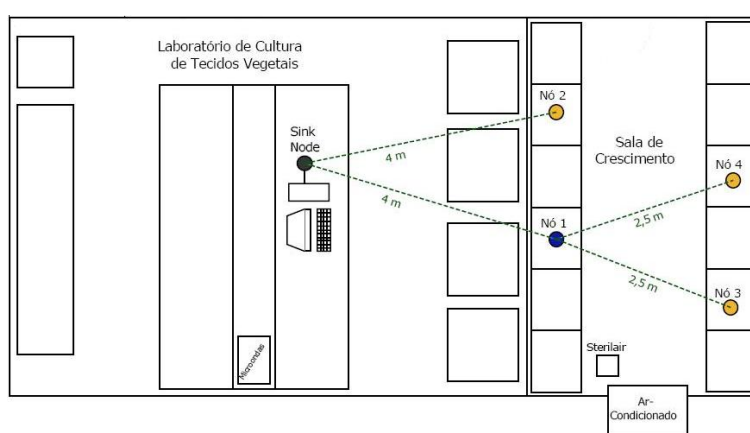
A concatenação baseada em expressão permite que as aplicações obtenham somente dados que atendam a determinadas restrições. Por exemplo, o usuário de uma aplicação pode desejar obter todas as amostras de dados coletados pelos sensores de uma dada região, cujas temperaturas estejam acima de 30 graus. Nesse caso, somente os dados que satisfizerem a esta restrição serão concatenados. Na Figura 4, o nó 7 concatenaria as mensagens recebidas dos nós 11 e 12, e, caso satisfizessem a expressão enunciada, ele as enviaria para a aplicação.

## 5. Avaliação do Sistema

Experimentos em um ambiente real foram realizados para verificar o desempenho do protocolo proposto. O ambiente monitorado foi a Sala de Crescimento do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Instituto de Ciências Biológicas da UFG. O material vegetal deste laboratório precisa ser mantido em condições controladas de cultivo (temperatura, umidade e fotoperíodo) visando avaliações e acompanhamento do crescimento, multiplicação e enraizamento das amostras. Atualmente, técnicas rudimentares são utilizadas para realizar o controle dessas variáveis ambientais e alguns experimentos chegam

a ser descartados por passarem muito tempo fora das condições ambientais requeridas. Tendo em vista esse cenário, implantamos nossa infra-estrutura neste ambiente, visando aumentar a eficiência do monitoramento e controle das condições climáticas a que essas amostras são expostas.

Para realizar os experimentos, utilizamos um kit com sensores TelosB, fabricados pela Crossbow [Crossbow ], e o sistema operacional TinyOS 2.0 [Levis et al. 2002]. Como pode ser visto na Figura 5, o cenário foi dividido em dois ambientes: (i) Sala de Crescimento de Tecidos, onde foram dispostos 4 sensores; e (ii) Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais, onde foram colocados o desktop e o nó sorvedouro. A rede consiste de 5 nós sensores, onde o nó 1 foi configurado como líder dos nós 3 e 4.



**Figura 5. Planta Baixa - Laboratório de Crescimento de Tecidos Vegetais.**

Para melhor avaliar a eficiência do protocolo Sol, o experimento foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, utilizamos uma rede de sensores convencional com roteamento estático e sem o protocolo de fusão de dados. Na segunda etapa, realizamos os testes com o protocolo Sol. Em ambas as etapas, verificamos no início e no final de cada etapa o nível de tensão das pilhas utilizadas, através de um voltímetro de precisão, permitindo que fosse calculado o percentual de descarga das baterias.

Na primeira etapa, as coletas em cada sensor foram realizadas a cada 2 minutos e enviadas ao nó sorvedouro por um período de 15 horas. Utilizando o protocolo Sol, configuramos os sensores para realizarem fusão de dados locais e enviarem uma mensagem com a média de cada variável monitorada ao nó líder. Além disso, o nó 1 foi configurado para realizar fusão de dados da rede, transmitindo ao nó sorvedouro somente uma mensagem com a média entre os dados obtidos localmente e os recebidos dos nós 3 e 4.

## 5.1. Resultados

Os Gráficos 1 e 2 apresentam as comparações entre o protocolo convencional e o protocolo de fusão Sol. No Gráfico 1, verificamos o número de mensagens trocadas entre os nós sensores para toda a rede. O protocolo Sol teve uma redução do número de mensagens de cerca de 33% comparado ao protocolo convencional. Para o Gráfico 2, comparamos o consumo de bateria. Nesta avaliação, o protocolo Sol também teve ganho, economizando aproximadamente 4,8% no consumo de energia comparado ao protocolo convencional.



## 6. Trabalhos Relacionados

O protocolo de fusão de dados Sol adota idéias similares às soluções baseadas em *clusters*. Nos modelos com *clusters* [Younis et al. 2002] a rede é organizada como um conjunto de grupos (*clusters*), onde cada nó pertence ao menos a um grupo. Todo grupo tem um líder que exerce controle local sobre o grupo. O líder do grupo é responsável pela fusão dos dados coletados pelos nós do grupo e pela comunicação com os outros grupos. O protocolo Sol considera um tipo particular de grupo, configurado para redes estáticas, baseado em uma estrutura em árvore, no qual o líder é o nó pai e os demais membros são os nós filhos a um salto do nó pai. O nó líder no protocolo Sol desempenha as funções típicas de um líder de grupo. A principal diferença é que a fusão dos dados pode ser realizada tanto pelo nó líder (fusão na rede), quanto pelos nós filhos (fusão local).

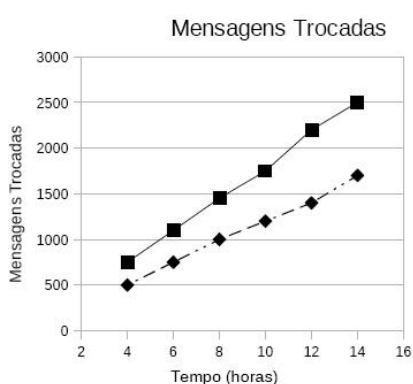


Gráfico 1. Mensagens.

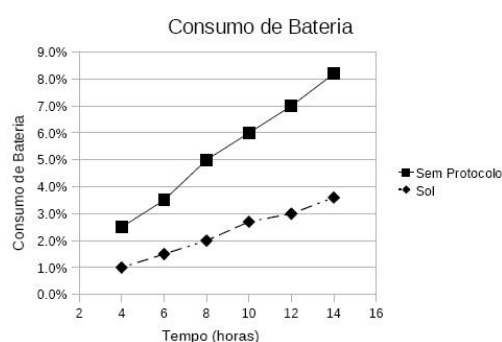


Gráfico 2. Bateria.

O protocolo Sol adota o paradigma de computação distribuída *in-Network* e toma como referência o paradigma *Active Network*, ambos apresentados em [Nakamura and Loureiro 2008]. A principal diferença é que no protocolo Sol a fusão de dados é realizada com base no intervalo de tempo e no número de coletas, parâmetros que podem ser alterados dinamicamente pela aplicação.

## 7. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, implementamos um protocolo de fusão de dados e optamos por utilizar um protocolo de roteamento estático, capaz de atender aos requisitos básicos de comunicação entre os nós. Sabemos que protocolos de roteamento dinâmicos são mais eficientes e adequados para RSSFs, mesmo para o monitoramento de ambientes controlados. Entretanto, o objetivo deste trabalho não foi desenvolver um novo protocolo de roteamento, mas sim um protocolo de fusão de dados, com o objetivo de reduzir o número de mensagens trocadas entre os nós. Como trabalho futuro pretendemos experimentar protocolos de roteamento dinâmicos, tais como TOSB [Levis et al. 2002], PROC [Macedo et al. 2005] e [Akkaya and Younis 2005], e, se necessário, desenvolver um protocolo que melhor atenda aos requisitos específicos do protocolo Sol.

Apesar de não prover mecanismos de roteamento dinâmico, a adoção do protocolo de roteamento estático foi essencial para termos uma infra-estrutura de comunicação funcional, o que nos permitiu avaliar e obter resultados da aplicação do protocolo de fusão proposto em ambientes reais de produção.

Ainda como trabalho futuro, pretendemos implementar novas técnicas de fusão de dados, e desenvolver mecanismos de interação, configuração e implantação do protocolo Sol de forma distribuída. Além disto, pretendemos realizar experimentos com uma grande densidade de sensores em um ambiente simulado, utilizando alguns dos simuladores *J-Sim*, *Ptolemy* ou *VisualSense* [Sobeih et al. 2005].

Acreditamos que a metodologia adotada neste trabalho – iniciar estudos e testes em cenários com escopo reduzido e sensores reais, e então realizar experimentos em um ambiente simulado, com uma maior densidade de nós sensores – seja a maneira mais adequada para desenvolver soluções para as RSSFs. A possibilidade de experimentar e avaliar os parâmetros de funcionamento da solução proposta em um ambiente real de execução permitirá configurar o ambiente simulado de forma mais correta, gerando resultados e avaliações mais próximos daqueles que deverão ser obtidos em um ambiente com sensores reais.

## Referências

- Akkaya, K. and Younis, M. (2005). A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 3:325–349.
- Crossbow. Crossbow technology, telosb platform. [www.xbow.com](http://www.xbow.com), acessado dezembro 2008.
- Hellerstein, J. M., Hong, W., Madden, S., and Stanek, K. (2003). Beyond average: Towards sophisticated sensing with queries. In *In IPSN*, pages 63–79.
- Levis, P., Madden, S., Polastre, J., Szewczyk, R., Whitehouse, K., Woo, A., Gay, D., Hill, J., Welsh, M., Brewer, E., and Culler, D. (2002). Tinyos: An operating system for sensor networks. *IEEE INFOCOM*, pages 361–366.
- Macedo, D. F., Luiz H. A. Correia, A. L. d. S., Loureiro, A. A. F., and Nogueira, J. M. (2005). A pro-active routing protocol for continuous data dissemination wireless sensor networks. *10th IEEE Symposium on Computer and Communications (ISCC)*, pages 361–366.
- Nakamura, E. F. and Loureiro, A. A. F. (2008). Information fusion in wireless sensor networks. *SIGMOD*.
- Nakamura, E. F., Loureiro, A. A. F., and Frery, A. C. (2007). Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models and classifications. *ACM Computing Surveys*, 39(3):A9/1–A9/55.
- Sobeih, A., Chen, W.-P., Hou, J. C., Kung, L.-C., Li, N., Lim, H., Hung-Ying, and Zhang, H. (2005). J-sim: A simulation environment for wireless sensor networks. *IEEE Computer Science*.
- van Renesse, R. (2003). *The importance of aggregation*. In *André Schiper, Alexandre A. Shvartsman, Hakim Weatherspoon, and Ben Y. Zhao*, volume 2584 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer.
- Younis, M., Youssef, M., and Arisha, K. (2002). 10th iee international symposium on modeling, analysis and simulation of computer and telecommunications systems. 129-136. IEEE Computer Society.