

# Um Sistema Publicador/subscritor com Subscrições Geograficamente Distribuídas para RSSFs <sup>\*</sup>

Ricardo Mascarenhas e Hugo Miranda

Universidade de Lisboa

Faculdade de Ciências

LaSIGE

{rmascarenhas@lasige.di.fc.ul.pt,hmiranda@di.fc.ul.pt}

**Resumo** As redes de sensores sem fios (RSSFs) são compostas por um grande número de pequenos dispositivos com restrições a nível energético, capacidade de processamento e de memória que monitorizam o ambiente em que estão inseridas. As fortes restrições a que estão sujeitas obrigam à utilização de paradigmas de comunicação específicos, que tenham em consideração uma utilização racional dos recursos.

Este artigo apresenta um sistema Publicador/Subscritor que tem em conta o interesse dos nós em determinados tipos de informação e suprime o envio de informação sem relevância. Para além disso, o sistema adapta-se às restrições de energia e de memória dos dispositivos.

## 1 Introdução

Com a evolução da tecnologia e conseqüente diminuição do tamanho dos dispositivos, as redes de sensores sem fios (RSSFs) tornaram-se extremamente apelativas. As RSSFs não necessitam de uma infra-estrutura de suporte à comunicação, e são tipicamente compostas por dispositivos de pequena dimensão com baixo poder computacional, memória e energia limitada. Os sensores estão equipados com tecnologia que lhes permite obter informação sobre o ambiente em que estão inseridos (por exemplo: temperatura, humidade, pressão, movimento) e estão tipicamente dispersos pela área de observação onde recolhem dados e, após algum processamento, os enviam para um ou mais nós *sink*, que se encarregam de fazer chegar a informação ao utilizador final. A utilização deste tipo de redes é apropriada para um vasto número de aplicações, como por exemplo, monitorização de habitats, agricultura de precisão, monitorização de edifícios e aplicações militares [1, 7, 18].

Os sensores estão equipados com uma interface de rede sem fios que lhes permite enviar informação directamente para os nós que se encontrem dentro do seu raio de transmissão. A entrega de mensagens a nós mais distantes é

---

<sup>\*</sup> This work has been partially supported by FCT project REDICO (PTDC/EIA/71752/2006) through POSI and FEDER.

conseguida por retransmissões sucessivas, realizadas por diferentes dispositivos. A descoberta de uma sequência de nós entre a origem e o destino da mensagem é realizada por protocolos de encaminhamento para redes não infra-estruturadas.

Tipicamente, os nós sensores são programados em tempo de produção para utilizar a sua limitada capacidade de processamento na avaliação da relevância da informação obtida, ou seja, se a sua retransmissão justifica o consumo de energia necessário para a entrega ao *sink* mais próximo. Com o aumento do número de sensores, aumenta também o volume e diversidade de informação recolhida. Adicionalmente, abre-se caminho à especialização dos nós *sink*, que poderão seleccionar, de forma independente dos restantes, os tipos de informação que consideram relevantes. Neste cenário os sensores passam a ter que identificar correctamente o(s) *sink(s)* a quem a informação deve ser entregue. Impõe-se por isso a definição de novos modelos de comunicação, que contemplem adequadamente casos em que nenhum nó *sink* esteja interessado em algumas das amostras, ou esteja interessado apenas quando um conjunto de factores seja satisfeito. A incapacidade de incorporar condições como as anteriores no modelo de comunicação pode levar ao envio desnecessário de um elevado número de mensagens, que implicam um gasto energético não negligenciável e consequente diminuição de longevidade da rede [9].

Os sistemas Publicador/Subscritor [10] (Pub/Sub) fornecem as funcionalidades necessárias para o modelo dinâmico de RSSFs apresentado acima. Num sistema Pub/Sub os *publicadores* produzem *publicações*, unidades de informação não endereçadas que são entregues ao sistema. Os *subscritores*, por sua vez, expressam perante o sistema o seu interesse em publicações com determinadas características. Cabe ao sistema Pub/Sub a responsabilidade de entregar as publicações aos subscritores que nelas estejam interessados. Este modelo de comunicação molda-se perfeitamente às necessidades das RSSFs descritas em cima pois a notificação da produção de informação de interesse contribui para a redução do número de mensagens desnecessárias.

As concretizações descentralizadas de sistemas Pub/Sub para redes sem fios poderão ser posicionadas entre dois extremos. Um consiste na inundação das subscrições, onde todos os nós retransmitem as subscrições escutadas. Deste modo, as subscrições chegam a todos nós da rede permitindo que os publicadores possam determinar localmente quais os subscritores a quem a publicação deverá ser entregue. Este extremo terá maior eficiência num cenário onde importa otimizar o custo da entrega de publicações, ou seja, quando se espera que o número de publicações exceda o número de subscrições. Redes de monitorização de longa duração, com uma filiação aproximadamente constante ao longo do tempo são um bom exemplo deste tipo de aplicação. O outro consiste na inundação das publicações, delegando nos nós a responsabilidade de transmitir e verificar se a publicação satisfaz a sua subscrição. Este extremo será preferível para redes onde se espera um número muito reduzido de publicações, por exemplo aquelas cujo objectivo é a notificação de um único evento, como um fogo florestal. Contudo, nenhum dos extremos tem uma concretização adequada para RSSFs. Uma vez que cada transmissão/recepção efectuada tem um custo energético não neg-

ligenciável [9], importa encontrar soluções que reduzam o número de operações de transmissão a um mínimo. Do mesmo modo, a inundação de subscrições não é escalável por poder vir a consumir uma larga porção da escassa memória dos sensores.

Neste artigo é proposta e avaliada uma solução de compromisso, em que a informação relativa às subscrições é parcialmente replicada pelos dispositivos que compõem a rede. As subscrições são distribuídas de modo a que um qualquer publicador as possa obter, independentemente da sua localização, com um baixo custo. As publicações são enviadas utilizando uma versão de um protocolo de encaminhamento convencional para redes não infra-estruturadas adaptado aos objectivos do trabalho. O remanescente do artigo está organizado da forma descrita em seguida. A Sec. 2 apresenta em mais detalhe o modelo Publicador/Subscritor e alguns dos trabalhos realizados no âmbito das redes sem fios. O sistema proposto é apresentado na Sec. 3 e avaliado na Sec. 4. Finalmente, a Sec. 5 conclui o artigo e discute o trabalho futuro.

## 2 Trabalho relacionado

Uma das características distintivas dos diferentes sistemas de Pub/Sub existentes é a expressividade com que um subscritor consegue indicar os seus interesses. No modelo baseado em tópicos (por exemplo, [20, 22]), quer as publicações, quer as subscrições são identificadas por um assunto. Os subscritores são notificados sempre que o assunto da informação publicada satisfaça o assunto especificado nas subscrições. Este modelo tem como principal desvantagem a fraca expressividade que oferece aos subscritores contudo, é facilmente projectado num modelo de difusão selectiva (*multicast*), com cada tópico a corresponder a um endereço distinto.

O modelo baseado em conteúdos oferece uma maior expressividade já que permite a utilização de operadores sobre os atributos das subscrições e não apenas sobre o tópico. Neste modelo assume-se que um subscritor está interessado numa publicação se e só se todas as restrições declaradas na subscrição são satisfeitas. Este modelo é indicado para RSSF em que os nós *sink* podem refinar os seus interesses de acordo com as suas necessidades. Por exemplo, uma aplicação para detecção de incêndios estaria exclusivamente interessada em publicações registando temperatura superior a 60° e humidade inferior a 70%. Alguns sistemas que usam este modelo estão descritos em [3, 6, 8, 15, 17].

Existem diversas estratégias de concretização de sistemas Pub/Sub [10]. Alguns sistemas centralizam a correspondência entre as publicações e os subscritores em nós bem conhecidos, denominados mediadores (*brokers*). Apesar de simplificarem consideravelmente a complexidade do sistema, a forte dependência num conjunto limitado de dispositivos, e os recursos computacionais requeridos tornam os brokers inadequados para os cenários de aplicação das RSSF.

Os sistemas descentralizados não recorrem a *brokers*, distribuindo a responsabilidade pelos participantes pelo que são o mais adequado para RSSFs. A descentralização do sistema Pub/Sub é uma mais valia mas apresenta um con-

junto de desafios acrescidos que resulta do aumento da complexidade resultante da distribuição. No caso das RSSFs estamos interessados em soluções que requeiram simultaneamente baixa utilização da memória e a transmissão de um número limitado de mensagens por todos os participantes.

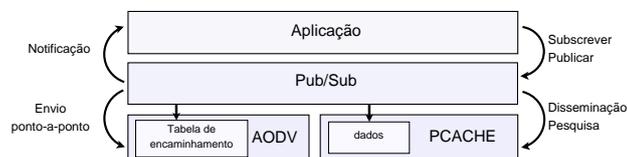
O SPINE [4] é um sistema de Pub/Sub para redes parcialmente infra-estruturadas (*mesh*). O sistema aproveita o facto de a rede dispor de alguns dispositivos sem restrições de energia e com uma localização fixa, os quais designa de *routers*, utilizando-os para armazenar as subscrições. O SPINE assume que os *routers* estão dispostos em matriz. As subscrições são disseminadas pelos routers que se encontrem na mesma linha que o subscritor e as publicações pelos routers que se encontram na mesma coluna. Sempre que os routers recebem uma publicação, verificam se há subscritores interessados na sua linha e encaminham-na para o subscritor. Apesar da sua simplicidade, a aplicação deste sistema a RSSFs não é trivial já que obrigaria a que os nós sensores tivessem o conhecimento da sua localização geográfica.

O objectivo do Data Centric Storage (DCS) [19] é distribuir e localizar facilmente informação numa rede não infra-estruturada. Os dados são identificados por uma chave e a esta é associado um par de coordenadas geográficas através de uma função determinista. Os participantes responsáveis por salvaguardar cada item de dados são aqueles que formam um círculo em torno da coordenada geográfica determinada para o item. Uma aplicação possível do DCS é atribuir uma chave a cada tópico de um sistema Pub/Sub, nomeando assim os dispositivos mais próximos da localização como mediadores [2]. Contudo, este modelo não é adequado para sistemas Pub/Sub baseados em conteúdos. Adicionalmente, o DCS requer que todos os nós tenham conhecimento das suas coordenadas geográficas e dos limites da área de rede, o que diminui a aplicabilidade do sistema.

### 3 Sistema Pub/Sub

Para colmatar as limitações impostas pelos dispositivos que compõem uma RSSFs, propomos um sistema Pub/Sub descentralizado baseado em conteúdos. A nossa aproximação assenta numa replicação parcial das subscrições mas com as réplicas distribuídas geograficamente. Enquanto a replicação parcial diminui a quantidade de memória utilizada em cada dispositivo, a distribuição geográfica das réplicas contribui para um baixo consumo energético, uma vez que o conjunto integral das subscrições pode ser obtido dos vizinhos de qualquer nó da rede. No nosso sistema, cabe aos publicadores recolher as subscrições e entregar as publicações aos subscritores, utilizando encaminhamento ponto-a-ponto.

A Fig. 1 ilustra a arquitectura do sistema proposto. A interacção entre a aplicação e o sistema de Pub/Sub é efectuada através das primitivas *Subscrever* e *Publicar*. A primitiva *Notificação* dá a conhecer à aplicação as publicações que satisfazem a subscrição realizada. O nível Pub/Sub utiliza os serviços de dois módulos: *i*) um serviço de replicação parcial com distribuição geográfica para redes não infra-estruturadas denominado PCACHE [14], encarregue da replicação e recollecção das subscrições; e *ii*) o protocolo de encaminhamento



**Figura 1.** Arquitectura do sistema

AODV [16] através do qual são disseminadas as publicações. Cada um destes módulos disponibiliza ao módulo de Pub/Sub acesso para leitura de uma estrutura de dados. A tabela de encaminhamento do AODV é utilizada pelo módulo de Pub/Sub para identificar troços comuns nas rotas para os subscritores. A PCACHE mantém na *zona de dados* a informação que coube ao dispositivo armazenar durante a execução do algoritmo de replicação. No contexto deste trabalho a zona de dados mantém por isso um subconjunto das subscrições efectuadas. Esta é acedida pelo módulo de Pub/Sub para identificação da lista parcial de subscrições que satisfazem uma publicação.

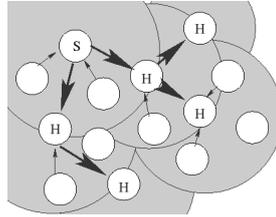
### 3.1 Distribuição geográfica da informação

A PCACHE [14] é um módulo de código intermédio para redes sem fios não estruturadas que replica os dados de tal forma que as réplicas estejam suficientemente distantes para prevenir o excesso de redundância, mas simultaneamente permanecem suficientemente perto de forma a que a informação possa ser obtida por qualquer nó com um número de mensagens reduzido. Esta secção descreve de forma muito abreviada a PCACHE, salientando os aspectos mais relevantes para este trabalho. Informação adicional poderá ser encontrada em [11, 12, 14].

A PCACHE não faz qualquer interpretação sobre os tipos de dados armazenados, assumindo na sua versão mais simples que estes são constituídos por um par <chave,valor>, sendo a chave utilizada para a identificação de duplicados e como critério de pesquisa. É assumido que os dispositivos disponibilizam memória para que a PCACHE possa operar embora não seja necessário que todos os dispositivos disponibilizem a mesma quantidade de memória, facto que possibilita a utilização de diferentes tipos de sensores na mesma rede. O funcionamento da PCACHE não se baseia em informação de localização como o GPS, requerendo apenas que os dispositivos tenham a capacidade de obter a força de sinal (RSSI – Received Signal Strength Indication) das mensagens recebidas.

### 3.2 Subscrições

As subscrições são disseminadas utilizando o mecanismo base da PCACHE, assegurando por isso a distribuição geográfica das réplicas. A informação associada a cada subscrição e salvaguardada na PCACHE é constituída por um filtro de pesquisa e pelo endereço do subscritor. Quando comparado com uma publicação,



**Figura 2.** Recolha de subscrições

o filtro de pesquisa permite identificar se a publicação satisfaz ou não os critérios de subscrição de acordo com o modelo baseado em conteúdos.

Na PCACHE a disseminação de dados é realizada por difusão, utilizando o algoritmo PAMPA [13]. A decisão de armazenar um determinado item de dados é local a cada nó mas condicionado pelo conteúdo das mensagens transmitidas pelos vizinhos e pela memória disponível.

### 3.3 Publicações

A operação de disseminação é decomposta em duas fases: identificação das subscrições relevantes e entrega das publicações. Ambas são geridas pelo publicador.

*Recolha de Subscrições* A recolha de subscrições tem como objectivo reunir no publicador os endereços dos subscritores a quem será destinada a publicação. Para tal, é utilizada a operação de pesquisa da PCACHE, passando o publicador a própria publicação como critério de pesquisa. Os mecanismos de difusão e pesquisa da PCACHE são ortogonais ao tipo de dados utilizado. Por essa razão, a operação de verificação de correspondência, entre os dados guardados em cada nó pela PCACHE e a publicação, é delegada pela PCACHE na instância local do módulo de Pub/Sub. Contudo, cabe à PCACHE o envio das respostas, que respeita o algoritmo de consulta original. Este algoritmo assegura um consumo mínimo de energia, por exemplo por agregar as respostas de diferentes participantes nos nós intermédios e removendo duplicados. O algoritmo de recolha está representado na Fig. 2. Na figura, a recolha é iniciada pelo nó *S* e propagada pelos nós assinalados com *H*. Ao receber a primeira cópia da mensagem, cada nó verifica a sua zona de dados local e caso disponha de subscrições que satisfaçam a publicação envia a informação disponível para o nó *H*, o qual procede à agregação dos dados e os envia por sua vez para o nó anterior.

*Envio das publicações* A PCACHE fornece um serviço de pesquisa em melhor esforço. Em particular, em nenhum instante é possível assegurar ao participante que realiza a operação de recolha de subscrições que *i*) todos os itens de dados que satisfazem a pesquisa foram retornados; *ii*) que não serão recebidas mais respostas. Contudo, conhecendo o algoritmo de pesquisa da PCACHE, é possível determinar um período ao fim do qual todas as respostas já deverão ter sido

entregues e que é proporcional ao número de saltos realizado pela pesquisa. Durante o tempo de espera, o publicador concentra as respostas recebidas numa fila, removendo eventuais duplicados que resultarão de duplicação de registos em nós distintos da rede. Expirado o temporizador no publicador, este tem em principio toda a informação sobre eventuais subscritores, isto é, o endereço dos nós interessados na publicação. As publicações podem agora ser enviadas em mensagens ponto-a-ponto, recorrendo ao protocolo de encaminhamento para redes não infra-estruturadas AODV [16], depois de aplicada uma optimização que reduz o número de mensagens necessárias para a entrega das publicações.

O AODV é um protocolo de encaminhamento reactivo, ou seja, que procura rotas para cada destino apenas quando necessário. A tabela de encaminhamento mantida em cada nó tem uma entrada por destinatário onde, para além de outra informação de controlo, como a actualidade da rota, consta o endereço do próximo nó da rota para o destinatário. O módulo de Pub/Sub utiliza a tabela de encaminhamento do AODV para agregar os destinos de acordo com o próximo nó da rota para o destino. Para cada nó seguinte é enviada uma única cópia da publicação, juntamente com a lista de destinatários a quem a publicação deverá ser entregue. De notar que a mensagem é endereçada ao nó seguinte e não a um dos destinatários pelo que é recebida pelo módulo de Pub/Sub deste nó. Cada vez que um nó recebe a publicação contendo vários destinatários consulta a sua tabela de encaminhamento e repete o processo, enviando tantas mensagens quantos nós seguintes nas rotas para os destinatários. A aplicação da optimização termina quando, no publicador, ou num qualquer nó intermédio, o nó seguinte não é partilhado por mais nenhum destinatário, sendo então a entrega delegada no AODV, através de uma mensagem endereçada ao destinatário.

As respostas entregues tardiamente pela PCACHE não beneficiam do agrupamento. A optimização também não é aplicada aos destinatários para os quais não exista uma entrada na tabela de rotas do publicador. Nestes casos, é criada uma mensagem endereçada ao destinatário e o envio é delegado no AODV. Na presença de um elevado número de operações de descoberta de rota num curto intervalo de tempo, pode surgir instabilidade na rede, um cenário vulgarmente denominado por *Broadcast Storm* [21]. Para reduzir o risco da sua ocorrência, as mensagens com destino a nós que irão provocar operações de pedido de rota são entregues ao módulo AODV a um ritmo cadenciado, permitindo a estabilização da rede entre cada uma das operações.

## 4 Avaliação

O desempenho da solução proposta é comparado com uma versão melhorada da inundação de publicações por utilizar o algoritmo de difusão PAMPA. As aproximações por inundação de publicações têm custo nulo na difusão das subscrições mas um custo que se espera mais elevado por publicação. Importa por isso perceber o ponto a partir do qual o equilíbrio da nossa solução apresenta um custo inferior ao da inundação, sabendo que a solução apresentada terá um custo superior (em número de transmissões) à inundação de subscrições. No entanto,

importa referir que a inundação de subscrições troca a replicação parcial pela replicação total das subscrições, o que representa um aumento do consumo de memória que pode não ser comportável face aos limitados recursos dos dispositivos.

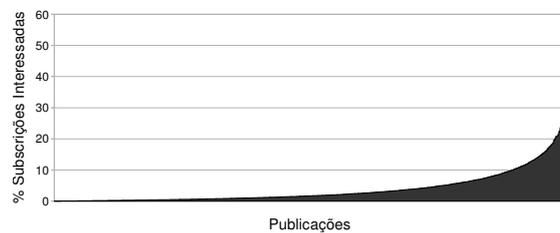
A avaliação é realizada utilizando um protótipo do sistema Pub/Sub estudado desenvolvido para a v. 2.32 do simulador de redes *ns-2*<sup>1</sup>. O mesmo protótipo é utilizado para avaliar o desempenho da inundação de publicações, através da contabilização do número médio de retransmissões realizadas pelo algoritmo PAMPA para a disseminação das subscrições. O protótipo utiliza a concretização do AODV que acompanha o simulador, tendo sido apenas desactivado o temporizador de invalidação de rotas da tabela de encaminhamento por não apresentar qualquer vantagem para cenários sem movimento. Para não prejudicar a avaliação da qualidade de distribuição em condições ideais, o protótipo assume que os dispositivos têm memória suficiente para guardar todas as subscrições que a PCACHE determina, sabendo-se que serão sempre, para cada dispositivo, uma pequena fracção do total [14].

O cenário de simulação é composto por 100 nós uniformemente dispostos por regiões com 8 dimensões distintas, definindo desta forma redes com diferentes densidades. Cada participante dispõe de uma interface de rede sem fios IEEE 802.11b a 11Mb/s, com um raio de transmissão fixo de 250 metros. Desta forma, as diferentes dimensões da rede simulada apresentam também comprimentos de rotas distintos. Os resultados apresentados resultam da execução de 20 simulações para cada área de simulação. Cada simulação combina diferentes disposições dos nós na área de simulação, diferentes escolhas dos atributos nas subscrições e nas publicações, e diferentes momentos de subscrição e publicação.

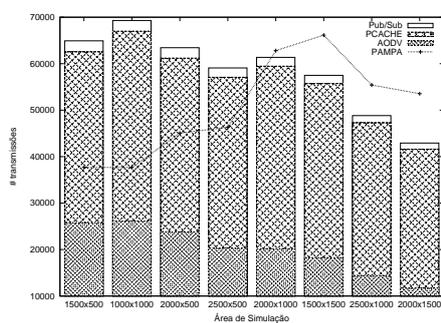
Cada simulação tem a duração de 87120 segundos e é decomposta em 2 fases. Nos primeiros 660 segundos, 50 nós realizam outras tantas subscrições. O momento de cada subscrição é seleccionado aleatoriamente, reservando-se os últimos 60s para a terminação das operações de subscrição. A partir dos 660s, são efectuadas 1440 publicações a uma média de uma publicação por minuto. Uma vez mais não são iniciadas publicações nos últimos 60s, assegurando desta forma o tempo necessário para a entrega das publicações a todos os subscritores.

Para simular um modelo baseado em conteúdos, cada publicação é representada por um tuplo de 4 atributos da forma  $\langle x_1, x_2, x_3, x_4 \rangle, x_i \in [1, 9]$ . Os valores de cada atributo são independentes, gerados aleatoriamente com uma distribuição uniforme. As subscrições por sua vez impõem restrições aos 4 atributos, na forma  $\langle [y_1, y_1 + 3], [y_2, y_2 + 3], [y_3, y_3 + 3], [y_4, y_4 + 3] \rangle, y_i \in [1, 6]$ , com  $y_i$  a ser determinado aleatoriamente de acordo com uma distribuição zipf. Esta distribuição foi escolhida por ter sido demonstrado que representa por exemplo, índices de popularidade de sítios web [5] ou frequências de utilização de palavras, cenários que se aproximam das aplicações antecipadas para os sistemas Pub/Sub. A combinação da distribuição uniforme das publicações com a distribuição zipf das subscrições é ilustrada na Fig. 3, onde para cada uma das

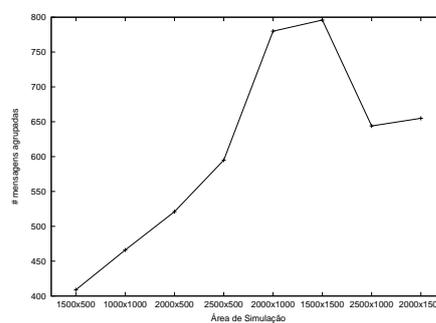
<sup>1</sup> <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>



**Figura 3.** Interesse das subscrições face às publicações produzidas



**Figura 4.** Número total de transmissões



**Figura 5.** Reutilização das rotas

6561 ( $9^4$ ) publicações possíveis é apresentada a proporção de 10000 subscrições que satisfaz.

A Fig. 4 mostra o número de mensagens enviadas em função da área de simulação. Para o sistema Pub/Sub, é ainda representada a contribuição dos diferentes protocolos utilizados para o número total de transmissões. A figura mostra que o número total de transmissões das duas soluções avaliadas evolui em sentidos opostos com a densidade. As transmissões PAMPA tendem a aumentar com a diminuição da densidade, o que se deve ao facto de o PAMPA ter de adaptar a proporção de nós que retransmitem as mensagens à densidade da rede [13]. O PAMPA também é utilizado no sistema Pub/Sub, nomeadamente, nas operações de disseminação e recolha de subscrições. Contudo, uma vez que a recolha de subscrições consiste numa difusão limitada a alguns saltos, o aumento do número de retransmissões com a densidade é atenuado pelos ganhos ao nível do AODV. Enquanto a solução de inundação de publicações apresenta um custo (em número de mensagens) fixo por publicação para cada densidade, o sistema proposto apresenta um custo que reduz com o aumento do número de publicações, uma vez que o número de operações de descoberta de rotas é progressivamente menor. Este facto justifica o maior número de mensagens do sistema proposto em comparação com a inundação de publicações nas densidades mais elevadas. A redução do número de mensagens observada nos testes realizados nas duas menores densidades é atribuído a partições de rede pelo que os resultados não podem ser considerados.

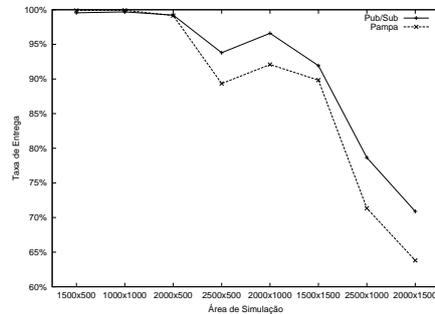


Figura 6. Taxa de entrega

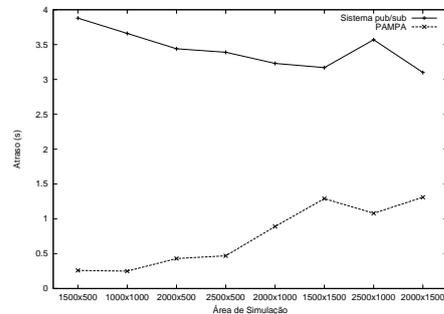


Figura 7. Latência

A redução do número de transmissões AODV é explicada pela Fig. 5, que contabiliza o número de cópias de publicações agrupadas pelo publicador. Como é ilustrado na figura, a diminuição da densidade da rede é acompanhada de um aumento do número de mensagens agrupadas. Com o aumento da distância entre os nós, o número de nós que o AODV pode seleccionar para a construção de rotas diminui. Por esta razão o número de rotas possíveis também diminui, aumentando a probabilidade das mensagens partilharem o mesmo nó seguinte, o que resulta num aumento do número de mensagens agrupadas.

A Fig. 6 apresenta a taxa de entrega de publicações e subscrições. A figura mostra que na ausência de partições a taxa de entrega se mantém acima dos 90%. É perceptível o padrão referente ao decréscimo da taxa de entrega das publicações à medida que a taxa de entrega do PAMPA também decai. A quebra progressiva da taxa de entrega com a diminuição da densidade é atribuída ao isolamento de alguns dispositivos que são por isso incapazes de anunciar as suas subscrições, o que resulta num conhecimento insuficiente dos subscritores e por consequência na descida da taxa de entrega do sistema Pub/Sub.

O processo de recolha de subscrições levado a cabo pelo sistema Pub/Sub introduz naturalmente algum atraso que não é possível colmatar. Os resultados apresentados para a latência da disseminação na Fig. 7, confirmam estas expectativas. Os valores para o sistema Pub/Sub medem o tempo médio decorrido entre a produção da publicação e a sua entrega a cada subscritor. No caso do PAMPA, mede-se o tempo entre a produção da publicação e a sua entrega ao último nó da rede. O gráfico sugere a existência de uma tendência de convergência entre as duas aproximações avaliadas. No caso do sistema Pub/Sub, a diminuição é atribuída à reutilização de rotas, dado que cada transmissão sofre intencionalmente um atraso para assegurar o envio cadenciado de mensagens que evite perturbações na rede. No caso do PAMPA, o crescimento resulta do aumento do número de transmissões e do algoritmo executado pelo protocolo, uma vez que cada dispositivo aplica algum atraso à sua própria retransmissão [13].

## 5 Conclusões e Trabalho Futuro

Este artigo apresenta um sistema Pub/Sub completamente descentralizado que se adapta às restrições e características das RSSFs. A solução apresentada tem como objectivo ser conservadora no uso de recursos, em particular, nos recursos energéticos e na memória usada para armazenamento das subscrições.

A distribuição geográfica das subscrições é efectuada pelos subscritores através da plataforma de código intermédio PCACHE, que apresenta duas vantagens: para além de requerer um número reduzido de transmissões, faz uma utilização racional da escassa memória disponível nos sensores. Os publicadores independentemente da sua localização reúnem informação sobre as subscrições, e enviam as publicações aos respectivos subscritores.

A redução do consumo energético é alcançado através da redução do número de mensagens, conseguindo ainda assim uma taxa de entrega relativamente alta. A latência do sistema sugere que este não é adequado para aplicações com requisitos temporais.

Para trabalho futuro, planeamos variar alguns parâmetros e desenvolver outras optimizações, nomeadamente, estratégias para diminuição da latência do sistema. O estudo do impacto de outros protocolos de encaminhamento e da exploração de outras sinergias com o AODV fazem também parte dos planos para futuros melhoramentos.

## Referências

1. Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E.: Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks* 38(4), 393 – 422 (2002)
2. Albano, M., Chessa, S.: Publish/subscribe in wireless sensor networks based on data centric storage. In: CAMS '09: Proceedings of the 1st International Workshop on Context-Aware Middleware and Services. pp. 37–42 (2009)
3. Banavar, G., Chandra, T., Mukherjee, B., Nagarajarao, J., Strom, R., Sturman, D.: An efficient multicast protocol for content-based publish-subscribe systems. In: *Distributed Computing Systems, 1999. Proceedings. 19th IEEE International Conference on.* pp. 262–272 (1999)
4. Briones, J.A., Koldehofe, B., Rothmel, K.: SPINE: Publish/Subscribe for Wireless Mesh Networks through Self-Managed Intersecting Paths. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Innovative Internet Community Systems (I2CS 2008)*. Schoelcher, Martinique (2008)
5. Cao, L.B.P.: Web caching and zipf-like distributions: Evidence and implications. In: *In INFOCOM.* pp. 126–134 (1999)
6. Carzaniga, A., Rosenblum, D.S., Wolf, A.L.: Design and evaluation of a wide-area event notification service. *ACM Trans. Comput. Syst.* 19(3), 332–383 (2001)
7. Cerpa, A., Elson, J., Estrin, D., Girod, L., Hamilton, M., Zhao, J.: Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 31(2 supplement), 20–41 (2001)
8. Cugola, G., Di Nitto, E., Fuggetta, A.: Exploiting an event-based infrastructure to develop complex distributed systems. In: *ICSE '98: Proceedings of the 20th international conference on Software engineering.* pp. 261–270 (1998)

9. Feeney, L., Nilsson, M.: Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment. Proc. of the 20th Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2001). Proceedings. pp. 1548–1557 (2001)
10. Garbinato, B., Miranda, H., Rodrigues, L.: Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications. Springer (2009)
11. Leggio, S., Miranda, H., Raatikainen, K., Rodrigues, L.: Sipcache: A distributed sip location service for mobile ad-hoc networks. In: Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference on (2006)
12. Miranda, H.: Gossip-Based Data Distribution in Mobile Ad Hoc Networks. Ph.D. thesis, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa - Portugal (2007)
13. Miranda, H., Leggio, S., Rodrigues, L., Raatikainen, K.: A power-aware broadcasting algorithm. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium. Proceedings. (2006)
14. Miranda, H., Leggio, S., Rodrigues, L., Raatikainen, K.: An algorithm for dissemination and retrieval of information in wireless ad hoc networks. In: Kermarrec, A.M., Bougé, L., Priol, T. (eds.) Proceedings of the 13th International Euro-Par Conference, Euro-Par 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4641, pp. 891–900. Springer (2007)
15. Pereira, J., Fabret, F., Lirbat, F., Preotiuc-Pietro, R., Ross, K.A., Shasha, D.: Publish/subscribe on the web at extreme speed. In: VLDB. pp. 627–630 (2000)
16. Perkins, C.E., Royer, E.M.: Ad-hoc on-demand distance vector routing. Mobile Computing Systems and Applications, IEEE Workshop on 0, 90 (1999)
17. Pietzuch, P.R., Bacon, J.M.: Hermes: A distributed event-based middleware architecture. Distributed Computing Systems Workshops, International Conference on (2002)
18. Pottie, G.J., Kaiser, W.J.: Wireless integrated network sensors. Commun. ACM 43(5), 51–58 (2000)
19. Ratnasamy, S., Karp, B., Shenker, S., Estrin, D., Govindan, R., Yin, L., Yu, F.: Data-centric storage in sensor networks with ght, a geographic hash table. Mob. Netw. Appl. 8(4), 427–442 (2003)
20. Rowstron, A., Kermarrec, A.M., Castro, M., Druschel, P.: Scribe: The design of a large-scale event notification infrastructure. In: Lecture Notes in Computer Science. pp. 30–43. Springer (2001)
21. Tseng, Y., Ni, S., Chen, Y., Sheu, J.: The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. Wirel. Netw. 8(2/3), 153–167 (2002)
22. Zhuang, S., Zhao, B., Joseph, A., Katz, R., Kubiawicz, J.: Bayeux: an architecture for scalable and fault-tolerant wide-area data dissemination. In: NOSSDAV '01: Proceedings of the 11th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video. pp. 11–20 (2001)