



PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

PRÉVIA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**UMA SOLUÇÃO INTEGRADA PARA OS PROBLEMAS
DE LOCALIZAÇÃO, ROTEAMENTO E CONTROLE DE
DENSIDADE EM REDES DE SENSORES SEM FIO**

ALEXANDRE RODRIGUES DA SILVA

Manaus-AM
Dezembro de 2013

ALEXANDRE RODRIGUES DA SILVA

**UMA SOLUÇÃO INTEGRADA PARA OS PROBLEMAS
DE LOCALIZAÇÃO, ROTEAMENTO E CONTROLE DE
DENSIDADE EM REDES DE SENSORES SEM FIO**

Prévia de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas como anexo do documento de solicitação de prorrogação de defesa de dissertação

ORIENTADOR: EDUARDO FREIRE NAKAMURA

Manaus-AM
Dezembro de 2013

Lista de Figuras

Sumário

Lista de Figuras	iii
1 Introdução	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Organização do Trabalho	2
2 Definição e Importância dos Serviços	3
2.1 Localização	3
2.2 Controle de Densidade	4
2.3 Roteamento	5
3 Relação Entre os Serviços	7
3.1 A Influência da Localização	7
3.2 A Influência do Controle de Densidade	8
3.3 A Influência do Serviço de Roteamento	8
4 Trabalhos Relacionados	10
4.1 Abordagens Integradas de Serviços	10
4.2 Roteamento e Sincronização	10
4.3 Roteamento e Controle de Densidade	11
4.4 Localização e Sincronização	11
4.5 Localização e Roteamento	12
Referências Bibliográficas	14

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto e Motivação

Redes de sensores sem fio (RSSF) são redes compostas de pequenos dispositivos chamados nós sensores [13]. Esses pequenos nós possuem capacidade de sensoriamento, processamento de dados [1] e são definidos com uma interface de rádio com a qual eles se comunicam uns com os outros para formar uma rede. Mas diferente das redes tradicionais os nós de uma RSSF tem maiores restrições de recursos como energia, memória, processamento e capacidade de comunicação [13]. São essas restrições que tornam desafiador o projeto de redes de sensores sem fio. Os serviços, algoritmos e protocolos de RSSFs devem ser projetados considerando essas limitações.

Dadas as restrições de recursos das RSSFs vários trabalhos foram realizados visando realizar de modo eficiente serviços fundamentais como localização, roteamento e controle de densidade. Mas a maioria desses trabalhos considera de forma isolada esses serviços desenvolvendo algoritmos específicos para cada um.

A execução isolada ou independente dos serviços fundamentais de RSSFs pode não garantir o seu funcionamento correto ou pode consumir mais recursos do que se fossem executados de maneira integrada. Isso ocorre porque cada serviço causa impactos sobre os outros. Um exemplo disso é a relação entre o serviço de roteamento e o serviço de controle de densidade. Algoritmos de controle de densidade desligam sistematicamente, por algum tempo, alguns nós sensores com o objetivo de economizar energia e assim aumentar o tempo de vida útil da rede. Porém, segundo Siqueira et al. [19], esse processo de desativar nós pode alterar a infra-estrutura de roteamento levando a quebras de rotas e consequentemente a perda de dados. Por esse motivo é melhor que esses serviços sejam integrados para atuarem em cooperação em vez de isoladamente.

1.2 Objetivos

Dadas as características e restrições de recursos de RSSFs cada serviço é apresentado como um problema a ser solucionado. Com base nisso definimos o objetivo geral e os objetivos específicos do nosso trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é integrar os serviços de localização, roteamento e controle de densidade em um único serviço mais eficiente quanto ao consumo de energia das RSSFs.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Demonstrar que a execução não integrada dos serviços de localização, roteamento e controle de densidade produz resultados incorretos.
2. Desenvolver um algoritmo que integre os três serviços citados acima, eliminando a repetição de etapas comuns aos mesmos.
3. Demonstrar que a integração dos serviços provê redução do consumo de energia através da minimização do número de pacotes enviados e de processamento.

1.3 Organização do Trabalho

O restante deste documento está organizado da seguinte forma. No capítulo 2 apresentamos as definições dos serviços de localização, roteamento e controle de densidade em RSSFs. Além disso, mostramos a importância desses serviços para RSSFs. No capítulo 3 apresentamos as relações de dependência e os impactos que cada um desses serviços exerce sobre os outros. No capítulo 4 mostramos as abordagens de integração de serviços e apresentamos trabalhos que realizaram integração de serviços. No capítulo 5 descrevemos o método de pesquisa que utilizaremos no nosso trabalho.

Capítulo 2

Definição e Importância dos Serviços

Para projetarmos serviços integrados para RSSFs é necessário compreendermos duas coisas. A primeira é entender como cada serviço funciona. A segunda é a importância de cada serviço para as RSSFs.

Nesta seção apresentaremos a definição dos serviços de localização, roteamento e controle de densidade e a importância de cada um deles para RSSFs.

2.1 Localização

A localização é o processo pelo qual um nó sensor tenta determinar sua própria posição física (por exemplo, latitude, longitude e altitude) após a sua implantação na área a ser monitorada pela RSSF [7, 23].

Inicialmente a maior parte dos nós de uma RSSF não conhece a sua localização. Isso ocorre quando os nós são implantados na área a ser monitorada de maneira *ad hoc* [23]. Segundo Boukerche et al. [2], os nós sensores podem ser implantados em terrenos inacessíveis ou em operações de socorro. Nesses casos a posição dos nós sensores não pode ser predeterminada. Assim o serviço de localização é necessário para fornecer as informações de posição dos nós.

A informação de localização dos nós é muito importante para RSSF. É importante porque é necessário que haja uma correlação entre os eventos que estão sendo detectados pela RSSF e o local onde esses eventos estão ocorrendo na área monitorada pela mesma RSSF. Exemplificando isso Mao et al. [12] cita que em aplicações de monitoramento ambiental, tais como detecção de queimadas em florestas, monitoramento de qualidade da água, agricultura de precisão, os dados coletados pelos sensores ficam sem sentido se a informação de onde os dados foram coletados não for obtida.

Uma solução trivial para o problema de localização é equipar todos os nós sensores com receptores GPS (*Global Positioning System*) [23]. Porém essa solução, além de ser mais cara [1], pode não funcionar em ambientes com muitos obstáculos, como por exemplo, em florestas densas [23].

A idéia principal da maioria dos métodos [10, 23] de localização é que apenas alguns nós, com coordenadas conhecidas (por exemplo nós equipados com GPS), sirvam como referência para nós vizinhos a eles. Com base nessa proximidade os nós vizinhos calculam a sua posição e passam a ser referência para os outros nós. Esse processo se repete até que todos os nós da rede conheçam a sua localização.

Os nós que inicialmente já conhecem a sua localização são chamados de marcos, nós de referência ou nós beacon.

Boukerche et al. [2] apresenta o serviço de localização como um sistema composto por três componentes distintos: estimativa de ângulo/distância, cálculo de posição e algoritmo de localização. Estimativa de ângulo/distância é o componente responsável por estimar a informação sobre distâncias e/ou ângulos entre dois nós. Esta informação é utilizada pelos outros componentes do sistema de localização. O componente cálculo de posição é responsável por calcular a posição de um nó com base nas informações disponíveis em relação às distâncias/ângulos e posições dos nós de referências. Algoritmo de localização é o principal componente de um sistema de localização. Ele determina como as informações disponíveis serão manipuladas de modo a permitir que a maioria ou todos os nós de uma RSSF estimem suas posições.

Han et al. [10] realizou um levantamento abrangente sobre algoritmos de localização. Ele os reclassificou segundo o estado de mobilidade dos nós de referência e dos nós que inicialmente não conhecem a sua posição. Nessa classificação os algoritmos de localização ficam distribuídos em quatro categorias: (1) beacons estáticos e nós estáticos, (2) beacons estáticos e nós móveis, (3) beacons móveis e nós estáticos e (4) beacons móveis e nós móveis.

2.2 Controle de Densidade

O controle de densidade é o serviço que desativa e ativa sistematica e dinamicamente, em intervalos de tempo, os nós de uma RSSF.

Em uma RSSF [22], a densidade de nós é normalmente elevada, porque cada nó possui apenas uma capacidade limitada. No entanto, geralmente não é necessário que todos os nós sensores estejam ativos a qualquer momento.

O objetivo do controle de densidade [19] é manter apenas um conjunto mínimo de

nós sensores ativos em cada período de tempo. Os nós que não são escolhidos para fazer parte deste conjunto podem desligar seus aparelhos (rádio, sensor, etc) e permanecer em um “modo de espera” até que sejam obrigados a voltar à atividade.

A desativação dos nós não pode ser feita de qualquer maneira e sim de modo a garantir a cobertura da área monitorada e a conectividade da rede. Dada essa restrição Ghosh e Das [9] classificam o serviço de controle de densidade como uma solução para os problemas de cobertura e conectividade.

Segundo Wang et al. [22] se apenas os nós que são necessários podem estar ativados e os outros desligados, o consumo de energia de uma RSSF pode ser reduzido sem deixar de detectar eventos interessantes na área sensoriada. Portanto, a cobertura fornece uma métrica poderosa para determinar quais nós devem ser ativados e quais podem permanecer inoperantes.

Os algoritmos *Coverage Configuration Protocol* (CCP) e *Optimal Geographical Density Control* (OGDC) são exemplos de algoritmos de controle de densidade que preservam a cobertura e conectividade da rede [9].

2.3 Roteamento

O roteamento é o serviço responsável por permitir que as informações sensorizadas sejam encaminhadas a um local onde possam ser utilizadas ou processadas. Esse local é um nó especial, denominado nó sorvedouro [15].

O roteamento é fundamental para entrega bem sucedida dos dados porque a maior parte dos nós da rede não tem potência suficiente para transferir os dados diretamente ao nó sorvedouro [19].

Os protocolos de roteamento para RSSF além de considerar as restrições de energia devem também considerar as questões de mobilidade dos nós e segurança de informação.

Lambrou e Panayiotou [11] realizaram uma pesquisa abrangente sobre protocolos de roteamento verificando se os mesmos são capazes de apoiar a mobilidade de nós sensores em RSSFs.

Stavrou e Pitsillides [21] apresentam um estudo sobre segurança em protocolos de roteamento multipath. Para Stavrou e Pitsillides [21] a segurança deve ter atenção especial no projeto e desenvolvimento de serviços para RSSF principalmente nas aplicações que necessitam de apoio em infra-estruturas críticas (Exemplos: aplicações militares, de saúde e ambientais).

Raghunandan e Lakshmi [18] classificam os protocolos de roteamento como pla-

nos, hierárquicos ou baseados em localização. Nos protocolos planos todos os nós desempenham o mesmo papel. Nos protocolos hierárquicos os nós são agrupados de modo que os nós líderes de cada grupo possam fazer agregação de dados com o objetivo de economizar energia. Os protocolos baseados em localização utilizam as informações de posição dos nós para retransmitir os dados somente para as regiões desejadas, em vez de toda a rede.

Capítulo 3

Relação Entre os Serviços

Nesta seção veremos a relação existente entre os serviços de localização, controle de densidade e roteamento. Mostraremos a influência que cada um desses serviços tem sobre os outros. Em outras palavras, mostraremos os impactos ou erros que a execução de um serviço causa sobre os outros.

É devido a essas relações entre os serviços que o projeto e execução isolada dos serviços em uma RSSF não garante o funcionamento correto e eficiente da mesma.

Como o principal componente de um serviço é o algoritmo que foi projetado para a sua execução, muitas vezes nos referiremos a um serviço citando apenas o seu algoritmo.

3.1 A Influência da Localização

Os algoritmos de localização afetam diretamente os algoritmos geográficos. Algoritmos geográficos são aqueles que precisam da informação de posicionamento dos nós para realizarem o seu serviço. Algoritmos de controle de densidade e roteamento baseados em localização são exemplos de algoritmos geográficos.

Segundo Oliveira et al. [16] uma das principais desvantagens dos algoritmos geográficos propostos é que a maioria deles não considera o erro de localização, que está presente mesmo quando usamos um receptor GPS em cada nó sensor.

Oliveira et al. [16] analisou o impacto do erro de algoritmos de localização sobre um algoritmo de controle de densidade e sobre um algoritmo de roteamento. Nessa análise foram usados como algoritmos de localização o APS (*Ad hoc Positioning System*), o RPE (*Recursive Position Estimation*) e o DPE (*Directed Position Estimation*). O algoritmo de roteamento usado foi o GEAR (*Geographical and Energy Aware Routing*) e de controle de densidade foi o GAF. O GAF é um protocolo conhecido que

usa as posições dos nós, subdividindo a rede em grids, para decidir se um nó deve ser acordado ou desligado. Um dos resultados negativos do impacto do erro de localização sobre o roteamento foi que, em muitos casos, a precisão da entrega de pacotes foi inferior a 50%. Os impactos negativos do erro de localização no controle de densidade foram: nós que deveriam estar dormindo permaneceram acordados, nós que deveriam ficar acordados foram desligados. O impacto mais crítico foi que parte do campo de sensores tornou-se descoberto por nós sensores. Em alguns casos apenas 60% dos grids estavam cobertos. Na execução do APS apenas 20% dos nós calcularam corretamente os seus grids.

3.2 A Influência do Controle de Densidade

O serviço de controle de densidade afeta de modo direto e negativo os outros serviços quando não é projetado de modo integrado a esses.

O controle de densidade pode desativar nós que fazem parte da infra-estrutura de roteamento da rede ocasionando quebras de rota e consequentemente perda de dados. Segundo Siqueira et al. [19] isso ocorre quando o controle de densidade não é projetado de modo integrado ao roteamento. Esse é o efeito negativo desse serviço sobre o de roteamento.

Siqueira et al. [19] mostra que o controle de densidade pode ter um efeito positivo sobre o roteamento caso esses dois serviços sejam realizados de modo integrado. O controle de densidade, ao desativar temporariamente alguns nós, além de aumentar o tempo de vida útil da rede reduz o tráfego na mesma e facilita o trabalho de roteamento, uma vez que a quantidade de dados produzida torna-se menor.

O controle de densidade não pode ser executado antes nem durante a obtenção da localização dos nós sensores. Isso se deve a dois motivos. O primeiro é que a maior parte dos algoritmos de controle de densidade depende da informação de localização dos nós para desativar os nós de uma região e ativar os nós de outra. O segundo é que a desativação de alguns nós da rede, antes ou durante a execução da localização, impediria que esses ou outros nós obtivessem o seu posicionamento. Isso afetaria não só o serviço de localização, mas todos os outros que são afetados por ele.

3.3 A Influência do Serviço de Roteamento

O serviço de roteamento é fundamental para redes de sensores sem fio. Entretanto o roteamento é que o mais sofre influência dos outros serviços e o que menos causa

impacto sobre os outros.

Como vimos acima o serviço de roteamento é afetado de modo positivo ou negativo pelos serviços de localização e controle de densidade.

Capítulo 4

Trabalhos Relacionados

4.1 Abordagens Integradas de Serviços

Existem duas estratégias de integração de serviços Siqueira et al. [19]. A primeira é tentar ajustar a ordem ou sincronia em que os serviços são executados de tal modo que um serviço não afete negativamente o outro. Chamamos essa estratégia de abordagem sincronizada. A segunda estratégia é integrar totalmente os algoritmos de cada serviço em único algoritmo que quando executado realiza todos os serviços. Essa última estratégia é denominada de abordagem integrada de serviços.

Poucos trabalhos foram realizados visando integração de serviços. Em cada um desses trabalhos foram integrados apenas dois serviços dos quatro apresentados até aqui. As integrações ocorreram entre os serviços de:

- Roteamento e sincronização;
- Roteamento e controle de densidade;
- Localização e sincronização;
- Localização e roteamento.

4.2 Roteamento e Sincronização

Neto et al. [15] observou que alguns algoritmos de sincronização tem estrutura e funcionamento semelhantes a alguns algoritmos de roteamento hierárquicos. Então integrou o processo de sincronização na fase de construção na árvore de roteamento.

Segundo Neto et al. [15] a integração do serviço de sincronização de tempo ao de serviço roteamento é uma maneira de reduzir o consumo de recursos que um processo de sincronização insere sendo uma tarefa a mais efetuada pela rede.

Neto et al. [15] desenvolveu dois algoritmos que integram totalmente os serviços de sincronização e roteamento. O primeiro algoritmo desenvolvido foi o SWIFT + TPSN que é a integração do protocolo de roteamento SWIFT com o algoritmo de sincronização TPSN que sincroniza os nós da rede utilizando a abordagem emissor-receptor. O segundo foi o SWIFT + RIP que é a integração do protocolo SWIFT com o algoritmo de sincronização RIP. O RIP sincroniza os nós da rede utilizando a abordagem receptor-receptor.

4.3 Roteamento e Controle de Densidade

Andrade *et al.* [6] desenvolveu um algoritmo que resolve de modo integrado o problema de roteamento, controle de densidade e cobertura (DCCRMP - *Density Control, Coverage and Routing Multi-Period Problem*) em RSSF planas. O algoritmo desenvolvido usa uma meta-heurística GRASP para resolver o problema.

Segundo Andrade *et al.* [6] a solução proposta foi comparada com uma outra solução que também resolve o DCCRMP, mas o resolve usando um modelo de programação linear com um software de otimização comercial. Os resultados computacionais mostraram que o algoritmo proposto cumpre com sucesso os requisitos de QoS considerados no trabalho e fornece soluções próximas ou iguais ao ideal com o tempo de execução reduzido.

Siqueira et al. [19] mostra os problemas existentes em usar as funções de controle de densidade e roteamento isoladamente e propõe duas soluções diferentes para a integração dessas duas funções. A primeira solução é o RDC-Sync, que apenas sincronizam o algoritmo de controle de densidade OGDC e o de roteamento EF-Tree. A segunda solução é o RDC-Integrated que integra totalmente os dois algoritmos em apenas um algoritmo que realiza os dois serviços. Os resultados dos experimentos mostraram que a abordagem integrada foi melhor que a abordagem sincronizada tanto no aspecto de consumo de energia como no de cobertura.

4.4 Localização e Sincronização

Como vimos anteriormente em muitas aplicações de monitoramento existe a necessidade de saber onde e em que tempo um determinado evento ocorreu. Nesse caso a localização

deve determinar não somente a posição do evento no espaço mas também no tempo. Para obter isso o serviço de localização poderia ser “cliente” do serviço de sincronização. Porém a execução independente de algoritmos de localização e sincronização leva a ineficiência, em termos de custo e precisão, desses serviços[17].

Pesando nisso Oliveira *et al.* [8, 17] desenvolveu vários algoritmos que unem as atividades de localização e sincronização. Por exemplo, no algoritmo Synapse a sincronização ocorre junto ao processo de localização. Nesse algoritmo nós sensores se sincronizam com nós especiais que já conhecem a sua localização(nós de referência ou beacons). A principal vantagem do Synapse foi a redução do custo de comunicação em relação a situação em que a localização e a sincronização são realizadas separadamente [8].

Boukerche *et al.* [4, 5] propôs dois algoritmos que integram sincronização e localização. O primeiro é muito parecido com o Synapse mas utiliza nós beacons móveis que percorrem a área de monitoramento. O nome do algoritmo proposto por Boukerche é Mobilis (*Mobile Beacon for Localization and Synchronization*). O segundo algoritmo é chamado de *Enlightness* (*Enhanced and Lightweight Time and Space localization*). Esse algoritmo usa rankings matemáticos e técnicas de ponderação para melhorar o processo de cálculo do tempo.

4.5 Localização e Roteamento

Boukerche *et al.* [3] propôs um algoritmo chamado *Cellular* (*Cell Unified Localization And Routing*) que integra os serviços de localização e roteamento.

O *Cellular* possui dois componentes: localização e roteamento. O componente de localização divide a rede em células de Voronoi para reduzir o custo de comunicação, e como resultado, permite duas maneiras de se especificar a localização de um nó: a localização física do nó ou a célula de Voronoi a que pertence. A execução do componente de localização produz uma hierarquia natural com base em células de Voronoi que é usada pelo componente de roteamento. O componente de roteamento pode usar tanto as coordenadas dos nós como as células de Voronoi para enviar pacotes. A principal vantagem desse componente de roteamento é que nenhuma comunicação adicional é necessária para a descoberta de rota. Isso reduz custos e o torna muito escalável.

A complexidade e os dois componentes do algoritmo *Cellular* foram analisados [3]. O componente de localização foi comparado com o algoritmo de localização APS. E o componente de roteamento foi comparado com o algoritmo, de funcionamento se-

melhante, *Greedy Forward*. Os resultados dos experimentos mostraram que o *Cellular* foi superior em todos os casos. Os erros de localização foram muito pequenos, especialmente em grandes redes. O número de pacotes perdidos pelo algoritmo *Cellular* é muito menor que o número de pacotes perdidos pelo algoritmo *Greedy Forward*.

Referências Bibliográficas

- [1] Akyildiz, I.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38(4):393 – 422.
- [2] Boukerche, A.; Oliveira, H.; Nakamura, E. & Loureiro, A. (2007a). Localization systems for wireless sensor networks. *Wireless Communications, IEEE*, 14(6):6 –12.
- [3] Boukerche, A.; Oliveira, H.; Nakamura, E. & Loureiro, A. (2007b). Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks. Em *Computers and Communications, 2007. ISCC 2007. 12th IEEE Symposium on*, pp. 449 – 454.
- [4] Boukerche, A.; Oliveira, H.; Nakamura, E. & Loureiro, A. (2008a). Enlightness: An enhanced and lightweight algorithm for time-space localization in wireless sensor networks. Em *Computers and Communications, 2008. ISCC 2008. IEEE Symposium on*, pp. 1183 – 1189.
- [5] Boukerche, A.; Oliveira, H.; Nakamura, E. & Loureiro, A. (2008b). Localization in time and space for wireless sensor networks: A mobile beacon approach. Em *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008. WoWMoM 2008. 2008 International Symposium on a*, pp. 1 – 8.
- [6] de Andrade, I.; Mateus, G. & Nakamura, F. (2009). A grasp heuristic to density control: Solving multi-period coverage and routing problems in wireless sensor networks. Em *Computers and Communications, 2009. ISCC 2009. IEEE Symposium on*, pp. 493 –499.
- [7] de Oliveira, H.; Boukerche, A.; Nakamura, E. & Loureiro, A. (2009). An efficient directed localization recursion protocol for wireless sensor networks. *Computers, IEEE Transactions on*, 58(5):677 –691.

- [8] de Oliveira, H.; Nakamura, E.; Loureiro, A. & Boukerche, A. (2007). Localization in time and space for sensor networks. Em *Advanced Information Networking and Applications, 2007. AINA '07. 21st International Conference on*, pp. 539 – 546.
- [9] Ghosh, A. & Das, S. K. (2008). Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey. *Pervasive and Mobile Computing*, 4(3):303 – 334.
- [10] Han, G.; Xu, H.; Duong, T.; Jiang, J. & Hara, T. (2011). Localization algorithms of wireless sensor networks: a survey. *Telecommunication Systems*, pp. 1–18. 10.1007/s11235-011-9564-7.
- [11] Lambrou, T. & Panayiotou, C. (2009). A survey on routing techniques supporting mobility in sensor networks. Em *Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, 2009. MSN '09. 5th International Conference on*, pp. 78 –85.
- [12] Mao, G.; Fidan, B. & Anderson, B. D. O. (2007). Wireless sensor network localization techniques. *Comput. Netw.*, 51:2529--2553.
- [13] Maraiya, K.; Kant, K. & Gupta, N. (2011). Application based study on wireless sensor network. *International Journal of Computer Applications*, 21(8):9--15. Published by Foundation of Computer Science.
- [14] Nakamura, E. F. (2007). *Information Fusion in Wireless Sensor Network*. Tese de doutorado, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte - MG.
- [15] Neto, J. a. B. B.; Neto, F. M. M.; Gomes, D. G.; Neto, P. F. R. & Andrade, R. M. C. (2008). Integration of routing and time synchronization protocols for wireless sensor networks. Em *Proceedings of the 2008 Euro American Conference on Telematics and Information Systems, EATIS '08*, pp. 46:1--46:4, New York, NY, USA. ACM.
- [16] Oliveira, H. A.; Nakamura, E. F.; Loureiro, A. A. F. & Boukerche, A. (2005). Error analysis of localization systems for sensor networks. Em *Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic information systems, GIS '05*, pp. 71--78, New York, NY, USA. ACM.
- [17] Oliveira, H. A. B. F.; Boukerche, A.; Nakamura, E. F. & Loureiro, A. A. F. (2009). Localization in time and space for wireless sensor networks: An efficient and lightweight algorithm. *Perform. Eval.*, 66:209--222.

- [18] Raghunandan, G. & Lakshmi, B. (2011). A comparative analysis of routing techniques for wireless sensor networks. Em *Innovations in Emerging Technology (NCOIET), 2011 National Conference on*, pp. 17 –22.
- [19] Siqueira, I.; Figueiredo, C.; Loureiro, A.; Nogueira, J. & Ruiz, L. (2006). An integrated approach for density control and routing in wireless sensor networks. Em *Parallel and Distributed Processing Symposium, 2006. IPDPS 2006. 20th International*, p. 10 pp.
- [20] Siqueira, I. G. (2006). Projeto integrado de controle de densidade e roteamento em redes de sensores sem fio. Dissertação de mestrado, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte-MG.
- [21] Stavrou, E. & Pitsillides, A. (2010). A survey on secure multipath routing protocols in wsns. *Computer Networks*, 54(13):2215 – 2238.
- [22] Wang, W.-T.; Ssu, K.-F. & Jiau, H. (2006). Density control without location information in wireless sensor networks. Em *Wireless and Mobile Communications, 2006. ICWMC '06. International Conference on*, p. 1.
- [23] Yick, J.; Mukherjee, B. & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12):2292 – 2330.