

Taxa de ocupação em função da variação de potência de sinal recebido em redes de sensores sem fio

DANIEL BRAGA BARROS

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil
danielbragabarro@gmail.com

TIAGO GANSELLI

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil
tiagoganselli@gmail.com

EDSON TAIRA PROCOPIO

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil
tiagoganselli@gmail.com

ALEXANDRE DE ASSIS MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil
amota@puc-campinas.edu.br

LIA TOLEDO MOREIRA MOTA

Pontifícia Universidade Católica de Campinas - SP - Brasil
lia.mota@puc-campinas.edu.br

Resumo - O presente trabalho objetivou definir um modelo da relação entre o nível de intensidade de sinal de rádio frequência (RSSI) com a taxa de ocupação de um ambiente construído limitado. Foram realizados testes experimentais que possibilitaram a verificação de um modelo linear simples que fornece o número de pessoas dentro de um ambiente, tendo a variância da intensidade de sinal como variável. A partir da instalação de uma rede sensor sem fio padrão IEEE 802.15.4 em uma sala de aula da PUC-Campinas, foram coletados dados da variação de potência dos sinais de comunicação entre os sensores posicionados em linha de visada no interior da sala. Como conclusão foi possível identificar uma relação que fornece a ocupação do ambiente estudado.

Palavras-chave: Gerência de Redes, Qualidade de Serviço, Rede de Sensor Sem Fio, RSSI, Taxa de Ocupação.

Abstract - *This study proposes a model of the relation between the level of intensity radiofrequency signal (RSSI) with the occupancy rate of a limited built environment. Experimental tests were performed, allowing the verification of a simple linear model that provides the number of people within an environment, using the variance of the signal intensity as input variable. Based on the installation of a wireless standard IEEE 802.15.4 sensor network in a classroom, data were collected concerning the power variation of communication signals*

between sensors positioned inside the room. It was possible to identify a simple model that gives the occupation of the studied room.

Keywords: Network Management, Quality of Service, Wireless Sensor Network, RSSI, Occupancy Rate.

1. Introdução

Nos últimos anos um grande avanço tecnológico da indústria eletrônica possibilitou a utilização das redes de sensores sem fio, que atualmente são tema de pesquisa para as mais diversas aplicações. O baixo custo dos dispositivos e a facilidade de utilização destas redes permitem aplicações úteis de monitoração e segurança em locais críticos como também incentivam a substituição ou maximização de serviços humanos.

Este trabalho tem como objetivo buscar relações relevantes entre o nível de ocupação espacial (em termos de número de pessoas) de um ambiente e a variação de potência do sinal de rádio em uma rede de sensor sem fio instalada no mesmo.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Em no item 2 é apresentada uma visão global de redes de sensores sem fio, no item 3 é apresentado conceitos que influenciam a potência de recepção de sinais de rádio, no item 4 estão conceitos sobre taxa de ocupação, no item 5 estão os métodos adotados e posteriormente uma análise dos resultados e por fim as conclusões.

2. Redes de Sensor Sem Fio (RSSF)

Uma rede de sensor sem fio (RSSF) é um tipo de rede dedicada a alguma aplicação específica, composta por um conjunto de nós transceptores com capacidade autônoma de coletar e processar informações de uma área em que forem instalados (SANTOS; DOTA; CUGNASCA, 2011). A capacidade de transmissão e sensibilidade de recepção dos nós sensores limita sua forma de distribuição no ambiente, calcada na garantia de confiabilidade de comunicação entre eles. A figura 1 apresenta uma rede de sensor sem fio com topologia ponto multiponto, ou seja, um nó base é capaz de se comunicar com vários sensores ao seu alcance e estes transmitem informações diretamente para a base.

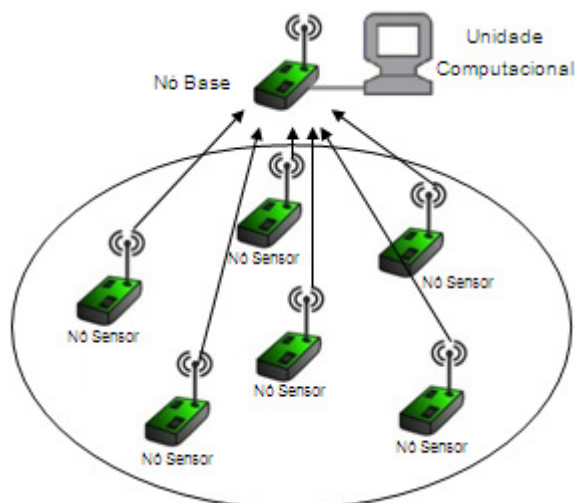


Figura 1 – Exemplo de configuração de uma Rede de Sensores Sem Fio
Fonte: modificado de Gielow (2011) e Wireless (2012)

Muitas pesquisas foram realizadas em redes de sensores sem fio, evidenciando seus benefícios tecnológicos como redução de consumo de energia, de custos de manutenção, de tamanho dos dispositivos de rede e um aumento na capacidade funcional dos nós (CANSADO, 2011).

As redes de sensores sem fio estão sendo aplicadas atualmente no transporte, redes inteligentes, prédios inteligentes e também cidades inteligentes (KIEV; ÁLVARO; PEIXOTO, 2012). Estas redes podem também serem utilizadas nas áreas médicas, ambientais, militares e várias áreas comerciais (TAVARES, 2002). No entanto, como são baseadas em comunicações sem fio, também estão aptas a mensurar as características do sinal rádio no ambiente em que se inserem, tal como a potência recebida em cada um dos nós sensores, conforme explicitado no item que se segue.

3. Potência de Sinal Recebido

a-) Fenômenos de Propagação

Os sinais de rádio frequência são vulneráveis a influências de fenômenos de propagação que podem alterar suas características. Dentre estes fenômenos, pode-se citar a atenuação, reflexão, refração, difração, dispersão, além da presença de ruídos e interferências que podem estar presentes no meio de propagação do sinal (PERES, 2010). O resultado da interação de cada um desses fenômenos impacta diretamente na potência do sinal recebido.

Os circuitos integrados que compõem os nós sensores, possuem capacidade de obter informação da intensidade do sinal recebido (RSSI), através da sensibilidade de recepção e de características de transmissão dos sinais. Os valores de RSSI apresentados pelos circuitos integrados dos receptores, são estimados a partir do armazenamento dos valores do nível de potência recebido e já estão convertidos em dBm no momento da leitura dos registros dos sensores (TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Estudos de posicionamento de sensores, novos meios de propagação, análise de desempenho de hardware vem sendo realizados através do comportamento da RSSI das redes de sensores sem fio (GRACIOLI et al, 2011). No entanto, é importante destacar a influência que o ambiente tem sobre esse indicador.

b-) Influência do Ambiente

A propagação dos sinais de rádio pode sofrer alterações conforme o ambiente em que a rede de sensor estiver instalada. Em ambientes internos, todos os objetos se tornam anteparas para a propagação do sinal, podendo ser considerados obstáculos que prejudicam a comunicação entre os nós da rede.

Os nós da rede têm a capacidade de monitorar a potência do sinal recebido, através de medições de RSSI. Com isso, é possível ter conhecimento dos sinais recebidos entre os nós da rede em um ambiente interno (PROCÓPIO, 2012).

c-) Influência das Pessoas

As pessoas, dentro de um ambiente construído, executando suas atividades cotidianas, também podem ser consideradas como obstáculos à propagação dos sinais de rádio frequência. Portanto, as mesmas considerações de ocorrência de alteração na propagação são válidas para a presença de pessoas em um ambiente de rede de sensor sem fio. Por esse princípio, neste trabalho parte-se da hipótese que a análise da variação da intensidade da potência do sinal recebido nos sensores pode ser utilizada como indicador para o número de pessoas inseridas no mesmo ambiente que a RSSF.

4. Taxa de Ocupação

O termo “taxa de ocupação” é atualmente empregado em diferentes áreas de conhecimento e atuação profissional. Em telecomunicações, por exemplo, esse termo é empregado para representar a ocupação de um canal telefônico. É útil para se ter uma referência do quanto o canal é utilizado e identificar a necessidade de inclusão de um novo, garantindo a qualidade de serviço para os clientes. Nesse caso essa taxa é obtida estatisticamente em fase de projeto do canal podendo ser obtida de maneira exata durante utilização do sistema concluído.

Em edificações, por exemplo, a taxa de ocupação representa o quanto de área construída existe em relação à área do terreno, ou seja, a porcentagem de ocupação do mesmo. Este valor é obtido de maneira exata logo durante fase de projeto, impactando diretamente no valor do empreendimento.

A taxa de ocupação hospitalar, por exemplo, representa a relação entre o número de pacientes e o número de leitos em um período determinado. Neste caso, essa informação serve como variável de modelos de previsão de taxa de mortalidade dentro dos hospitais, permitindo que se tomem decisões que impactam diretamente na qualidade de serviço oferecida (TRAVASSOS; NORONHA; MARTINS, 1999). Diferentemente dos exemplos anteriores, a taxa de ocupação hospitalar apresenta uma imprecisão do ponto de vista de qualidade. Considerando que em um hospital possa existir mais acompanhantes familiares do que pacientes, e que todos consomem recursos comuns e compõem um clima hospitalar, é relevante dizer que a simples relação entre paciente e leitos não representa precisamente a ocupação do ambiente.

No entanto, uma aplicação de controle de fluxo de pessoas através de cadastros manuais ou utilização de catracas mecânicas seria inviável provocando queda no tempo de atendimento e na qualidade de serviço.

De modo geral a taxa de ocupação, em muitos casos pode e deveria ser utilizada como indicativo de qualidade em diversos tipos de ambientes. No entanto, a falta de praticidade dos métodos existentes para obtenção desse tipo de índice impede que estudos sociais sejam realizados com mais precisão, no que se refere à ocupação (em termos do número de usuários/pessoas) de diversos tipos de ambientes como bancos, escritórios, teatros, shoppings, restaurantes, hotéis, escolas, etc.

Sendo assim, esse trabalho propõe um estudo inicial da viabilidade de utilização de redes de sensores sem fio para obtenção da taxa de ocupação em ambientes, a partir da verificação de intensidade de sinal de rádio frequência. Com base no princípio de propagação de ondas eletromagnéticas, pretende-se

estudar a possibilidade de obtenção de relações relevantes entre ocupação de um ambiente e alterações da RSSI.

A motivação para esse estudo está baseada na propagação omini-direcional das ondas eletromagnéticas, possibilitando a cobertura completa de um ambiente de maneira não-invasiva e com baixo custo, visto que demanda menor número de dispositivos e independe de fios.

5. Metodologia

Para a verificação da proposição quanto à relação entre intensidade de sinal de rádio com a taxa de ocupação de um ambiente, foi utilizado o método de testes experimentais.

Uma sala de aula foi adotada como ambiente de teste, sendo instalada na mesma uma rede de sensores sem fio, contendo apenas dois sensores em linha de visada direta a uma altura estratégica que permitisse alterações da RSSI na presença dos alunos e professores. A topologia geral da rede e os equipamentos utilizados estão apresentados na figura 2.

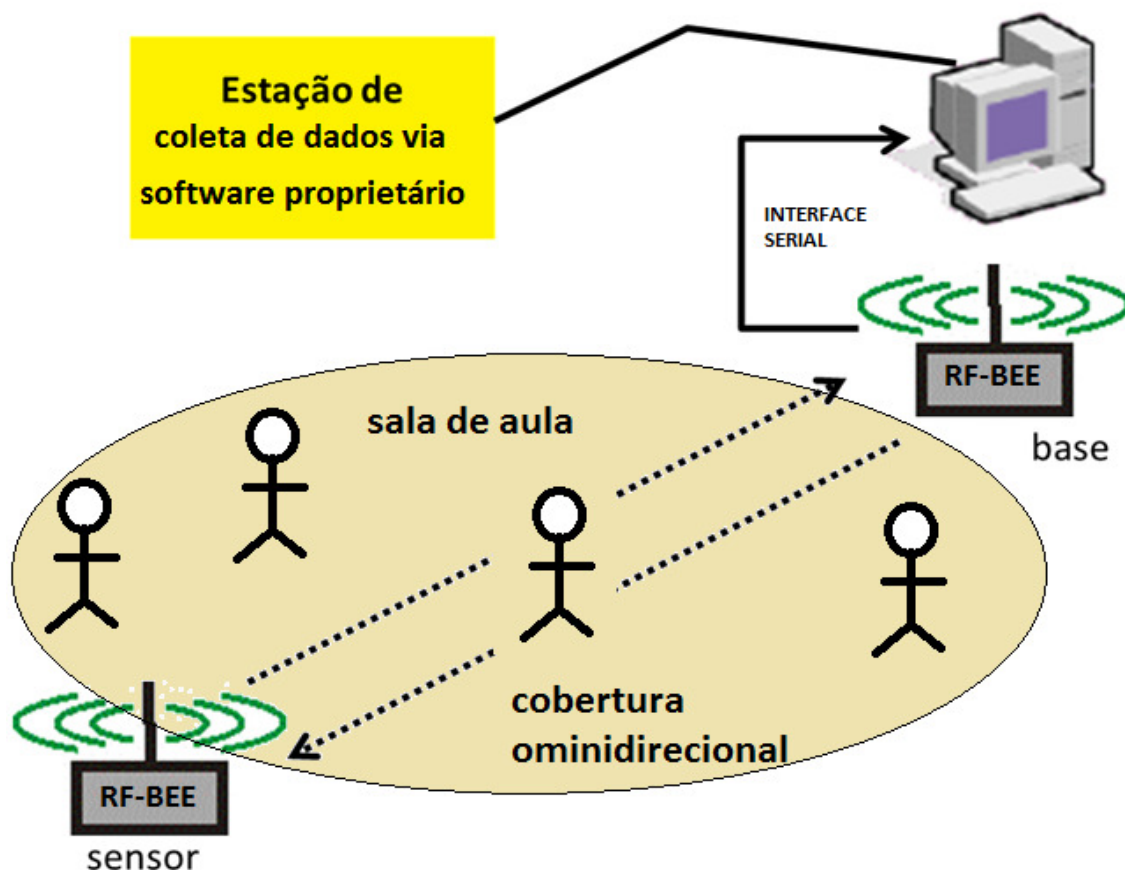


Figura 2 – Topologia do teste de captura da RSSI em sala de aula

A sala de aula adotada possui aproximadamente 54m^2 e um pé-direito de 3,5m. Os sensores foram instalados em duas paredes paralelas a 6 metros de distância, a uma altura de 1,3 metros, permitindo assim que o fluxo de pessoas pudesse ser verificado através da medição de RSSI.

Os nós base e sensor foram compostos pelos módulos de rádio padrão RF-BEE V1.1, que possuem chips transceptores CC1101 integrados com um micro-controlador AT Mega 168. A escolha por esse dispositivo se deu pelo fato de possuir uma interface de programação simples, e bastante difundida através da plataforma Arduino, que utiliza a linguagem C como base de programação.

Utilizando uma estratégia de pooling na comunicação entre os nós, o módulo da base foi gravado com um firmware que envia um pacote de 52 bytes para o nó sensor a partir da solicitação realizada serialmente através de um software na base.

O nó sensor foi alimentado através de fonte de corrente contínua e instalado em linha de visada com o nó base. Teve, como função básica, a propriedade de receber o pacote e simplesmente retransmiti-lo. Este pacote de dados contém em seus quatro primeiros bytes os valores de RSSI de downlink e uplink, que representam a intensidade de sinal de rádio.

O nó base foi conectado através de uma comunicação serial (USB) com um computador com sistema operacional Windows instalado fora da sala. Esta conexão possibilitou também a alimentação deste nó. O computador compõe a estação de coleta dos valores de intensidade de sinal através da execução de um software proprietário capaz de solicitar e estocar periodicamente estes dados.

O período das transmissões foi configurado para ocorrerem a cada 30 segundos. Este valor foi considerado suficiente para verificação de variações decorrentes do fluxo de pessoas na sala de aula, sendo adequado também para a quantidade de memória disponível no computador utilizado, considerando a dinâmica das atividades didáticas inerentes aos eventos, da ordem de horas. A quantidade de pessoas na sala foi contabilizada através de lista de presença dos alunos realizada pelos professores.

O sistema funcionou constantemente durante o período de uma semana. Posteriormente, a partir dos dados estocados, foram selecionados os períodos em que ocorreram aulas com notificação de presença de alunos.

Objetivando investigar relações da intensidade de sinal com a taxa de ocupação da sala, a variância dos valores da RSSI assumida durante os intervalos selecionados, foi adotada como variável para elaboração de um modelo de taxa de ocupação.

6. Resultados

Os resultados foram representados através de gráficos contendo informação do número de pessoas na sala e da variância dos valores da RSSI nos intervalos selecionados. Os gráficos ilustrados na Figura 3 mostram estes valores.

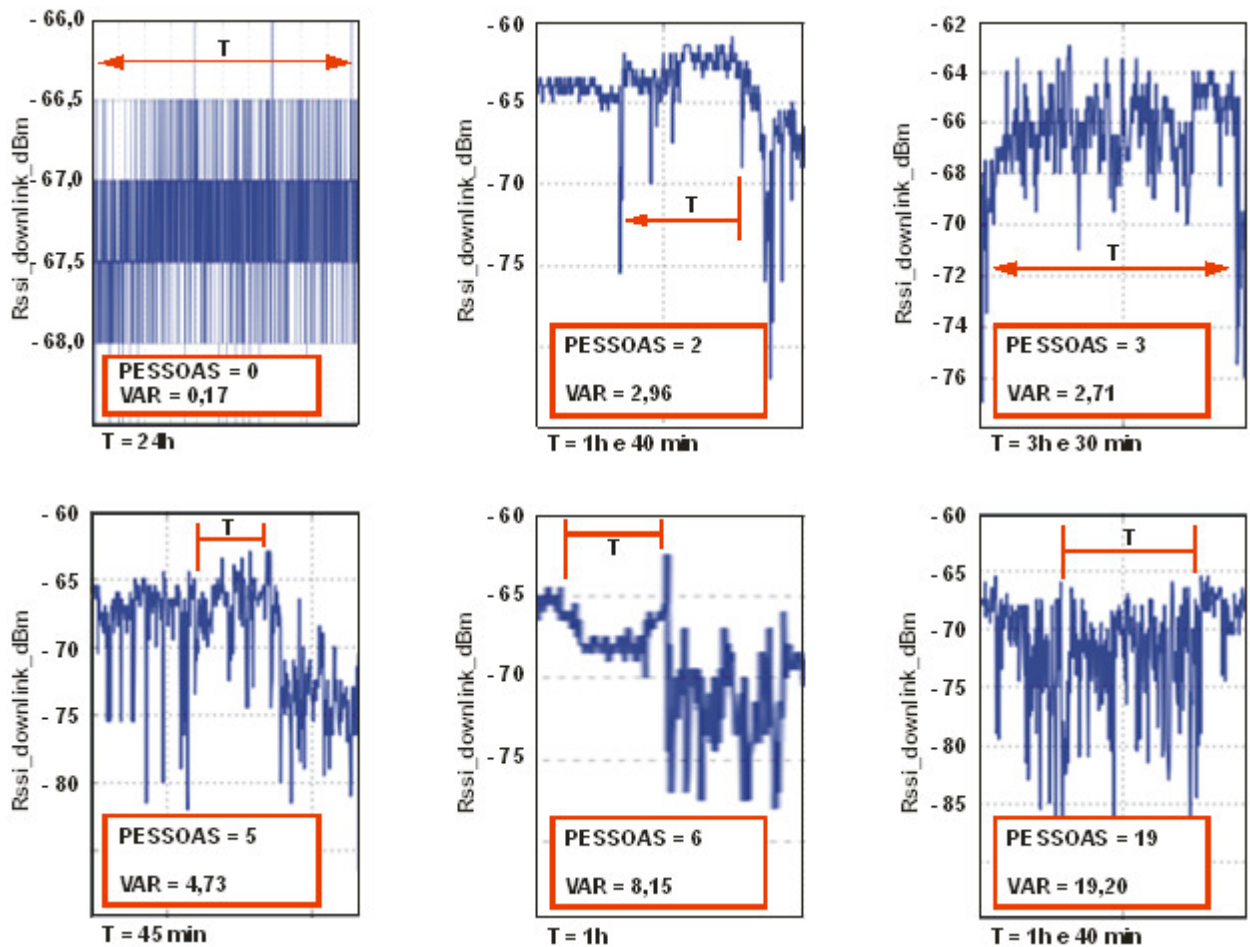


Figura 3 – Variações da Rssi em dBm em função do tempo na presença de 0,2,3,5, 6 e 19 pessoas

A partir dos valores do número de pessoas e da variância referente a cada intervalo **T** da figura anterior, é possível obter o gráfico da variância em função do número de pessoas, juntamente com a curva de tendência, conforme a Figura 4.

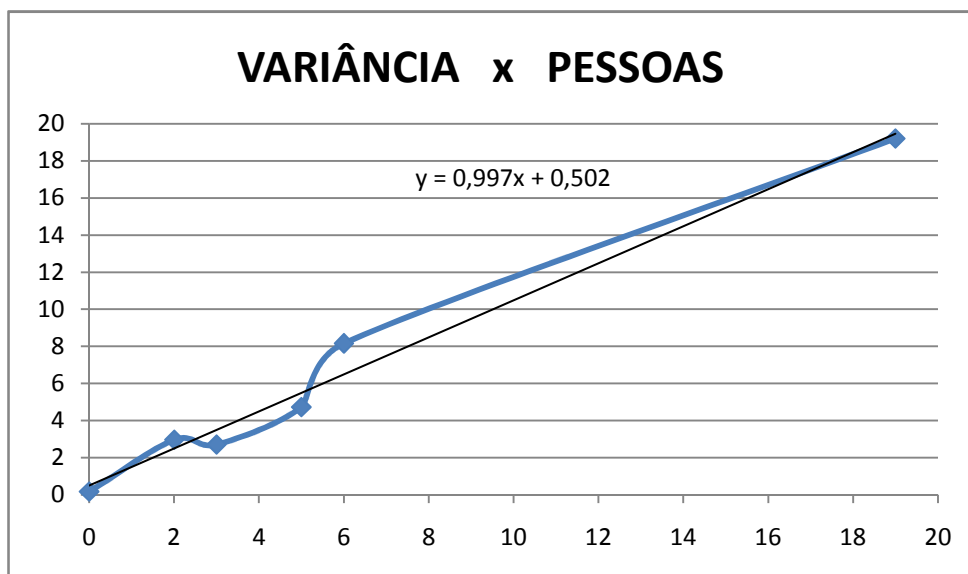


Figura 4 – Gráfico da variância em função do número de pessoas e curva de tendência

Através do gráfico pode-se verificar uma tendência linear da variância expressa pela Equação 1.

$$\text{VAR}(x) = 0,9973x + 0,5027 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde x representa o número de pessoas.

Para efeito de validação da expressão definida pela curva de tendência selecionou-se um novo intervalo de ocupação da sala de aula. Neste intervalo estiveram presentes três pessoas e a variância se manteve em 3,17 conforme apresentado na figura seguinte.

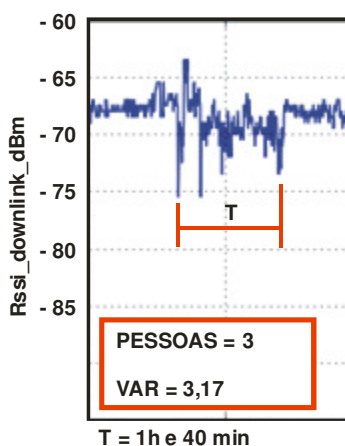


Figura 5 – Variação da Rssi em dBm em função do tempo na presença de 3 pessoas

Isolando-se a variável x da Eq.(1), foi possível substituir o valor da variância (3,17) do novo intervalo para verificação do número de pessoas esperado (3), conforme equação seguinte.

$$X^{\text{esperado}} = (\text{VAR}(x) - 0,5027) / 0,9973 \quad \text{Eq. (2)}$$

$$X^{\text{esperado}} = (3,17 - 0,5027) / 0,9973 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$X^{\text{esperado}} = 2,67 \quad \text{Eq. (4)}$$

Pela na Eq. (4), o número de ocupantes calculado a partir da Eq. (3) foi de 2,67 pessoas. Este número é compatível com a quantidade real de três pessoas, presentes no intervalo de validação.

7. Conclusão

De acordo com os experimentos apresentados conclui-se que é possível encontrar relações relevantes entre a taxa de ocupação de um ambiente limitado, com a variância da RSSI de redes de sensores sem fio padrão IEEE 802.15.4.

Com relação aos resultados de validação é relevante considerar que, por se tratar de pessoas, o valor previsto para ocupação do ambiente sempre será inteiro. Portanto, a resposta da equação modelo pode ser corrigida aplicando-se técnicas de *steresi*.

Os métodos adotados para a realização dos testes poderão ser melhorados, por exemplo, realizando-se o controle da quantidade de pessoas no ambiente, possibilitando uma definição mais precisa dos coeficientes da curva de tendência.

Este trabalho manteve-se restrito à rede de sensor sem fio padrão IEEE 802.15.4. No entanto, estudos futuros podem ser desenvolvidos utilizando-se redes IEEE 802.11, mais difundidas no mercado e nos ambientes construídos, com potencial para novas aplicações para dispositivos *wi-fi*.

Referências

CANSADO, J. C. A. *Instrumentalização de Redes de Sensores Sem Fio*. 2011. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-26032012-113031/pt-br.php>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

GIELOW, F. H. *A study of communication requirements and protocols on Wireless Multimedia Sensor Networks*. Projeto de Graduação (Ciência da Computação) - Núcleo de Redes Avançadas NR2, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.nr2.ufpr.br/~fernando/TG/index.php>>. Acesso em: 14 ago. 2013.

GRACIOLI, Giovani et al. Evaluation of an RSSI-based Location Algorithm for Wireless Sensor Networks. *Revista IEEE América Latina*, v. 9, p. 830-835, 2011. Disponível em: <http://www.revistaieeela.pea.usp.br/ieee/issues/vol9issue1March2011/9TLA1_15PereiraPires.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2013.

KIEV G.; ALVARO, A.; PEIXOTO, E. C. *Em Direção a um Modelo de Maturidade Tecnológica para Cidades Inteligentes*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI), 8., 2012, São Paulo. *Trilhas técnicas...* São Paulo: SBSI, 2012. p. 150-155. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/0018.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

PERES, A. *Mecanismo de Autenticação Baseado na Localização de Estações Sem Fios Padrão IEEE 802.11*. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18634/000729269.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 ago. 2013.

SANTOS, I. M.; DOTA, M. A.; CUGNASCA, C.E. Modelagem de Autômato Adaptativo para a definição dinâmica do intervalo de amostragem em Rede de Sensores Sem Fio. *Revista IEEE América Latina*, v. 9, p. 1-6, 2011. Disponível em: <http://cpd1.ufmt.br/ivairton/doc/pub/2011-SANTOS-WTA-AA_intervalo_RSSF.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2013.

TAVARES, P. L. *Rede de Sensores Sem Fio*. 2002. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/Redes%20de%20sensores/Redes%20de%20Sensores%20Sem-fio.htm#_Toc27989321>. Acesso em: 22 ago. 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. *CC1101 Low-power Sub-1 GHz RF Transceiver*, 2011.

PROCÓPIO, EDSON TAIRA. *Identificação de modelo matemático para representar a transmissão de rede de sensores sem fio em ambientes construídos*. 2012. 159 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, São Paulo, 2012.

TRAVASSOS, C.; NORONHA, J.C.; MARTINS, M.; *Mortalidade Hospitalar como Indicador de Qualidade: uma revisão*: (Departamento de Informações em Saúde)

CENTRO DE INFORMAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, RJ, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/csc/v4n2/7119.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2013.