

MONITORAMENTO DE TEMPERATURA UTILIZANDO REDE DE SENSORES SEM FIO EM AMBIENTES CONTROLADOS

MONITORING TEMPERATURE WITH A WIRELESS SENSOR NETWORK IN CONTROLLED ENVIRONMENTS

Fábio H. Cabrini

Ivan R. Florido

Sergio T. Kofuji

Laboratório de Sistemas Integráveis - Universidade de São Paulo - Paulo - SP - Brasil

{cabrini, ivan, kofuji}@pad.lsi.usp.br

ABSTRACT

This work presents the experimental use of a wireless sensor network to monitor controlled environments. The network was configured in the continuous dissemination mode so it collects temperature data on many locations. The transmission rate and local temperature parameters were evaluated. The experiment showed that signal propagation in this type of environment is harmed by noise sources and existing physical barriers, however the network showed satisfactory behavior according to the transmission rate.

Keywords: Wireless Sensor Network, controlled environments, temperature.

RESUMO

Este trabalho apresenta a utilização experimental de uma rede de sensores sem fio no monitoramento de ambientes controlados. A rede foi configurada no modo de disseminação contínua com a finalidade de coletar informações a respeito da temperatura ambiente em diversos pontos. Foram avaliados parâmetros a respeito da taxa de transmissão e temperatura ambiente. O experimento mostrou que a propagação do sinal neste tipo de ambiente é prejudicada por fontes de ruído e barreiras físicas existentes; porém, a rede apresentou um funcionamento satisfatório com base na taxa de transmissão dos dados.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio, ambientes controlados, temperatura.

1. INTRODUÇÃO

As redes de computadores ganham cada vez mais espaço em nossas vidas, e vão se tornando necessárias nas mais diversas atividades do cotidiano. Podemos nos comunicar com pessoas em qualquer lugar do planeta, e até mesmo fora dele. Este fato é possível devido à grande evolução tecnológica dos meios de comunicação. Nos últimos anos, a Internet permitiu que a troca de informações fosse realizada com uma rapidez sem precedentes na história da humanidade. Fatos ocorridos em lugares distantes podem ser noticiados ou acompanhados em tempo real através dos atuais meios de comunicação.

Após o lançamento do primeiro padrão de redes sem fio na segunda metade da década de noventa pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), vem ocorrendo uma revolução na maneira de se utilizar as redes de computadores.

As redes sem fio ganham espaço e adeptos a cada dia, e muitos grupos de trabalho foram criados devido à diversidade e complexidade das tecnologias que permeiam o funcionamento destas redes. Neste cenário, surgiram as RSSF (Redes de Sensores Sem Fio), que proporcionam uma interação das atuais redes de computadores com o mundo em que vivemos.

Estas redes trabalham com baixas taxas de transmissão e são constituídas de pequenos nós com unidade de processamento, memória, transmissor de rádio, sensores e fonte de energia. Estes pequenos módulos trocam informações a respeito do ambiente com o auxílio de protocolos de roteamento, possibilitando que grandes áreas geográficas sejam cobertas através de uma estrutura de múltiplos saltos. Os sistemas operacionais que regem o funcionamento destes dispositivos são refinados com o objetivo de garantir um bom alinhamento com dois compromissos principais: baixo consumo de energia e severas limitações de *hardware*. Por sua vez, os protocolos de roteamento são outros grandes aliados, pois permitem o bom funcionamento da rede mesmo quando esta, por uma série de fatores externos, venha a sofrer a perda de algumas de suas áreas.

As RSSF podem ser utilizadas nas seguintes situações: no monitoramento dos sinais vitais de pacientes hospitalizados [1] [2]; no monitoramento de processos de produção industrial; na agricultura; em estudos ambientais [3]; no sensoriamento de ambientes nocivos aos seres humanos [4] e regiões oceânicas de grande profundidade [5] [6] [7]. A construção civil também é beneficiada com a utilização das RSSF, que podem garantir a segurança das pessoas através do monitoramento das estruturas das construções [8].

Os processos realizados em ambientes controlados necessitam deste tipo de tecnologia para garantir a reprodutibilidade de seus processos. O controle da temperatura, da umidade relativa do ar e do particulado é de extrema importância para o sucesso dos processos realizados nestes ambientes, ao exemplo das salas limpas utilizadas na fabricação de dispositivos semicondutores. A proposta deste trabalho é estudar o comportamento deste tipo de rede imersa em um ambiente real.

Foram coletados dados referentes à temperatura ambiental de quatro regiões distintas da sala limpa do Laboratório de Sistemas Integráveis da Universidade de São Paulo - LSI.

As regiões escolhidas apresentam as principais atividades realizadas neste tipo de ambiente, os processos escolhidos foram: corrosão por plasma, caracterização de dispositivos, eletrodeposição e litografia.

O teste foi realizado num período de 24 horas, tendo um período de atividade de aproximadamente 12 horas; durante este período ocorreram processos de corrosão por plasma, eletrodeposição e litografia, os dados gerados pelos sensores foram transmitidos para uma base remota localizada nas proximidades da sala limpa.

Os ambientes são separados por divisórias e o sistema de ar condicionado atende a todas as regiões da sala mantendo uma temperatura próxima de 25°C. Este ambiente tem 70m² e o número de partículas em suspensão é de aproximadamente 10.000 por pé cúbico.

Analizamos o posicionamento dos sensores, a taxa de transmissão, a perda de pacotes e os valores de temperatura em cada ponto durante a execução do teste.

O trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados; a seção 3 apresenta uma visão geral sobre as RSSF; a seção 4 apresenta os testes realizados e expõe os dados obtidos; por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A necessidade de construir uma rede de sensores sem fio na Universidade de São Paulo para monitoramento da sala de processos do Laboratório de Sistemas Integráveis da USP, motivou a busca por trabalhos que apresentassem algum tipo de relação com o objetivo geral desta proposta de trabalho. Werner-Allen 2005 et al. apresentam a experiência a respeito da implementação e da operação da plataforma MoteLab utilizada no desenvolvimento de novas aplicações em RSSF [9].

O desafio de construir uma rede semelhante ao MoteLab apresenta diversos questionamentos a respeito do funcionamento das RSSF e das condições ambientais para o seu pleno funcionamento. Anastasi 2004 et al. propõem uma metodologia para medir o desempenho de uma RSSF através de testes experimentais [17], um ponto importante deste trabalho. Outro ponto a ser considerado são os aspectos de tolerância à falhas em RSSF [16], apresentado por Macedo 2005 et al.

3. CARACTERÍSTICAS DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO

A RSSF é um caso particular das redes *ad-hoc* e são compostas por unidades computacionais autônomas conhecidas como nós. Estes nós são pequenos dispositivos constituídos de unidade de processamento, memória estática e dinâmica, interface analógica e digital, bateria, módulo de rádio e os mais variados tipos de sensores; o diagrama de blocos do Mica2dot pode ser visualizado na figura 1.

Os nós têm a capacidade de transmitir os dados através de um enlace de rádio e podem ser utilizados em redes com dezenas, centenas ou milhares de nós distribuídos na região de interesse.

A aplicação influenciará diretamente nas funções exercidas pelos nós, assim como na arquitetura (processador, memória, sensores e fonte de energia), na quantidade de nós que compõem a rede, na distribuição, na escolha dos protocolos da pilha de comunicação, no tipo de dado, no tipo de serviço e conseqüentemente no tempo de vida dos dispositivos [15].

A RSSF utilizada neste trabalho é composta por nós do tipo Mica2dot desenvolvidos pela Universidade de Berkeley e comercializados pela *Crossbow Technology Inc* [10]; as dimensões deste dispositivo podem ser vistas na figura 2.

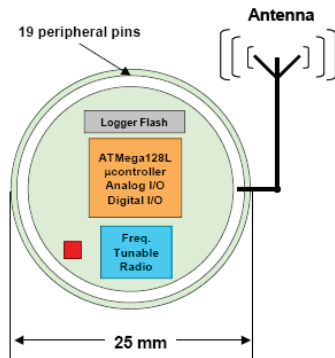


Figura 1: Diagrama de blocos do dispositivo Mica2dot [10].

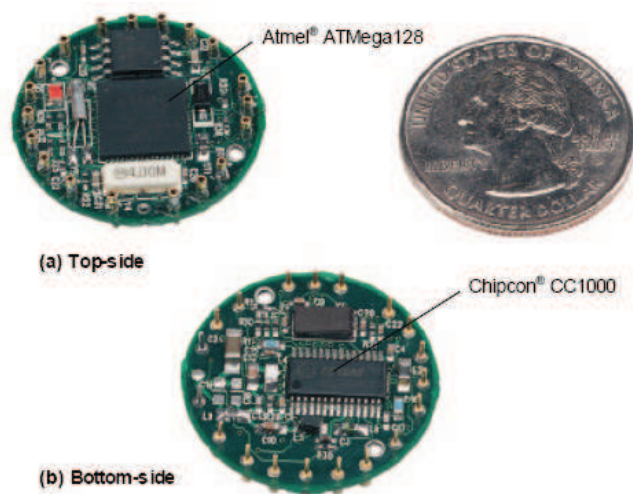


Figura 2: Dimensões do Mica2dot da Crossbow Technology Inc [10].

O microcontrolador utilizado é o ATmega 128L [24] e o sistema de rádio é baseado no *chip* CC1000 da *Chipcon*, que trabalha com baixa potência e baixos níveis de tensão, opera em UHF na faixa ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) e SRD (*Short Range Device*). A banda de frequência pode ser definida em 315, 433, 868 e 915 MHz, sendo facilmente programado para operar em outras frequências na faixa de 300 a 1000 MHz.

Os dispositivos estudados trabalham na faixa de 433MHz ou 915MHz. Este sistema de rádio utiliza a modulação FSK (*Frequency Shift Key*), que permite atingir taxas de transmissão da ordem de 76.8Kbps utilizando a codificação NRZ (*Non Return to Zero*) [11], o diagrama de blocos do enlace de rádio pode ser visto na figura 3.

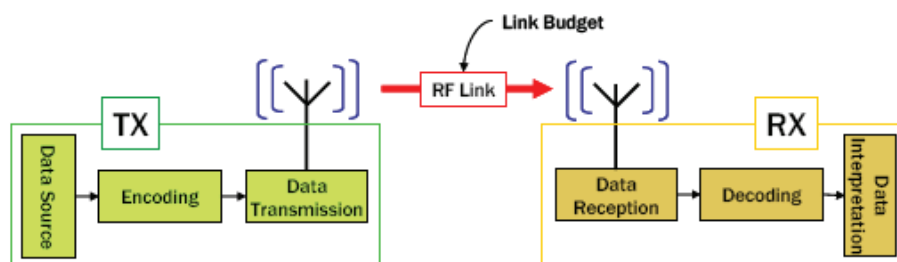


Figura 3: Diagrama de blocos do enlace de rádio [12].

O *chip* é alimentado com tensões que podem variar entre 2.1V e 3.6V, permitindo que o sistema de rádio trabalhe com o mínimo de recursos energéticos. Uma outra característica interessante é a robustez em relação à faixa de temperatura que este dispositivo pode operar: varia entre -40°C e 80°C, permitindo sua utilização nos mais variados tipos de ambiente [11] [12]. O sistema operacional utilizado é o TinyOS: trata-se de um sistema operacional orientado a eventos e escrito com base na linguagem de programação NesC, uma derivação do C ANSI [33]. Sua arquitetura é baseada em componentes, permitindo assim uma rápida evolução, mas respeitando o aspecto modular.

4. TESTE EXPERIMENTAL NA SALA LIMPA

Os quatro pontos de monitoramento foram indicados pela equipe de processos do LSI. O primeiro ponto foi localizado na região A foto litografia; a região B é localizada nas proximidades dos fornos utilizados na oxidação das lâminas de Si; a região C engloba a capela de eletrodeposição e evaporação; por fim, a região D está localizada nas imediações do reator de plasma. Os equipamentos utilizados no teste podem ser visualizados através da figura 4.

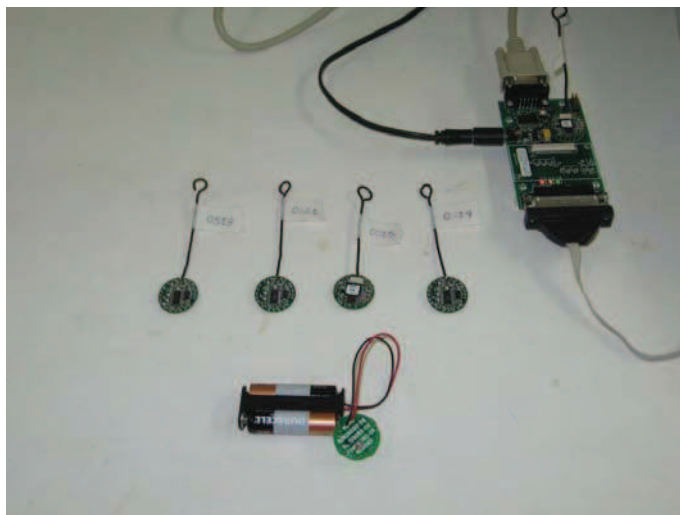


Figura 4. Equipamentos utilizados no teste.

Para a execução do teste foram seguidas à risca as recomendações do fabricante a respeito das fontes de energia [10].

Os nós sensores foram posicionados a uma altura superior a 1,30m em relação ao solo, com base nos testes apresentados na referência [17], observamos que a esta altura a taxa de transmissão permanece praticamente constante em relação à estação base quando não há fontes de ruídos e a distância é inferior a 10m. A frequência de 915MHz foi utilizada para a transmissão dos dados.

Os nós sensores são representados pelos pontos de cor verde que são identificados na planta civil, figura 5.



Figura 5. Posicionamento dos dispositivos na sala limpa do LSI.

Os obstáculos existentes na sala são dos mais variados tipos, como: eucatex, vidro, plástico e chapas metálicas. A densidade de equipamentos no interior da sala também é elevada, devido principalmente ao alto custo da construção deste tipo de ambiente.

O reator utilizado nos processos de corrosão por plasma opera na frequência de 13.56 MHz e sua câmara de processos foi construída em aço inoxidável.



Figura 6. Reator de plasma utilizado nos processos de corrosão.

A base receptora foi posicionada a uma distância inferior a 10m em relação aos nós sensores, mantendo a distância dentro dos limites testados na referência [17]. O posicionamento foi realizado de forma experimental, permitindo que todos os nós pudessem enviar os dados diretamente à base receptora, sem a necessidade de utilizar protocolos de roteamento.

O regime de disseminação de dados escolhido para o teste foi o contínuo, como proposto na referência [15]. Os ambientes da sala são divididos por divisórias de eucatex com janelas de vidro e são atendidos pelo mesmo sistema de ar condicionado. O fluxo do ar é laminar e são utilizados filtros para melhorar a qualidade do ar.

Durante o período de atividade houve a circulação de pesquisadores nas dependências da sala limpa.

A RSSF em questão pode ser caracterizada como sendo de composição homogênea, estacionária, com densidade balanceada, distribuição irregular e com fluxo de dados é *unicast*, esta classificação pode ser acompanhada em detalhes na referência [15].

A variação da temperatura ambiente nas quatro regiões de monitoramento pode ser observada no gráfico 1. Os testes iniciaram às doze horas e foram finalizados após um período de vinte e quatro horas.

O período de inatividade pode ser observado devido à diminuição da temperatura ambiente, sendo possível observar uma elevação da temperatura na região B devido à utilização dos fornos no período de atividade. Os valores obtidos pela RSSF foram comparados com os dados fornecidos pelos termômetros localizados no interior da sala de processos.

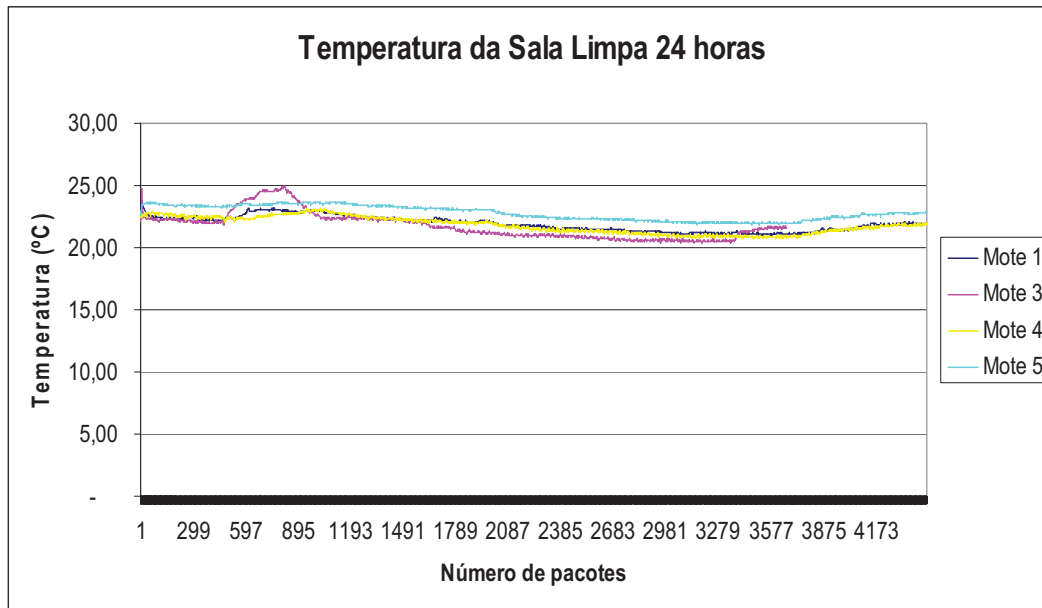


Gráfico 1. Variação da temperatura nos pontos de monitoramento.

Houve uma perda significativa de pacotes na comunicação entre a região B e a base receptora, como pode ser observada no gráfico 2. Fenômenos como reflexão, *multi-path* e interferências eletromagnéticas, podem ter contribuído para a degradação do sinal transmitido neste enlace aumentando o número de pacotes perdidos.

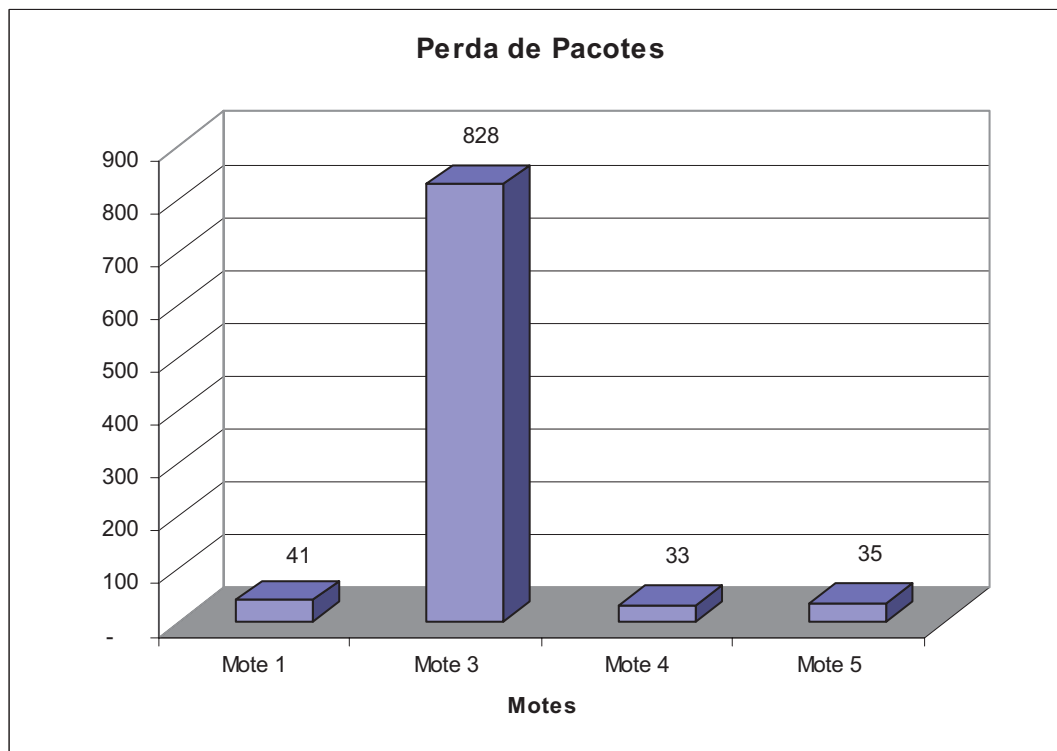


Gráfico 2. Número de pacotes perdidos durante o teste.

O gráfico 3 apresenta a descarga das pilhas durante o período em que o teste foi realizado. Estas informações foram verificadas através da medição da tensão das pilhas no início e no final do teste, as medições foram realizadas com um voltímetro de precisão.

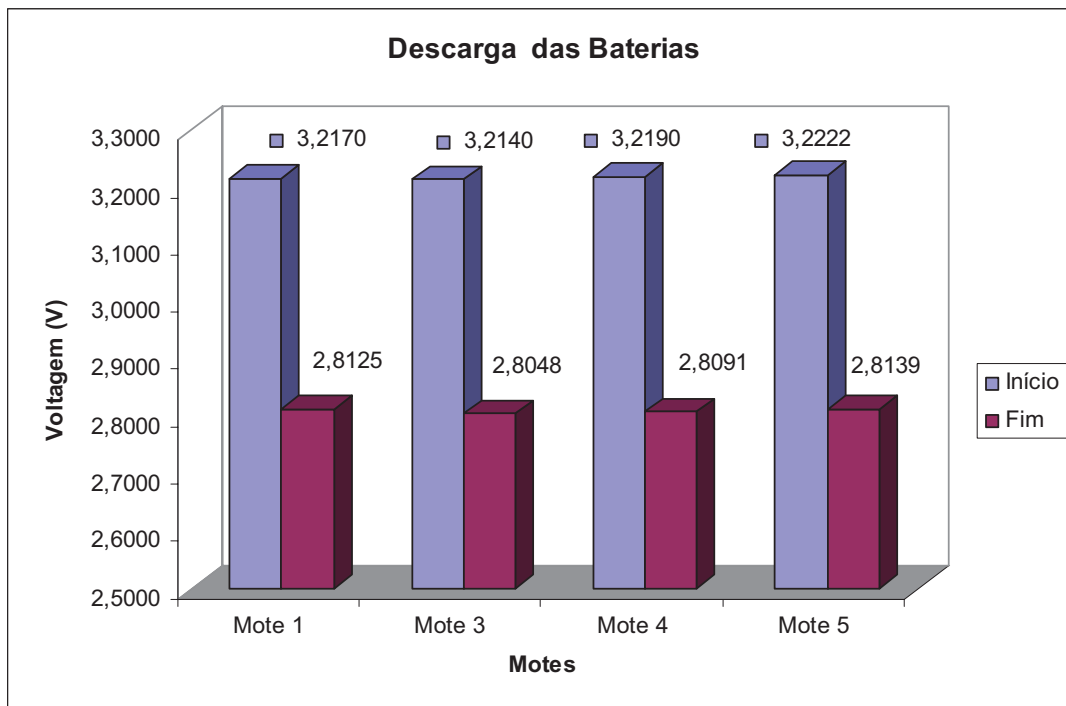


Gráfico3 Descarga das baterias durante o teste.

No período de inatividade não havia pessoas nem processos sendo realizados nas dependências do laboratório. No período de atividade foram realizados processos no reator de plasma, na capela de eletro-deposição, nos fornos e na foto litografia.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta o monitoramento da temperatura em quatro regiões distintas da sala de processos do Laboratório de Sistemas Integráveis da Universidade de São Paulo.

Os nós utilizados neste trabalho foram os Mica2dot que apresentam um tamanho reduzido quando comparado ao Mica2.

A sala limpa em questão possui regiões distintas que são passíveis de monitoramento. A temperatura foi à grandeza escolhida devido à sua importância para a boa qualidade dos processos.

Este tipo de ambiente pode ser encontrado na fabricação de dispositivos *MEMS – Micro Electro Mechanical Systems*, nanotecnologia, laboratórios farmacêuticos, biomedicina e indústria aeroespacial.

O ambiente de teste influenciou de forma negativa o desempenho do nó localizado na região B, que gerou uma elevação no número de pacotes perdidos. Também foi possível observar que o consumo de energia foi o mesmo em todos os nós.

Foi constatado que a RSSF apresenta uma robustez adequada para ser utilizada em ambientes controlados, ao exemplo da sala limpa.

A expectativa para o futuro é de aumentar o leque de grandezas físicas a serem monitoradas e utilizar um número maior de nós sensores através do uso de protocolos de roteamento.

Pretendemos verificar o relacionamento entre os processos de microeletrônica com as variações da temperatura, umidade e vibrações através do uso da RSSF.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Victor Shnayder, Bor-rong Chen, Konrad Lorincz, Thaddeus R. F. Fulford-Jones e Matt Welsh, Sensor Networks for Medical Care, Harvard University Technical Report TR-08-05, Abril 2005.
- [2] Thaddeus R. F. Fulford-Jones, Gu-Yeon Wei, Matt Welsh, A Portable, Low-Power, Wireless Two-Lead EKG System, 26th IEEE EMBS Ann. Int'l Conf, 2004.
- [3] Robert, Szewczyk, J. Polastre, A. Mainwaring, and D. Culler, Lessons from a sensor network expedition, in Proc. 1st European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN), pp. 307-322, Janeiro 2004.
- [4] G. Werner-Allen, J. Johnson, M. Ruiz, J. Lees and M., Welsh, Monitoring Volcanic Eruptions with a Wireless Sensor Network, European Workshop on Sensor Networks (EWSN'05), Janeiro 2005.
- [5] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, Underwater acoustic sensor networks: research challenges, Ad Hoc Networks (Elsevier), 2005.
- [6] Xiping Yang¹, Keat G. Ong, William R. Dreschel, Kefeng Zeng, Casey S. Mungle and Craig A. Grimes³, Design of a Wireless Sensor Network for Long-term, *In-Situ* Monitoring of an Aqueous Environment, pp. 455-472, Sensors 2002.
- [7] I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin and P. Corke, Data Collection, Storage, and Retrieval with an Underwater Sensor Network, 3rd international conference on embedded networked sensor, 2005.
- [8] K. Mechitov, W. Kim, G. Agha and T. Nagayama, High-Frequency Distributed Sensing for Structure Monitoring, First International Workshop on Networked Sensing Systems, 2004.
- [9] Geoffrey Werner-Allen, Patrick Swieskowski, and Matt Welsh, MoteLab: A Wireless Sensor Network Testbed, Special Track on Platform Tools and Design Methods for Network Embedded Sensors (SPOTS), Abril 2005.
- [10] Crossbow Technology Inc., User Manual: MPR – Mote Processor Radio Board, MIB – Mote Interface, Programming Board User's Manual, 2005.
- [11] Chipcon corporation, Chipcon CC1000 Data Sheet, <http://www.chipcon.com>, 2005.
- [12] Michael Grimmer, Considerations for Radio Communications Links, Crossbow Inc., 2005.
- [13] Philip Levis, Nelson Lee, Matt Welsh, David Culler, TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications, Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003).
- [14] Levis, P. and Lee, N., Tossim: A simulator for tinyos networks, Technical Manual, Setembro, 2003.
- [15] Ruiz L.B., Correia, L. H. A., Vieira, L.F.M, Macedo, D.F. Nakamura E.F., Figueiredo, C.M. S., Vieira, M.A.M., Habib, E. B., Câmara,D., Loureiro A. A. F., Nogueira J. M. S., Silva, D. C. Jr., Fernandes, A. O., Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio, SBRC, 2004.
- [16] Daniel F. Macedo, Luiz H. A. Correia, Aldri L. dos Santos, Antônio A. F. Loureiro, José Marcos S. Nogueira, Avaliando aspectos de tolerância a falhas em protocolos de roteamento para redes de sensores sem fio, Anais do Workshop de Tolerância a Falhas (SBRC), 2005.
- [17] G. Anastasi, A. Falchi., A. Passarella, M.Conti and E. Gregori, Performance Measurements of Motes Sensor Networks, ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile System, Venice (Italy), Outubro 4-6, 2004.
- [18] Stallings, William, Wireless Communications and Networking, Prentice Hall, 2001.
- [19] Rios, Luis Gonzaga, Perri, Eduardo Barbosa, Engenharia de Antenas, Edgard Blücher, 2002.

- [20] Miyoshi, Edson Mitsugo, Sanches, Carlos Alberto, Projetos de Sistemas de Rádio, Érica, 2002.
- [21] Crossbow, MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Board User's Manual, 2005
- [22] Crossbow, "Getting Started Guide", Crossbow Inc., Setembro, 2005.
- [23] D. B. Green, M. S. Obaidat, An Accurate Line of Sight Propagation Performance Model for Ad-Hoc 802.11 Wireless Lan (WLAN) Devices, IEEE International Conference on Communications, 2002.
- [24] Atmel Corporation, AVR Microcontroller Atmega 128L Reference Manual, <http://www.atmel.com>, Novembro, 2004.
- [25] Coombs, Clyde F., Communications network test and measurement handbook, McGrawHill, 1998.
- [26] Hác, Anna, Wireless Sensor Network Designs, Wiley, 2003.
- [27] Callaway , Edgar H., Wireless Sensor Networks : architectures and protocols, Auerbach, 2003.
- [28] Tanenbaum, Andrew S., Redes de Computadores, 4ª edição, Campus, 2003.
- [29] Eustathia Ziouva, Theodore Antonakopoulos, CSMA/CA Performance under High Traffic Conditions: Throughput and Delay analysis, Computer Communications, 2002.
- [30] Wei Ye, John Heidemann, Medium Access Control in Wireless Sensor Networks, USC/ISI TECHNICAL REPORT ISI-TR-580, Outubro, 2003.
- [31] Song Ci, Hamid Sharif, Study of an Adaptive Frame Size Predictor to Enhance Energy Conservation in Wireless Sensor Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005.
- [32] Pavan Sikka, Peter Corke e Leslie Overs, Wireless sensor devices for animal tracking and control, Embedded Networked Sensors, Novembro, 2004.
- [33] Philip Levis, Sam Madden, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Kamin Whitehouse, Alec Woo, David Gay, Jason Hill, Matt Welsh, Eric Brewer e David Culler, TinyOS: An Operating System for Sensor Networks, IEEE INFOCOM, 2002.