



NETLOG 2021

International Conference on Network
Enterprises & Logistics Management

Análise sobre Redes de Sensores sem Fio para Monitoramento de Processos Industriais

Santos, M.N.¹, Mansano R.D.²

Universidade de São Paulo

¹mnsantos@lsi.usp.br

²mansano@lsi.usp.br

Resumo

As redes de sensores sem fio ganharam mais espaço com a evolução das tecnologias de transistores, sensores, MEMS e microprocessadores. As redes são formadas por nós sensores que possuem características físicas reduzidas, podendo ser aplicados nas mais diversas áreas, como monitoramento de áreas de risco, parques ambientais, monumentos históricos, ambientes militares, domésticos, hospitalares e industriais. As tecnologias de redes de sensores sem fio são suportadas por simuladores que permitem a análise da melhor deposição, comunicação, consumo de energia e desempenho, bem como estruturas físicas que permitem estabelecer melhores práticas de produção e manutenção. Este trabalho tem como objetivo a análise de redes de sensores sem fio para monitoramento de processos industriais e propõe uma simulação utilizando o software CupCarbon.

Palavras Chaves. *Redes de Sensores sem Fio, Simulação, Processos Industriais, Condição de Monitoramento.*

Abstract

Wireless sensor networks have gained more space with the evolution of transistors, sensors, MEMS, and microprocessors technologies. The networks are formed by sensor nodes that have reduced physical characteristics allowed to be applied in the most diverse areas, such as monitoring of risk areas, environmental parks, historical monuments, military, domestic, hospital and industrial environments. Wireless sensor network technologies are supported by simulators that allow the analysis of the best deposition, communication, energy consumption and performance, as well as physical structures that allow to establish better practices of production and maintenance. This work aims at the analysis of the wireless sensor networks for the monitoring of industrial processes and propose a simulation using CupCarbon software.

Keywords. *Wireless Sensor Network, Simulation, Industrial Process, Condition Monitoring.*

1 Introdução

As redes de sensores sem fio estão sendo utilizadas nas mais diversas áreas, como de turismo, educação, controle de estoque, monitoramento de áreas de risco, parques ambientais, ruínas históricas, ambientes militares, domésticos, hospitalares e na indústria. Uma rede de sensores sem fio é utilizada em situações que não permitem a utilização de cabos e fios. Nos processos industriais as redes de sensores sem fio podem ser utilizadas com diversos objetivos quando associados as técnicas de confiabilidade, manutenção preditiva e suporte aos processos de manutenção preventiva e corretiva. As redes de sensores sem fio podem ser aplicadas aos processos de confiabilidade, que

visam obter uma determinada campanha operacional em determinado período sem que ocorram falhas. O monitoramento de condições críticas indicadas nos processos pode permitir o aumento da confiabilidade. As redes de sensores sem fio em relação a sua característica física são formadas por uma grande quantidade de dispositivos, que possuem a capacidade de sensoriamento, processamento, atuação e comunicação. As principais características de uma rede sensorial são sensor, observador e fenômeno. O sensor é o dispositivo que faz o monitoramento da grandeza ou fenômeno que está sendo analisado. Sua estrutura básica é formada pelo elemento de sensor, processador, rádio e bateria. As informações coletadas são enviadas ao observador. O observador é o usuário que deseja obter dados sobre o fenômeno monitorado. O fenômeno é a grandeza ou objeto de estudo do observador. Dentre os fatores limitantes e críticos para as redes de sensores sem fio temos a questão da substituição decorrentes do consumo. Assim o estabelecimento de protocolos eficientes podem permitir o prolongamento da vida útil do sistema. As principais métricas para avaliação dos protocolos são eficiência do uso de energia elétrica, latência, precisão, tolerância a falhas, escalabilidade e exposição dos sensores. Os requisitos importantes para receber e transmitir dados de forma segura são definidos como confidencialidade dos dados, autenticação dos dados, integridade dos dados e que os dados sejam recentes. O objetivo desse trabalho avaliar a utilização das redes de sensores sem fio para monitoramento dos processos industriais, discutir os principais simuladores e propõe uma simulação de monitoramento com avaliação de desempenho de consumo de energia. O trabalho é composto por cinco seções, a seção dois apresenta a revisão da literatura, sistemas operacionais e as aplicações das redes sem fio. Na seção três temos a metodologia aplicada com a simulação proposta. A seção quatro traz os resultados e discussões obtidos no trabalho e na seção cinco temos as conclusões obtidas na realização do trabalho.

2 Revisão da Literatura

As redes de sensores sem fio possuem uma tecnologia abrangente e dinâmica. As áreas de atuação permitem as mais diversas aplicações e existem avanços tecnológicos tanto para hardware como para o software. A flexibilidade de instalação das redes permite a minimização de custos de implementação de projetos de monitoramento e os resultados podem ser bastante significativos quando comparados com outras tecnologias dada a capacidade de adaptação da rede. A arquitetura de rede de monitoramento utiliza o conceito de cluster, onde dezenas ou centenas de nós compõem uma rede. (B. Krishnamachari, 2005). Neste tipo de arquitetura temos três tipos básicos de nós sensores: Nós escravos, nós mestres e nós *sinks*. Os nós escravos realizam operações básicas de sensoriamento e transmissão de dados, ora transmitem, ora detectam informações, estabelecendo comunicação com o nó mestre que se encontra dentro do cluster. O nó mestre dentro do cluster, controla e monitora todos os nós escravos além de armazenar o endereçamento do nó escravo. A fusão dos dados é realizada pelo nó mestre que caracterizará o desempenho da rede. O nó *sink* estabelece a conexão entre a rede externa e a rede de sensores sem fio, recebendo as informações das aplicações cliente promovendo as ações de recebimento e envio de informações dentro da rede. A parada do nó *sink* proporciona a parada de aplicações da rede e conseqüentemente a perda de função dela. Sua natureza de programação oferece um enorme potencial de customização e ajuste de programação. Os módulos escravos se conectam aos nós sensores com objetivo de ampliar a capacidade de parâmetros de detecção. Gateways são necessários para conectar as redes de sensores a uma rede empresarial, industrial ou personalizada, ou localmente a um PC. Múltiplas interfaces são suportadas, incluindo *Ethernet*, *Wifi*, USB e série, para fornecer uma estação base para ligar uma rede de sensores IRIS ou MICA. A figura 1 traz exemplos de módulos sensores e características

básicas de hardware. Qualquer MICA ou IRIS Mote pode funcionar como uma estação base quando acoplado à placa de interface relevante. (X.Li et al., 2015)

| MODULO | CARACTERISTICAS |
|---|--|
|  | <p>Plataforma: MICA</p> <p>Processador: Atmel ATmega 128L, 8 bits</p> <p>Memória: 4Kbytes</p> <p>Faixa: 2,4 a 2,48 GHz</p> <p>Sistema operacional: TinsyOS</p> <p>Aplicações: Movimentação interna em edificações, acústica, vídeo e vibração.</p> |
|  | <p>Plataforma: IRIS/MICAz/MICA2</p> <p>Aplicações: Temperatura, pressão barométrica, luminosidade, vibração sísmica e GPS.</p> |
|  | <p>Plataforma: IRIS/MICAz/MICA2</p> <p>Aplicações: Módulo de programação com entrada USB</p> |

Figura 1: Módulos de nós sensores, autor

2.1 Sistemas Operacionais

Os sistemas operacionais para nós sensores devem estar estruturados de maneira a permitir configurações flexíveis, atendendo os quesitos de restrições físicas e limitação de memória. A listagem abaixo enumera alguns sistemas operacionais:

TinyOs: O sistema operacional TinyOS foi desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Berkeley com a finalidade de permitir que as redes de sensores sem fio tivessem a capacidade de concorrência através de escalonamentos dirigidos a eventos. É um sistema operacional dirigido a eventos projetado para redes de sensores sem fio que possui recursos muito limitados (por exemplo, 8KB de memória de programa, 512 bytes de RAM). TinyOS foi reimplementado em NesC que é uma linguagem de programação com base na linguagem C. Duas das principais motivações dos projetistas do NesC foi a criação de uma linguagem que fosse mais de acordo com o modelo de programação do TinyOS e reimplementar o próprio TinyOS em NesC. Encontra-se na versão 2.1.2 e pode ser obtido gratuitamente. Possui como característica a capacidade de escalonamento dividindo em tarefas e eventos e ainda mecanismos de depuração bastante eficientes com temporizadores,

interfaces de comunicação e portabilidade com sensores. Uma das características importantes é o gerenciamento de energia. (Gay et al., 2007).

Contiki :O sistema operacional Contiki foi desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Ciências da Computação da Suécia com o objetivo de projetar um sistema operacional com grande portabilidade, baseada em multitarefas e com restrições de memória. O Contiki apresenta um escalonamento baseado em eventos e gerenciamento de aplicações de forma dinâmica. É um sistema inteiramente baseado em eventos onde um processo é implementado a partir de um manipulador de eventos. Um determinado bloco de código é executado dependendo da relação de seu handler com o evento ocorrido em um determinado instante. O Contiki suporta multithreading através do método de escalonamento preemptivo. (A. Dunkels, et al., 2006).

MantisOS: O sistema operacional MantisOs foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade do Colorado com o objetivo de fornecer um sistema operacional baseado em multitarefas para redes de sensores sem fio. O mecanismo de multithreading preemptivo fornece aos nós sensores a capacidade de processar diversas informações de forma mais eficiente. Todo sistema operacional da linguagem MantisOs tem como base a linguagem C. (S. Batthi et al., 2005).

SOS: O sistema operacional SOS foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade da Califórnia. O sistema foi projetado com um kernel simples com procedimentos de troca de mensagens, memória dinâmica, módulos de carga e descarga de processos além de vários outros serviços. Possui capacidade de reconfiguração dinâmica e pode ser aplicado para sistemas heterogêneos, escalonamento por prioridades, suporte à depuração e grande portabilidade, utilizando linguagem C. O SOS utiliza memória dinâmica no kernel e nos módulos de aplicação, facilitando a complexidade da programação e aumentando a reutilização da memória temporal. O agendamento de prioridade é usado para mover o processamento fora do contexto de interrupção e fornecer desempenho aprimorado para tarefas de tempo crítico. (A. Duckens et al., 2006).

Yatos: O sistema operacional Yatos foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais com o propósito de gerenciar o nó sensor BEAN. O funcionamento do Yatos é baseado em tarefas que correspondem a blocos executáveis. Para que várias tarefas executem é necessário que um mecanismo de escalonamento seja implementado. Neste caso foi desenvolvido um escalonamento cooperativo onde cada tarefa especifica o instante de sua preempção baseada em um determinado evento. O sistema foi desenvolvido em linguagem C. (L. Vieira, 2004).

2.2 Aplicações das redes de sensores sem fio

O avanço tecnológico tem permitido o diagnóstico de ativos equipamentos em relação a sua condição de funcionamento e disponibilidade. As aplicações das redes de sensores sem fio permitem a análise de condições de temperatura, vibração, pressão, entre outras grandezas permitindo a intervenção no equipamento em tempo adequado evitando a quebra ou perda de função total. Diversos trabalhos têm utilizado as redes de sensores sem fio para monitoramento de processos.



Figura 2: Monitoramento de Processo. Krishnamurthy et al.

De acordo com Krishnamurthy et al. (2005), descreve-se a aplicação de sensores em processos de tancagem em plataformas de petróleo e de utilidades, água pura, em uma indústria de semicondutores. A análise de vibração, um dos parâmetros de manutenção preditiva, foi analisada através de redes de sensores fio. Dois tipos de plataformas de redes foram implementados e comparados, bem como o quesito custo de estabelecimento da rede em relação aos processos tradicionais. As figuras 2 e 3 mostram aplicações de hardware utilizadas nas análises e implementações.

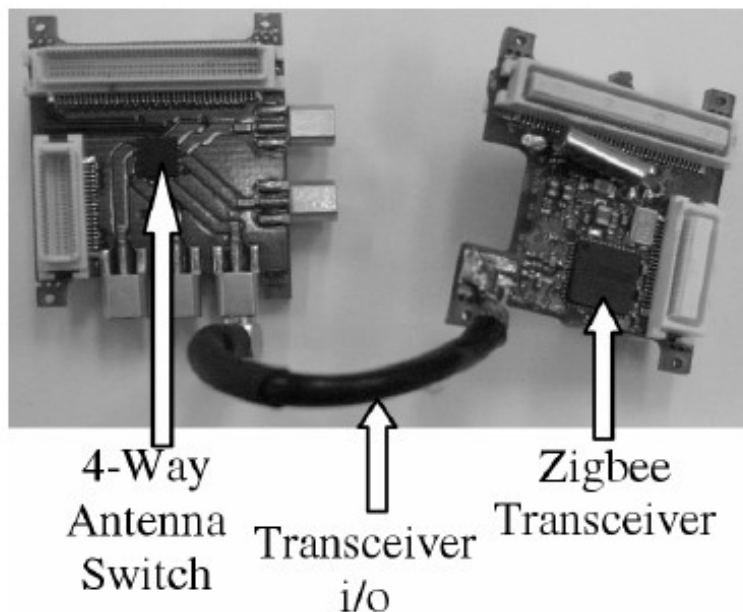


Figura 3: Chave de 4 Canais e Transceiver. Krishnamurthy et al. (2005).

De acordo com M. Erdeli, (2013) em outra aplicação propõe-se e investiga-se a utilização de rede de sensores sem fio para formação de uma rede colaborativa autônoma para monitoramento de incrustações em tubulações e tanque de difícil acesso. São descritos em detalhes o hardware utilizado e sua deposição que mede ph, proximidade, pressão entre outros parâmetros. São descritos o

protocolo de comunicação e os algoritmos utilizados nos nós sensores. A figura 4 mostra a aplicação de sensores em tubulações.

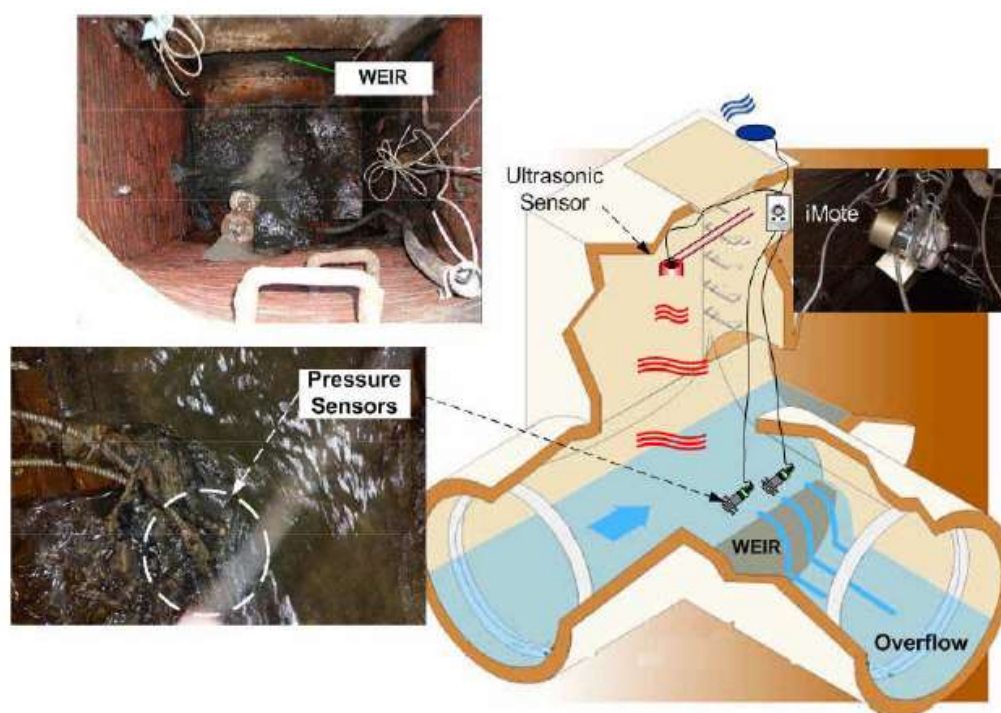


Figura 4: Monitoramento de nível de água. Murphy et al,2007

De acordo com Stoianov et al. (2007), demonstra-se a utilização de redes de sensores sem fio para monitoramento de tubulações. Os ganhos da aplicação são direcionados a detecção, localização e quantificação de rupturas, vazamentos e outras anomalias em tubulações de água. O trabalho detalha resultados e experiências da deposição real bem como os algoritmos implementados em condições de laboratório. Xi Li et al. (2015) propõe o uso de acelerômetros para o monitoramento de vibrações em máquinas e aborda a manutenção preventiva baseada em condição. É demonstrada a relação linear entre acabamento de superfície, desgastes e vibrações de máquinas e a utilização de equipamentos de monitoramento. F. Zahar et al. (2016) propõe a utilização das redes de sensores sem fio em processos de manufatura de louças. As etapas dos processos são detalhadas passo a passo bem como o hardware empregado para monitoramento. São apresentados benefícios financeiros da implementação do processo de monitoramento. Emmanouilidis et al. (2010) propõe a utilização de redes de sensores sem fio para uma operação sustentável. São elencadas as condições de monitoramento, diferentes tipos de elementos sensores, as linguagens de programação utilizadas bem como são propostas deposições em equipamentos industriais para produção de fertilizantes. A figura 5 mostra o passo a passo do processo de deposição de sensores em uma máquina.

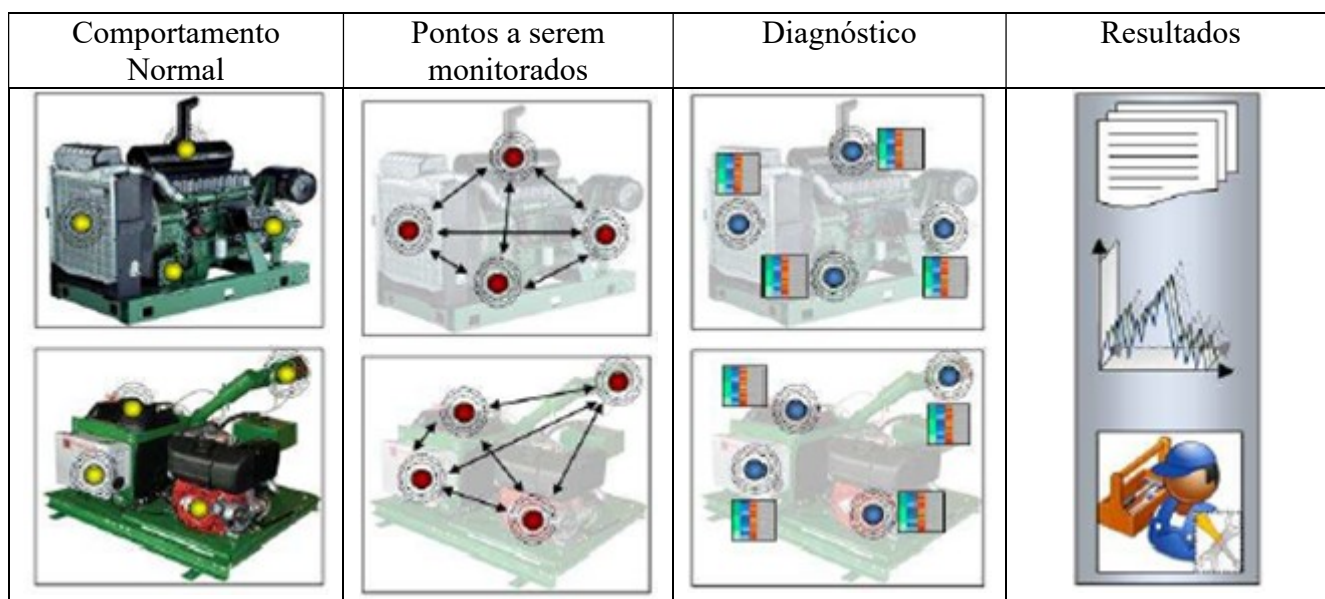


Figura 5: Monitoramento de equipamento. Emmanouilidis et al,2010

A indústria 4.0 tem atraído interesse na utilização das redes de sensores sem fio. As aplicações visam a redução do consumo de energia, aumento de benefícios econômicos e permite produções otimizadas, enxutas e inteligentes. Existem méritos importantes que devem ser incluídos como flexibilidade, ausência de fiação, mobilidade que podem permitir as mais diversas aplicações. Xi Li et al. (2015), estabelecem diferenças entre as redes de sensores sem fio tradicionais WSN e as redes de sensores sem fio Industriais IWN como latência, mobilidade, meio ambiente e capacidade. M.Erdelj et al. (2013) descrevem aplicações das redes de sensores sem fio para monitoramento ambiental e condições de segurança de processos. As aplicações permitem detectar condições de poluição, perigo e segurança nos processos.

3 Método

Para avaliação das redes de sensores sem fio, foi proposta uma simulação utilizando o software *CupCarbon* versão 5.0 disponível na versão *freeware*. O software foi desenvolvido em JAVA e possui basicamente duas camadas em sua arquitetura, sendo uma com os módulos utilizados e outra com a própria simulação. A interface gráfica do software é intuitiva e locais reais podem ser simulados utilizando uma interface com *OpenStreetMaps* ou *Google Maps*. O software ainda é composto por quatro módulos:

Agents Module: inclui dispositivos e eventos necessários para prototipagem de redes de sensores sem fio e para preparar e configurar o simulador.

Map Module: permite desenhar o módulo sem fios num mapa OSM ou Google Maps.

WiSen Simulator Module: permite simular redes de sensores sem fio.

Solver Module: integra um conjunto de algoritmos de otimização como roteamento, cobertura.

Para a simulação foi criada uma rede com sete nós sensores e um nó sink. Dentre os padrões disponíveis para configuração do *software*, que são 802.15.4 (ZigBee), WiFi e LoRa, foi escolhido a 802.15.4. Para os raios de alcance dos sensores, 100, 400 e 1000 metros foi escolhido o raio de 100 metros. A energia consumida na comunicação clássica Tx/Rx em *sleep* ou *deep sleep* pode ser alterada manualmente. A figura 6 mostra a rede estabelecida com o software CupCarbon.

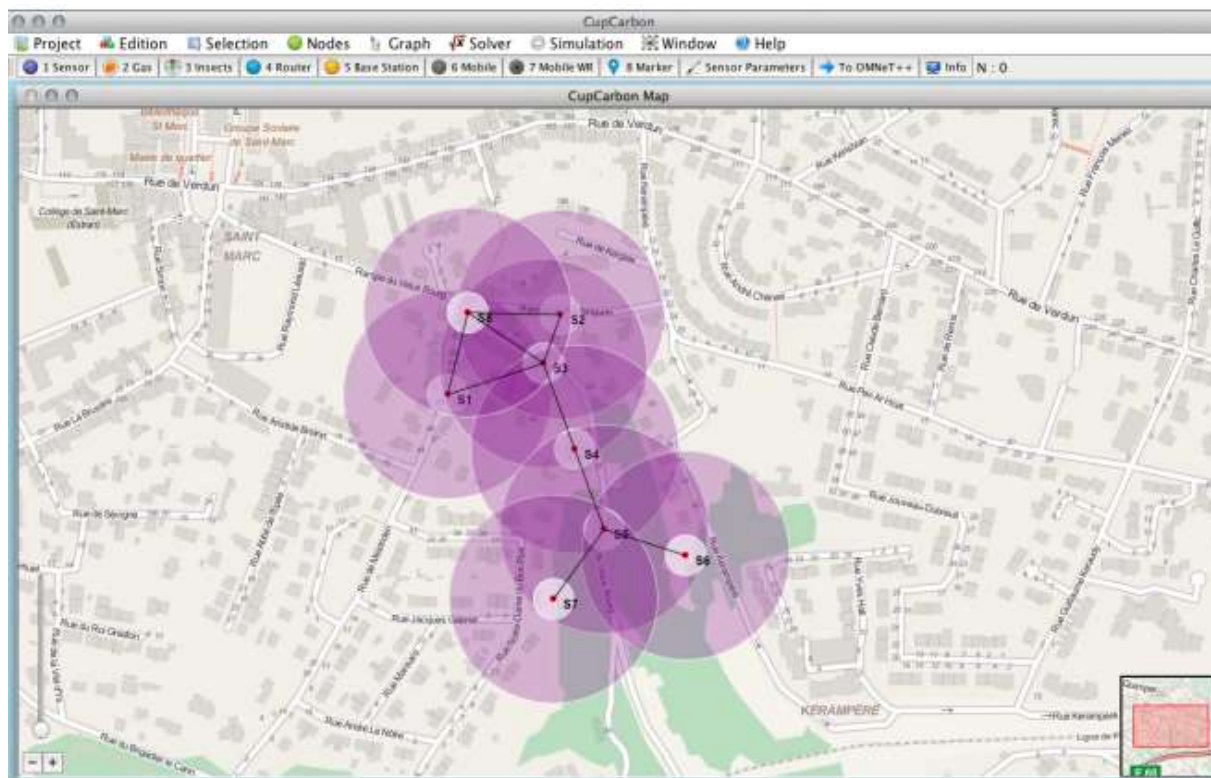


Figura 6: Rede simulada com CupCarbon

4 Resultados e Discussões

Uma rede com sete sensores e um nó *sink* foi simulada com o *software Cupcarbon*. Cada nó sensor foi programado para realização de medição e temperatura com amostragem de 100ms para cada amostragem e foi estabelecida uma rota sequencial de S1 a S7 consecutivamente. A cada ciclo de amostragem um período de latência foi estabelecido em 1000 segundos em *deep sleep*. A rede foi medida com performance de duração de baterias para um ciclo total de 100 horas de trabalho. O primeiro sensor (*green*) parou de funcionar com aproximadamente 55 horas de trabalho enquanto os demais permaneceram funcionando indicando a o período útil de vida da rede superior às 100 horas propostas para funcionamento. Outros parâmetros como perda de pacotes e ruído latente não foram avaliados na simulação, porém os parâmetros de interferência para perda de qualidade da rede podem ser inseridos manualmente na simulação. Os sensores foram separados por cores e sobrepostos no gráfico de consumo de energia de cada sensor. O processo de simulação demonstra o consumo da rede e o estabelecimento da vida útil dos sensores de acordo com a deposição realizadas e o sequenciamento amostral proposto. As redes de sensores sem fio possuem uma característica temporal permitindo assim a obtenção de dados para uma determinada análise proposta de acordo com tempo de duração limitado caso não se faça substituição de baterias ou implementação de

módulos solares ou de rádio frequência para alimentação do sistema. A figura 7 demonstra o comportamento do consumo de energia da rede.

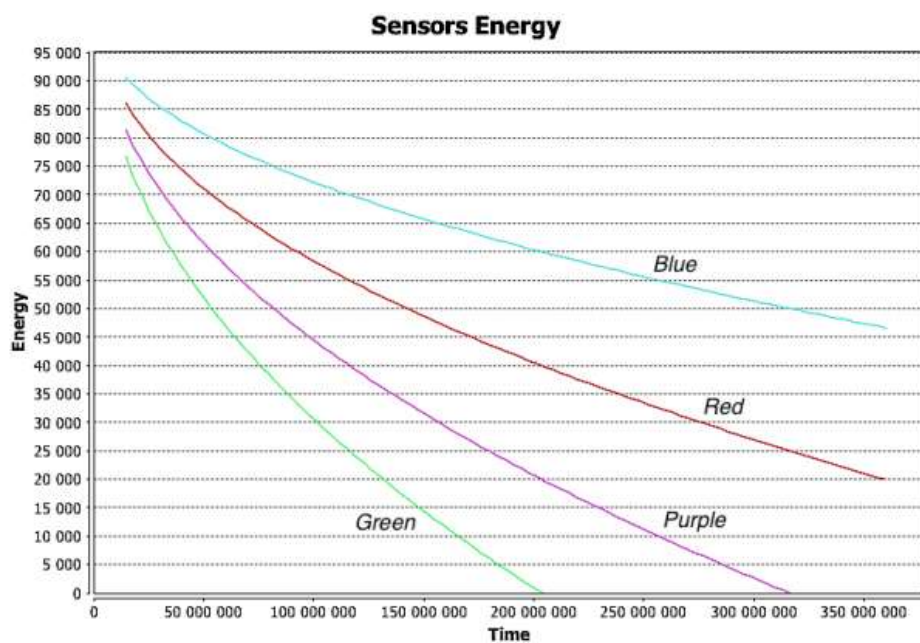


Figura 7: Performance de energia dos sensores

5 Conclusões

As redes de sensores sem fio permitem estabelecer contribuições importantes para o monitoramento de processos industriais. As técnicas de manutenção preventiva e preditiva podem ter o acompanhamento de parâmetros como temperatura, vibração, pressão, entre outras grandezas. A tecnologia dos nós sensores permitem através de diferentes sistemas operacionais o a integração do ambiente monitorado com técnicas de produção eficaz, enxuta e direcionam ainda as aplicações à internet das coisas IOT. Diversos trabalhos têm apresentado as vantagens das aplicações da rede para monitoramento de ambientes hostis ao monitoramento convencional, bem como apontam substancial economia de recursos de implantação quando comparado às redes convencionais. Parâmetros de qualidade como latência, mobilidade, meio implementado e capacidade de transmissão são apontados como elementos que indicam a qualidade das redes e descritas como redes industriais sem fio. São descritas aplicações em processos industriais com o objetivo de monitoramento de condições ambientais, risco e segurança. A aplicação das redes de sensores sem fio para monitoramento de processos industriais pode permitir ganhos substanciais à confiabilidade e integridade física dos processos existentes.

Referências

- A. Dunkels, N. Finne, J. Eriksoon, T. Voigt, (2006). “Run-time Dynamic Linking for Reprogramming Wireless Sensor Networks”. In: Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), pp. 15–28. ACM, Boulder, Colorado, USA.
- B. Krishnamachari, (2005) “Introdução” em Networking Wireless Sensor, 1a. ed, Ed. Cambridge: Cambridge University Press, pp.001-009.

- C. Emmanouilidis, P. Pistofidis, (2010). Machinery Self-Awareness with Wireless Sensor Networks: A means to sustainable operation. Proceedings of the 2nd.Workshop Maintenance for Sustainable Manufacturing. Verona, Italy, PP 43-50.
- F. Zarfar, A. Hammed, M. Masood, (2016). Application of WSN in Crockery Manufacturing Industry, *IJASOS-International E-Journal of Advances in Social Sciences*, Vol.II, Issue 5, pp.461-470.
- Gay, D., Levis, P., and Culler, D., (2007). Software design patterns for TinyOS. ACM Trans. Embedd. Comput. Syst. 6, Technical Report No. UCB/CSD-04-1350,2004 <http://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2004/CSD-04-1350.pdf>.
- I.Stoianov, L. Nachman, S. Madden, T. Tokmouline. (2007). PIPENET, A wireless sensor network for pipeline monitoring. Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks (IPSN '07). ACM, New York, NY, USA, pp.264-273. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1236360.1236396>.
- L. Krishnamurthy et al (2005), Design and deployment of industrial sensor networks: Experiences from a semiconductor plant and the North Sea. *Third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, San Diego, CA, USA, pp.64-75. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1098918.1098926>.
- L. Viera, (2004). “Yatos e YATOS e WISDOM: Plataforma de Software para Redes de Sensores sem Fio.” Master’s thesis, DCC-UFMG, Belo Horizonte MG, Brasil.
- M. Erdelj, N. Mitton, E. Natalizio, (2013). “Applications of Industrial Wireless Sensor Networks.”. *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*, CRC Press. <hal-00788629>.
- S. Bhatti, J. Carlson, H. Daí, J. Deng, J. Rose, A. Sheth, B. Shucker, C. Gruenwald, A. Torgerson, R. Han, (2005). MANTIS OS: An Embedded Multithreaded Operating System for Wireless Micro Sensor Platforms. In: *ACM/Kluwer Mobile Networks & Applications (MONET)*, Special Issue on Wireless Sensor Networks, August. Secaucus, NJ, USA. Available: <https://doi.org/10.1007/s11036-005-1567-8>.
- X.Li, D. Li, J. Wan, A.V. Vasilakos (2015), C. Lai, A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0, Springer Science+Business Media, DOI 10.1007/s11276-015-1133-7, New York. Available: <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7>.