

# Implementação em Hardware de uma Rede de Sensores para Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

Edward Hsiao, Tiago de Oliveira, Denise Stringhini,  
Luiz E. G. Martins, Bruno Y. L. Kimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)  
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1201  
Eugênio de Mello, São José dos Campos/SP – Brasil

{ehsiao,tiago.oliveira,dstringhini,legmartins,bruno.kimura}@unifesp.br

**Abstract.** *This paper presents the development of an open source, low-cost, flexible, reliable and scalable wireless sensor networks system for monitoring and warning of natural disasters. In Brazil, for example, meteorological monitoring system mostly uses wireless mobile telecommunications technology such as 3G networks which are expensive, unreliable and unreachable in some regions. The hardware platform proposed is based on wireless sensor networks and Internet of Things concepts as a better alternative to the systems currently employed. Some prototypes were implemented in hardware using Arduino, Intel Edison, NRF24 wireless communication modules and low-cost sensors. Results of range and packet loss tests indicate the viability of this approach for the monitoring and warning of natural disasters platform proposed.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de redes de sensores sem fio de baixo custo, flexível, confiável e escalável para monitoramento e alerta de desastres naturais. No Brasil, por exemplo, o sistema de monitoramento meteorológico utiliza principalmente a tecnologia baseada em rede de telefonia móvel, como redes 3G de custo elevado, pouco confiáveis e inacessíveis em algumas regiões. A plataforma de hardware proposta baseia-se em conceitos de redes de sensores sem fio e de Internet das Coisas como uma melhor alternativa aos sistemas atualmente empregados. Alguns protótipos foram implementados em hardware usando Arduino, Intel Edison, módulos de comunicação sem fio NRF24 e sensores de baixo custo. Os resultados dos testes de alcance e perda de pacotes indicam a viabilidade desta abordagem para a plataforma de monitoramento e alerta de desastres naturais proposta.*

## 1. Introdução

Em meio a alteração de clima e tempo nas últimas décadas em decorrência do aquecimento global, o estudo das condições do ambiente se tornou uma ferramenta de suma importância para reduzir e minimizar impactos resultantes de desastres naturais. E isso tem despertado o interesse e a atenção de autoridades governamentais para implantação de infraestrutura adequada que suporte a realização desse estudo. Além disso, têm-se buscado a redução do grande volume anual de gasto em políticas sócio-ambientais decorrentes desses desastres e também decorrentes do alto custo de aquisição e manutenção dessa infraestrutura.

Nesse contexto, foi criado pelo governo brasileiro em 10 de Abril de 2012, por meio da lei No 12.608, o sistema de informações e monitoramento de desastres. E, mais recentemente, criou-se o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), que é o órgão responsável pela manutenção desse sistema. No entanto, a maioria das tecnologias atuais para captar as informações que precedem os desastres naturais ainda utiliza o sistema de comunicação baseado na tecnologia de telefonia celular como redes 3G, que por sua vez são de elevado custo de aquisição e ineficientes. Assim, a opção tecnológica a esta aplicação é a adoção de uma rede de sensores sem fio (RSSF) de baixo custo de instalação e operação para ser empregada na supervisão ambiental. No desenvolvimento de um protocolo eficiente de RSSF, é preciso uma determinada série de equipamentos, como sensores, microcontroladores e interfaces de rede compatíveis.

Por meio da colaboração entre a Unifesp e o Cemaden, foi elaborado o projeto CIGARRA, no qual planeja-se desenvolver uma plataforma *open source* com solução de baixo custo, flexível, confiável e escalável:

- **Baixo Custo:** A redução de custos dos sensores permitirá a maior abrangência de monitoramento. Outro aspecto da redução de custo passa pela simplificação da atividade de instalação e de gerenciamento dos sensores.
- **Flexível:** No Brasil, as áreas monitoradas são distintas, assim como os fatores monitorados. Ora monitoram-se as chuvas, ora a seca pode ser o fator de risco. Por isso, é importante contar com uma plataforma interoperável e diversificada de sensores e motes que permita a fácil montagem e implantação de redes de monitoramento.
- **Confiável:** É essencial que as soluções de monitoramento ofereçam dados corretos e que os serviços operem com poucas falhas. Isso exige um alto grau de redundância no número de nós e o uso de modelos de comunicação de rede ad hoc, capazes de funcionar mesmo com a presença de falhas em alguns nós.
- **Escalável:** Atualmente, o Cemaden monitora áreas de risco em apenas 1.000 dos aproximadamente 5.000 municípios brasileiros. Para a ampla cobertura do território nacional, além da redução de custo material e de operação, o sistema deve ser capaz de lidar com volumes altos de transmissão e processamento de dados.

Além disso, o projeto CIGARRA também visa contribuir para a evacuação segura de pessoas que vivem em áreas de risco por meio de alertas, os quais deverão ser emitidos pela central de monitoramento baseando-se nas informações captadas pela rede de sensores.

Para a realização de todo o projeto CIGARRA, foram organizadas três linhas de atuação: Hardware, Comunicação e Sistemas. A proposta desse artigo será apresentar, dentro da linha de Hardware, o projeto físico de uma rede de sensores sem fio para monitoramento e alerta de desastres naturais, com o objetivo de coletar dados ambientais como chuva, temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, entre outros e transmiti-los via um sistema de rádio frequência de baixo custo.

## 2. Fundamentação Teórica

Nesta seção são descritos o referencial teórico e as tecnologias aplicadas no desenvolvimento deste trabalho. Na subseção 2.1 apresenta-se um breve estudo sobre meteorologia e a previsão do tempo. Na subseção 2.2 é apresentada a definição de redes de sensores sem

fiio (RSSF), suas aplicações e arquitetura. Na subseção 2.3 é descrito o funcionamento do módulo NRF24L01 utilizado neste trabalho. A plataforma Arduino, o *Arduino Intel Edison* e os módulos sensores empregados são apresentados na subseção 2.4.

## 2.1. Meteorologia e Previsão do Tempo

A meteorologia [Ahrens 2009] é a ciência que analisa dados dos fenômenos observáveis relacionados com a atmosfera terrestre. O foco do estudo da meteorologia é a análise das variáveis climáticas para estudo dos processos ambientais e a previsão do tempo. Para compreender os processos químicos e físicos que estabelecem as condições climáticas, são estudados os dados relativos dos fatores climáticos como temperatura, insolação, pressão atmosférica, chuva, vento, umidade do ar e suas relações com o homem e o meio ambiente. Esses dados são coletados em áreas distintas, visto que a previsão não pode se basear em dados adquiridos em apenas um único lugar, pois como a atmosfera é dinâmica e está intimamente correlacionada, um fenômeno que afeta uma dada região poderá influenciar em outra.

Com o desenvolvimento da eletrônica e da informática, a obtenção de informações meteorológicas hoje em dia se tornou mais rápida e eficaz, garantido uma grande precisão e confiabilidade nos dados obtidos. Desse modo, é possível realizar prognóstico de tempo em áreas urbanas ou rurais a fim de obter um alerta para evitar os efeitos trágicos de desastres naturais. Os desastres naturais são resultado decorrente de fenômenos e instabilidades que ocorrem na natureza, provocados por fatores de origem externa ou de ações humanas, que podem resultar em prejuízos humanos, materiais, econômicos ou ambientais [Org.Pan-AmericanaSaúde 2015].

Além do mais, as aplicações de meteorologia são bastante amplas, podendo ser utilizadas em planejamento da agricultura, estratégias militares, construção civil, entre outros setores que podem ser influenciados pelas condições climáticas.

Por sua vez, a previsão do tempo é uma das áreas de estudo da meteorologia dedicada a realizar uma análise com máxima precisão possível de como o tempo irá agir em um determinado local baseado em dados observados.

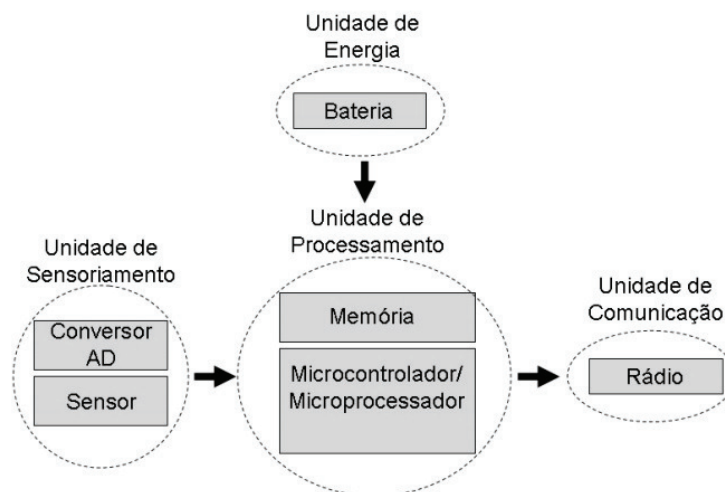
Segundo [Pereira et al. 2007], denomina-se *tempo* o estado da atmosfera em um local e instante, sendo definido pela condição de temperatura, pressão, concentração de vapor, velocidade e direção do vento e precipitação de chuva; e *clima* pode ser definido como uma descrição estática que expressa as condições médias (valor mais provável) do tempo nesse mesmo local. No Brasil, a coleta das informações são efetuadas pelos institutos de previsão do tempo com estações espalhadas em diversos lugares específicos, utilizando equipamentos de medição como termômetro (temperatura ambiente), anemômetro (velocidade do vento), pluviômetro (volume de chuva), higrômetro (umidade relativa do ar) e barômetro (pressão atmosférica). Os principais institutos nacionais são o INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e o INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

## 2.2. Rede de Sensores sem Fio

Uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) [Faludi 2010] é composta de vários sensores autônomos (denominados nós sensores ou *nodes*) dispersos em um campo de interesse de estudo, que se comunicam usando protocolos de comunicação sem fio. O conjunto de nós

sensores possuem características sensitivas com função de captar atributos de grandezas e enviar estes dados a uma estação central por intermédio de uma rede sem fio. A tecnologia é bastante conhecida na área de instrumentação e medidas por unir computação, sensoriamento e comunicação em um pequeno e exclusivo dispositivo [Hill 2003].

A arquitetura de um nó da RSSF usualmente possui a organização interna apresentada na Figura 1, sendo composta por um ou mais sensores e conversores Analógico/Digital (AD). O conversor AD converte os sinais analógicos para um formato digital, o qual é enviado para a unidade de processamento. A unidade de processamento deve possuir a capacidade computacional e memória para armazenar os resultados produzidos. A unidade de comunicação possui conexões com rádio para realizar a transmissão dos dados. Por fim, o nó sensor deve ser alimentado por uma fonte de energia, que geralmente é uma bateria.



**Figura 1. Representação da arquitetura de um nó sensor [Zheng and Jamalipour 2009].**

### 2.3. Unidade de Comunicação (Transceptor NRF24L01)

O módulo NRF24L01 é um transceptor (transmissor e receptor) de rádio frequência produzido pela *Nordic Semiconductor*. Este transceptor se caracteriza pelo baixo consumo de energia e pela velocidade de comunicação, com taxa de transmissão configurável para 250Kbps, 1 Mbps ou 2 Mbps. De acordo com a fabricante [Semiconductor 2007], o módulo possui um gerenciamento avançado de energia, permitindo operar entre 1,9V a 3,6V.

O rádio NRF24L01 é elaborado para trabalhar na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de frequência livre de 2,4GHz (faixa licenciada em que operam outros dispositivos como: Wi-Fi, Bluetooth, telefones sem fio, entre outros), possuindo a capacidade de receber sinais de até seis transmissores sem que haja interferência entre eles. Isso é permitido em virtude do conjunto de seis *Pipes* (tubos) de dados com endereços únicos.

As principais aplicações para esse módulo são:

- Automação e domótica: Por meio de envio de dados pode-se controlar aparelhos, lâmpadas, portões, cafeteiras, entre outros;
- Indústrias: Pode-se estabelecer uma comunicação entre máquinas que enviam informação sobre produção, emergência ou chamados para manutenção;
- Monitoramento ambiental: A partir de uma estação remota pode-se realizar monitoramento de animais, queimadas, abalo sísmico, entre outros.

#### 2.4. Plataforma Arduino, Intel Edison e módulos sensores

O Arduino Uno é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source* baseada no conceito DIY (*Do It Yourself*) criada por Massimo Banzi e David Cuartielles em 2010, com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistema interativos a baixo custo. O componente principal da placa é o microcontrolador ATmega328, um chip de comunicação de oito bits da família AVR com arquitetura RISC. O Arduino Uno conta com 32 KB de memória Flash, 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM, com clock de operação de 16 MHz. Ele possui também 14 pinos de entrada e saída digital (dos quais 6 são utilizados como saída PWM), 6 entradas analógicas. Contém também uma porta de conexão USB, cristal oscilador de 16 MHz, conexão ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), entrada de alimentação e um botão de *reset*.

Por sua vez, a plataforma computacional Intel Edison é um SoC (*System-On-Chip*) que dispõe de um processador Intel Atom de 22 nm com dois núcleos operando a 500 MHz, além de um controlador Intel Quark de 32 bits a 100 MHz. Inclui também 1 GB de memória RAM LPDDR3, 4 GB de armazenamento, Wi-Fi *dual-band* e *Bluetooth* 4.0 integrados. Suporta 40 GPIOs com inúmeras formas de configuração e expansão. Ao adquirir o Intel Edison, a distribuição de Linux Yocto 1.6 vêm pré-instalada no sistema, incluindo diversos utilitários de desenvolvimento como Arduino, C/C++, Node.JS, Python, RTOS, entre outros.

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados alguns sensores de baixo custo para a fase de testes dos protótipos implementados. Os sensores utilizados são:

- **Sensor de Chuva:** O módulo é dividido em duas partes: a placa do sensor, formada por diversas trilhas de níquel resistentes à oxidação, que detecta o nível de líquido incidido na placa; e o módulo chip comparador LM393, que possui a função de ler as informações e de enviar os dados seja na forma digital ou analógica.
- **Sensor de Temperatura LM35:** O sensor LM35 é um sensor de temperatura de baixo custo fabricado pela *National Semiconductor* muito utilizado para aplicações remotas. De acordo com o seu *datasheet*, o sensor permite a leitura de temperaturas  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Entre outras características, o sensor possui uma baixa impedância de saída, tensão linear e calibração precisa, resultando em uma leitura puramente simples e um custo reduzido [Texas-Instruments 2016].
- **Sensor de Luminosidade TEMENT6000:** O módulo de sensor de luminosidade TEMENT6000 é um fototransistor NPN sensível à luz montado em uma placa, acompanhado de um resistor de polarização de 10k ohms. O fototransistor é formado por ligação de dois semicondutores, com a propriedade de variar a sua resistência

em função da densidade luminosa. Assim, na falta de luz, as ligações não conduzem corrente elétrica (resistência alta). Caso contrário, com a resistência baixa, haverá uma tensão alta na saída [Semiconductors 2004].

- **Sensor de Umidade do Solo:** Semelhante ao sensor de chuva, o sensor de umidade do solo é constituído de duas partes: um módulo com sensor FC-28, constituído por dois eletrodos (hastes) de níquel protegido contra oxidação, e o chip comparador LM393. Sua funcionalidade é bem simples, para detectar as alterações de umidade, o sensor é colocado em contato com o solo. Dependendo do nível de água acumulada ocorre condução de corrente elétrica entre as hastes, e assim o nível de umidade é obtido por comparação com a resistência. Sendo assim, quanto mais água presente no solo menor a resistência [FastTech 2016].
- **Sensor Barométrico BMP180:** O BMP180 é um sensor barométrico compacto de alta precisão e econômico em termo de energia desenvolvido pela *BOSCH*. Além de também medir a temperatura ambiente, foi desenvolvido com o objetivo de medir a pressão atmosférica (força exercida pelo ar em um determinado ponto da superfície) [Bosch 2013].
- **Sensor de chama:** O sensor de chama utilizado neste projeto analisa a presença de fogo ou fontes de calor presentes no ambiente, possuindo um sensor infravermelho integrado que detecta luz com comprimento de onda entre 760 e 1100 nm [Future-Electronics 2016].
- **Sensor de Gás MQ-7:** O sensor de gás MQ-7 é utilizado para detecção de CO (monóxido de carbono) no ar, amplamente aplicado em projetos de segurança e domótica, visto que este gás é altamente tóxico para o ser humano. Conforme o fabricante, o material sensível utilizado no MQ-7 é o dióxido de estanho, que em um ambiente sem poluição possui uma condutividade baixa. Já em contato com o CO, sua condutividade é aumentada, gerando um sinal de alerta [Winsen-Electronics 2014].
- **Sensor DHT22:** É um sensor híbrido de temperatura e umidade do ar com comunicação digital de fio único. Dispõe de um termistor que realiza leitura de temperatura na faixa de -40 °C a 80 °C (com precisão de  $\pm 0,5$  °C) e um sensor de umidade capacitivo com faixa de medição de 0 a 100% (com precisão de  $\pm 2\%$ ) [Aosong-Electronics 2016].

### 3. Trabalhos Relacionados

Atualmente, a tecnologia de redes de sensores tem sido utilizada em diversos domínios de aplicação, tais como na área da saúde, de infraestrutura e urbanização, da indústria e agricultura, na área militar e de prevenção de crimes e também na área ambiental, como rastreamento de animais, previsão do tempo e monitoramento de desastres [Rawat et al. 2014].

Dentro do contexto de monitoramento de desastres, os autores em [Takayama et al. 2008] propõem uma abordagem específica para o monitoramento de área com risco de deslizamento de terra, definindo-se para isso um protocolo capaz de atuar mesmo quando houver falhas de alguns nós sensores. Por sua vez, os autores em [Cama-Pinto et al. 2016] utilizam uma rede de sensores baseada na tecnologia de comunicação sem fio X-Bee PRO ZB para o monitoramento de inundações em áreas urbanas. O artigo em [Chen et al. 2013] traz vários estudos de caso no uso da tecnologia de redes de sensores sem fio com enfoque em desastres naturais, implementando um sistema para alerta de desastres geológicos.

No Brasil, temos alguns trabalhos relacionados a redes de sensores que podem ser aplicados em monitoramento de variáveis ambientais. No artigo de [Velloso Vianna and Lima 2014] foi apresentada uma solução para o monitoramento ambiental utilizando a plataforma Arduino, um medidor de nível de pressão sonora para a captura de dados ambientais relacionados ao ruído, um *Shield* GSM/GPRS e um chip telefônico habilitado. Este sistema consiste em extrair as informações captadas pelos sensores para serem processados pelo Arduino. Em seguida os dados são enviados para o meio externo a partir do *Shield* GSM/GPRS. Os autores em [Velloso Vianna and Lima 2014] comentam que essa plataforma possui algumas complicações que precisam ser corrigidas, citando que como os APIs utilizados na programação do *Shield* GSM/GPRS não foram otimizados, percebeu-se que a conexão e o envio dos dados poderiam ser aperfeiçoados, diminuindo assim o tempo de processamento no Arduino.

No artigo [Silva and Fruett 2013] foi apresentado um projeto sobre a construção de uma plataforma de monitoramento ambiental composta por um nó coordenador e quatro nós sensores. Nos nós sensores são utilizados um microcontrolador LPC1114 de 32 bits da NXP baseado na arquitetura *ARM* e módulo de comunicação sem fio X-Bee Pro, o qual possibilita a interconexão entre nós por meio da interface UART (*Universal asynchronous receiver/transmitter*). Foram utilizados os seguintes sensores para compor cada um dos quatro nós: SHT1x, que é um sensor híbrido para medição de temperatura e umidade; e um sensor de pressão barométrica. O nó coordenador tem as funções de receber os dados medidos nos nós sensores, gravando as informações em memória física, além de monitorar o nível da bateria e nível de sinal de transmissão de cada nó. Todas essas tarefas são realizadas em um sistema contendo: um microcontrolador LP2378, módulo de comunicação igual do nó sensor, um cartão de memória Flash, uma conexão à rede Ethernet, um relógio de tempo real e um display de caracteres mostrando informações do relógio e identificação da rede.

O trabalho aqui proposto possui alguns diferenciais em relação aos trabalhos citados. O *Shield* GSM/GPRS para envio de dados tem se mostrado de alto consumo energético e de tecnologia defasada para uso em rede de sensores sem fios. Por sua vez, os módulos Xbee são razoavelmente caros, o que poderia inviabilizar um projeto de um sistema de monitoramento de desastres naturais em uma rede de sensores contendo centenas ou milhares de nós. Portanto, dentro deste contexto, o projeto aqui proposto visa o desenvolvimento de um sistema embarcado utilizando hardware livre e soluções de RSSF de baixo custo, flexível, confiável e escalável baseado na plataforma de prototipagem rápida *Arduino*, no *Intel Edison* e no módulo de rádio frequência NRF24L01, oferecendo uma alternativa ao que é usado em aplicações atuais.

#### 4. Desenvolvimento do Trabalho

Para o desenvolvimento do projeto foram definidos quatro protótipos: um nó sensor para monitoramento e detecção de incêndio (Figura 2); um nó sensor para monitoramento pluviométrico (Figura 3); um nó sensor para monitoramento climático (Figura 4) e um nó coordenador receptor (Figura 5).

Os três nós sensores (*motes*) utilizados possuem a função de realizar a extração de dados das variáveis do ambiente, medidas por meio dos sensores instalados, e também de processá-los para serem transmitidos para o nó coordenador (*gateway*). Cada nó sensor

possui uma placa Arduino Uno. A preferência pelo uso do Arduino Uno é devido aos seguintes fatores:

- Possui um ambiente multiplataforma, podendo ser executado em Windows, Linux ou Mac.
- Tem por base um ambiente de fácil utilização baseado em *Processing*.
- Possui hardware e software *open-source*, ou seja, dentro das limitações da licença é possível desenvolver projetos próprios.
- Hardware de baixo custo.

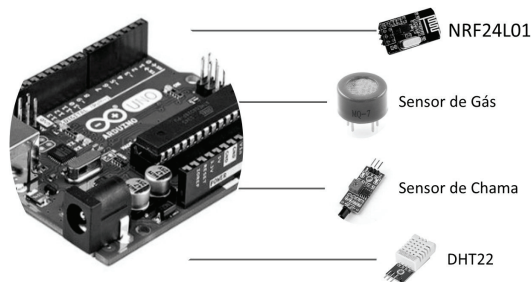


Figura 2. Nó sensor 1 (Mote 1)

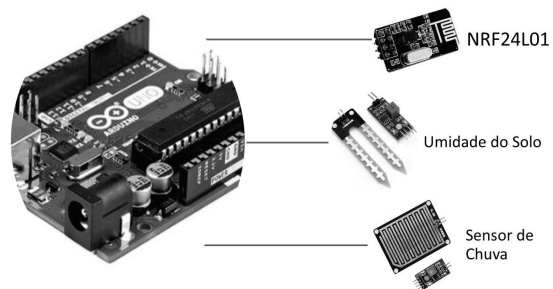


Figura 3. Nó sensor 2 (Mote 2)

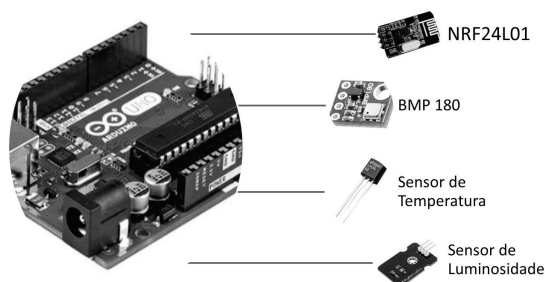


Figura 4. Nó sensor 3 (Mote 3)

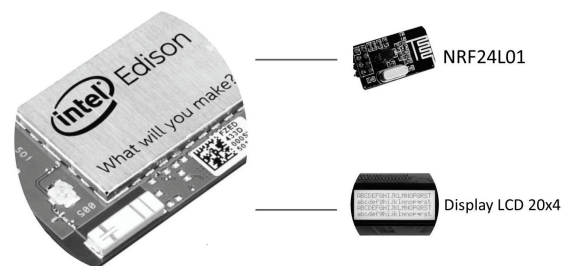


Figura 5. Nó coordenador (Gateway)

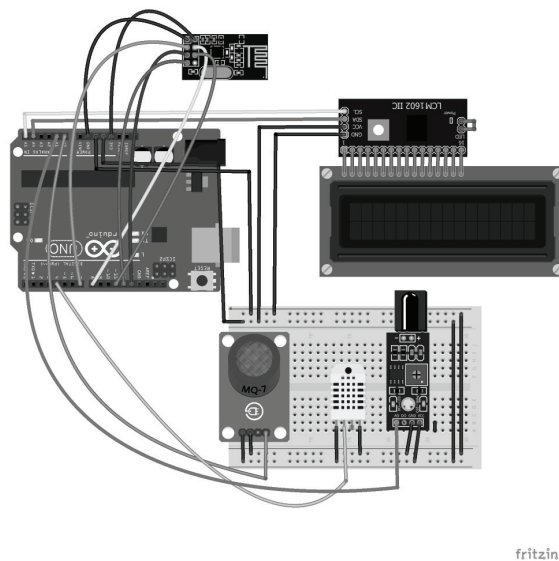
Para o nó coordenador foi utilizado o módulo Intel Edison [Intel-Edison 2017] acoplado ao *breakout* do Arduino. Esse módulo é conectado a uma placa eletrônica que possui grande similaridade com o Arduino Uno, com a diferença de possuir um slot para cartão SD, conectores micro USB, conector USB Host 2.0 e, é claro, a substituição do microcontrolador ATmega328 pelo Intel Edison.

A escolha do módulo Intel Edison ocorreu devido a compatibilidade com a plataforma Arduino e também pelo tamanho compacto e o seu poder de processamento. Sua grande potência e pequeno tamanho o torna ideal para projetos focados em aplicações relacionadas a Internet das Coisas [Pfister 2011] que precisem de um grande poder de processamento mas que não dispõem de muito espaço ou capacidade de alimentação.

Para a montagem do protótipo *Mote 1*, foram utilizados o módulo transceptor NRF24L01, o sensor de gás MQ-7, o sensor de chamas e o sensor de DHT22 (umidade



e temperatura). Os módulos de sensor de gás e chamas possuem duas saídas de dados, sendo uma analógica (AO) e uma digital (DO). Para a leitura de dados são utilizados as portas analógicas para que o microcontrolador possa ler o nível de monóxido de carbono e o nível de calor no ambiente, conectando-as, respectivamente, nas portas analógica A0 e A1 do Arduino. A alimentação (VCC) dos sensores é ligada em 5V e o terra no GND. Além dos módulos citados, também foram utilizados um display LCD 16x2 em conjunto com o módulo I2C para exibição dos dados coletados em tempo real. Na figura 6 apresenta-se um exemplo de montagem do protótipo do Nó sensor 1, o qual serve como modelo para os demais nós sensores.



**Figura 6. Montagem do protótipo do Nó sensor 1 (Mote 1)**

No protótipo *Mote 2*, são utilizados o módulo transceptor NRF24L01, o sensor de chuva, o sensor de umidade do solo e um display LCD 16x2. Esses dois sensores são ligados a partir de duas portas na placa com o chip comparador LM393. Em conjunto com os sensores foi adicionado um LED que irá acender caso ocorra a detecção de chuva. Um outro LED foi adicionado na placa sensora para a umidade do solo: cor vermelha para solo com 0% a 33% de umidade, cor amarela para solo com 33% a 66% e cor verde para solo com 66% a 100% de umidade.

Por sua vez, na montagem do protótipo *Mote 3*, são utilizados o módulo transceptor NRF24L01, o sensor de temperatura LM35, o sensor de luminosidade TEMA6000, o sensor barométrico BMP180 e um display LCD 16x2. Os sensores LM35 e TEMA6000 possuem três pinos cada (VCC, dados, e GND). Os pinos de dados são ligados, respectivamente, nas portas analógica A0 e A1. Para o sensor BMP180, a comunicação ocorre a partir do barramento I2C, utilizando as portas SCL e SDA no Arduino.

Por fim, na montagem do nó coordenador (Figura 7), é conectado o módulo transceptor NRF24L01 no *breakout* do Arduino que contém o Intel Edison. Um display LCD 20x4 foi acoplado ao Arduino para a exibição dos dados, os quais foram coletados nos três nós sensores.

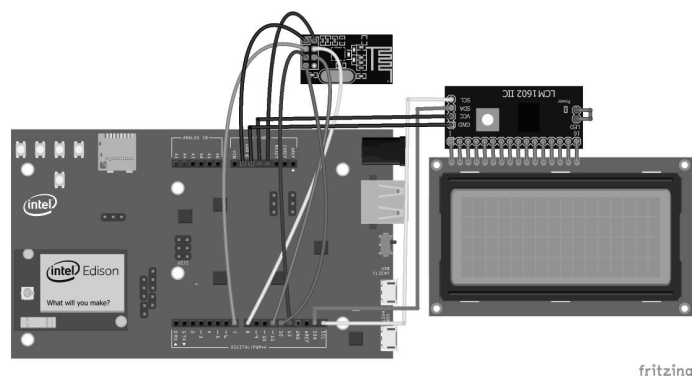


Figura 7. Montagem do protótipo do Nó coordenador (Gateway)

## 5. Resultados Obtidos e Discussão

Nesta seção apresentam-se os testes realizados com os protótipos desenvolvidos. Para a realização dos testes, o local escolhido foi a Praça Humanismo na cidade de São José dos Campos. Os testes foram realizados com as seguintes configurações para o transceptor NRF24L01: taxa de transmissão de 250kbps e nível de potência no máximo (0 dBm).

O primeiro critério de análise foi o teste de confiabilidade do sistema projetado quanto à distância máxima que o transceptor pode operar. Nesse procedimento foi realizada a comunicação entre os nós sensores *mote* (Figura 8) e o nó coordenador *gateway* (Figura 9), os quais foram afastados entre si até atingir uma distância que desconecta os dois sistemas. Para isso, foi acoplada no protótipo uma antena de 2dBi no transceptor e embarcado um algoritmo capaz de enviar dados que foram coletados pelos nós sensores para o nó coordenador. Os protótipos também foram configurados para que os displays LCDs exibissem os dados coletados pelos sensores e também exibissem a informação de "Pacote Recebido" ou de "Pacote Perdido".

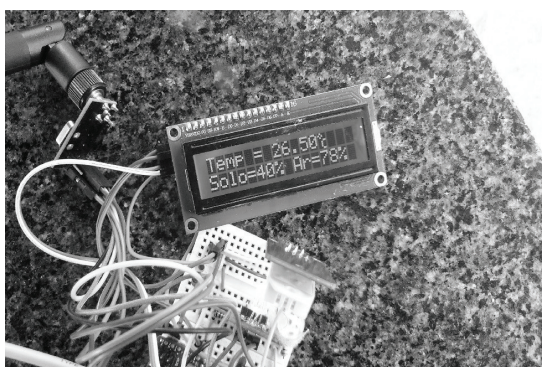


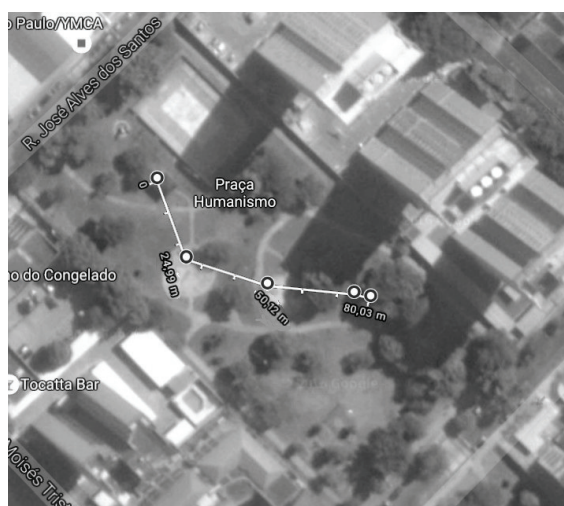
Figura 8. Teste de um nó sensor



Figura 9. Teste do nó coordenador

Na realização desse teste, a falha total entre o envio e o recebimento de pacotes (ponto de desconexão entre os dispositivos) ocorreu aproximadamente em 82 metros de distância. Para efeitos de comparação o autor em [Ortiz 2013] mediu o alcance máximo entre dois dispositivos do sistema em um campo aberto. Nesse projeto, utilizou-se o módulo NRF24 sem o uso de uma antena externa, obtendo-se um valor médio de 49,8 metros.

Um teste de perda de pacotes também foi realizado com a finalidade de verificar a quantidade de pacotes enviados com sucesso na transferência de dados entre os nós sensores e um nó coordenador. Para esse teste, foram estabelecidos quatro cenários, como esquematizado na Figura 10. Para cada cenário foi especificada uma quantidade total de 100 pacotes que foram enviados a cada 2 segundos do emissor para o receptor, onde cada pacote continha 14 bytes de dados provenientes dos sensores.



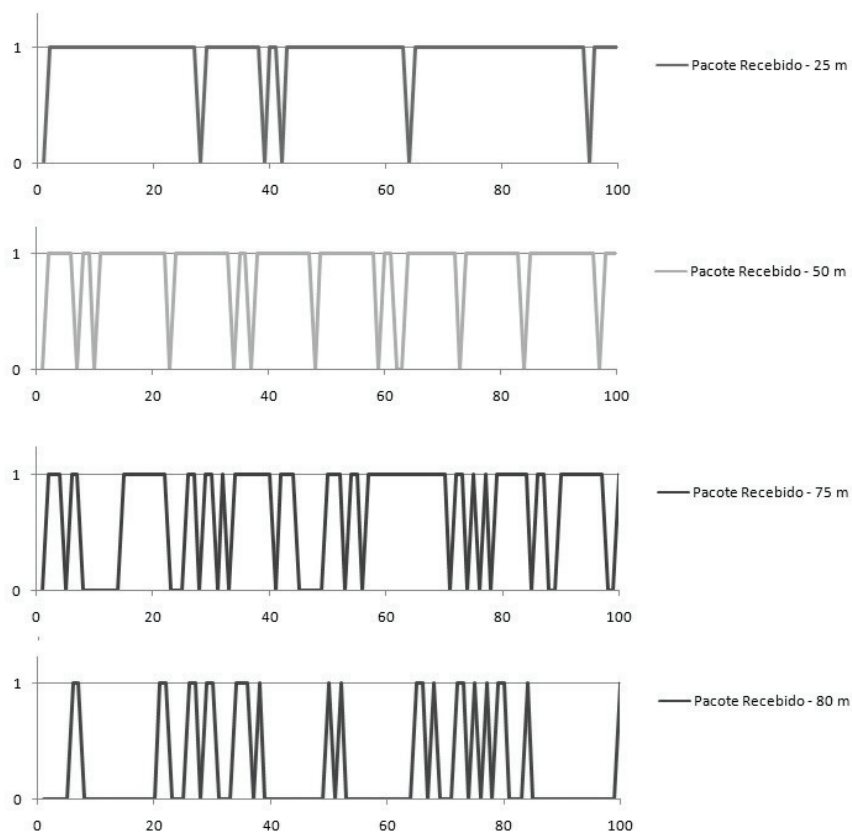
**Figura 10. Cenários definidos para o teste de perda de pacotes**

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 e na Figura 11. Percebe-se que a taxa de perda aumenta em função da distância entre o ponto de envio e de recepção. Além disso, observa-se que, quando próximo ao limiar máximo do alcance, a taxa de erro passa a aumentar em um ritmo bem acelerado. No entanto, vale a pena observar que não existe uma criticidade quanto à perda de pacotes durante o envio de dados. Primeiro, podemos considerar que os protótipos desenvolvidos não se tratam de um sistema crítico de execução rápida. Segundo, os dados que estão sendo coletados pelos nós sensores em um determinado momento chegarão ao nó coordenador, mesmo quando algumas perdas de pacotes ocorrerem.

<b>Distância</b>	<b>Perda de Pacotes</b>
25 metros	3%
50 metros	12%
75 metros	31%
80 metros	74%

**Tabela 1. Perda de pacotes em relação à distância entre os protótipos**

Em média, o custo dos equipamentos de cada nó sensor (Motes 1, 2 e 3) foi de aproximadamente U\$17,00, enquanto para o nó coordenador esse custo ficou em torno de U\$95,00. Em contrapartida, cada estação ou sensor de monitoramento meteorológico utilizado pelo Cemaden pode custar até dezenas de milhares de reais. Isso demonstra que o projeto proposto pode ser muito promissor como uma alternativa de hardware livre e de baixo custo em relação às abordagens que vem sendo empregadas atualmente.



**Figura 11. Fluxo de recebimento de pacotes em relação à distância entre os protótipos**

## 6. Considerações Finais

Com a popularização de soluções para a Internet das Coisas, o conhecimento e a aplicação da tecnologia de rede de sensores sem fio são fundamentais nos dias atuais. Por meio do trabalho aqui especificado é possível criar um sistema de monitoramento de baixo custo para ser instalado em áreas urbanas ou rurais com carências de políticas públicas e em locais que possuam alto grau de risco para a ocorrência de desastres naturais. A partir da tecnologia desenvolvida pode-se coletar informações que ajudam a prever esses eventos, evitando perdas humanas, custos materiais, econômicas ou ambientais.

Ainda existem melhorias que devem ser executadas para que o sistema se torne mais robusto para a utilização em um ambiente real. Em razão da natureza da aplicação, onde o fluxo de dados é pequeno, pode-se obter um resultado ainda melhor em relação ao desempenho se utilizarmos uma antena externa mais potente para aprimorar o sinal. Isso resultaria em um aumento do alcance e na melhoria da comunicação. Além disso, pretende-se ampliar o cenário de simulação na realização de testes com maior quantidade de nós e em ambientes reais e variados.

Outra linha de pesquisa refere-se ao desenvolvimento de alguns tipos de sensores que podem ser construídos com baixo custo, como anemômetro, pluviômetro, radiação, deslizamento de terra, entre outros. Além disso, pode-se incluir também uma análise mais detalhada dos gastos de energia de cada protótipo, de forma a encontrar alvos

para otimização, possivelmente envolvendo a troca por outros componentes com melhor eficiência energética.

Com relação a plataforma *Intel Edison* utilizado no nó coordenador, poder-se-á substituí-la pelo sistema de baixo custo *Raspberry Pi* ou similares existentes no mercado, buscando a redução dos custos do projeto da rede de sensores. Além disso, vale ressaltar que o *Intel Edison* apresentou dificuldades razoáveis para a comunicação com o Arduino por trabalharem com arquiteturas diferentes, já que o Arduino é baseado na arquitetura Atmel AVR e o Intel Edison baseia-se numa arquitetura x86.

Por fim, a solução do projeto apresentada aqui para monitoramento e alerta de desastres naturais, além de viabilizar uma tecnologia para a resolução de problemas sociais a baixo custo, pretende a partir da aplicação, estabelecer alternativas para novas áreas de estudos, tais como controle de transporte urbano, processos de fabricação industrial, monitoramento de segurança e vigilância, agricultura, entre outras.

### Agradecimentos

Projeto de pesquisa processo nº 2015/18808-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Esta pesquisa também faz parte do INCT de Internet do Futuro para Cidades Inteligentes financiada pelo CNPq, proc. 465446/2014-0, CAPES proc. 88887.136422/2017-00, e FAPESP, proc. 2014/50937-1.

### Referências

- Ahrens, C. (2009). *Meteorology today : an introduction to weather, climate, and the environment*. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, CA.
- Aosong-Electronics (2016). Temperature and humidity module am2302 product manual. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Bosch, S. (2013). Data sheet bmp180 digital pressure sensor. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Cama-Pinto, A., Acosta-Coll, M., Piñeres-Espitia, G., Caicedo-Ortiz, J., Zamora-Musa, R., and Sepúlveda-Ojeda, J. (2016). Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de barranquilla, colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24:581 – 599.
- Chen, D., Liu, Z., Wang, L., Dou, M., Chen, J., and Li, H. (2013). Natural disaster monitoring with wireless sensor networks: A case study of data-intensive applications upon low-cost scalable systems. *Mobile Networks and Applications*, 18(5):651–663.
- Faludi, R. (2010). *Building wireless sensor networks : with ZigBee, XBee, Arduino, and processing*. O'Reilly Media, Farnham.
- FastTech (2016). Fc28 soil humidity detection sensor module. <https://www.fasttech.com/product/1380900-fc-28-soil-humidity-detection-sensor-module>. acessado em 18/03/2017.

- Future-Electronics (2016). Flame sensor module. [http://www.fut-electronics.com/wp-content/plugins/fe\\_downloads/Uploads/Flame-sensor-arduino.pdf](http://www.fut-electronics.com/wp-content/plugins/fe_downloads/Uploads/Flame-sensor-arduino.pdf). acessado em 18/03/2017.
- Hill, J. L. (2003). *System architecture for wireless sensor networks*. PhD thesis, University of California, Berkeley.
- Intel-Edison (2017). Módulo de computação intel edison. <https://software.intel.com/pt-br/iot/hardware/edison>. acessado em 18/03/2017.
- Org.Pan-AmericanaSaúde (2015). *Desastres Naturais e Saúde no Brasil*. Fundação Oswaldo Cruz – Ministério da Saúde.
- Ortiz, M. S. (2013). Plataforma baseada em sensores sem fio para o monitoramento de parâmetros meteorológicos. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- Pereira, A. R., Angelocci, L., and Sentelhas, P. C. (2007). Meteorologia agrícola. *Departamento de Ciências Exatas*.
- Pfister, C. (2011). *Getting started with the Internet of things*. O'Reilly Media, Inc, Sebastopol, Calif.
- Rawat, P., Singh, K. D., Chaouchi, H., and Bonnin, J. M. (2014). Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of Supercomputing*, 68(1):1–48.
- Semiconductor, N. (2007). nrf24l01 single chip 2.4 ghz transceiver product specification. <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>. acessado em 18/03/2017.
- Semiconductors, V. (2004). Temt6000. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TEMT6000.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Silva, M. S. and Fruett, F. (2013). Monitoramento ambiental através de rede de sensores sem fio de baixo custo. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, pages 1908–1914.
- Takayama, S., Hiraoka, M., Mori, K., and Kariya, K. (2008). Variable data flow management in wireless sensing network for landslide disaster. *Measurement Science Review*, 8(1):14–17.
- Texas-Instruments (2016). Lm35. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Velloso Vianna, P. V. P. and Lima, E. A. P. (2014). Aplicação do arduino no monitoramento ambiental. *Jornada em Engenharia Química*.
- Winsen-Electronics (2014). Toxic gas sensor. <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7%20Ver1.3%20-%20Manual.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Zheng, J. and Jamalipour, A. (2009). *Wireless sensor networks: a networking perspective*. John Wiley & Sons.