

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

JEAN CARLOS FRANÇA DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA
QUALIDADE DO AR**

São José dos Campos
2013

JEAN CARLOS FRANÇA DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA
QUALIDADE DO AR**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Banco de Dados.

Orientador: Me. Giuliano A. Bertoti

São José dos Campos
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

SOUZA, Jean Carlos França de
Utilização da Internet das Coisas para o Desenvolvimento de um Sistema de Medição da
Qualidade do Ar.
São José dos Campos, 2013.
64f.

Trabalho de Graduação – Curso de Tecnologia em Banco de Dados, FATEC de São José dos
Campos: Professor Jessen Vidal, 2013.
Orientador: Me. Giuliano A. Bertoti.

Áreas de conhecimento. I. Faculdade de Tecnologia. FATEC de São José dos Campos: Professor
Jessen Vidal. Divisão de Informação e Documentação. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA –

SOUZA, Jean Carlos França de. **Utilização da Internet das Coisas para o Desenvolvimento de um Sistema de Medição da Qualidade do Ar**. 2013. 64f. Trabalho de Graduação - FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal.

CESSÃO DE DIREITOS –

NOME DO AUTOR: Jean Carlos França de Souza

TÍTULO DO TRABALHO: Utilização da Internet das Coisas para o Desenvolvimento de um Sistema de Medição da Qualidade do Ar

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação / 2013.

É concedida à FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal permissão para reproduzir cópias deste Trabalho e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Jean Carlos França de Souza

Rua Patativa, Nº 200, Bloco 33, Apartamento 34, Vila Tatetuba

CEP 12220-140 – São José dos Campos - SP

Jean Carlos França de Souza

**UTILIZAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA
QUALIDADE DO AR**

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Tecnologia de São José dos
Campos, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de
Tecnólogo em Banco de Dados.

Guaraci Lima de Moraes, Me., FATEC

Eduardo Sakaue, Me., FATEC

Giuliano Araújo Bertoti, Me., FATEC

Denise Alves de Barros, Tecnóloga, FATEC

____/____/____

DATA DA APROVAÇÃO

Dedico o presente trabalho aos meus pais José Carlos de Souza e Eliete Aparecida França de Souza, que sempre me ensinaram o valor do trabalho e da honestidade, com muito esforço e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Giuliano Araújo Bertoti, pelo apoio e encorajamento contínuos pesquisa, aos demais professores, pelos conhecimentos transmitidos, a todos os meus familiares que me apoiaram, e ao meu companheiro de jornada e amigo Jefferson Uchôas, que muito me ajudou e ensinou durante todo o curso. Agradeço também a Deus por tudo o que tenho conquistado.

“Uma mente necessita de livros da mesma forma
que uma espada necessita de uma pedra de amolar
se quisermos que se mantenha afiada.”

George R. R. Martin

RESUMO

O ser humano pode ser afetado de muitas maneiras pela poluição causada por veículos e indústrias. A poluição do ar pode causar doenças respiratórias, como pneumonia e até mesmo câncer, além do fato de que afeta bens materiais e o meio ambiente. Estes fatos apontam a necessidade de uma melhoria da qualidade do ar. Ações como revisão da regulamentação de emissão de poluentes por parte de veículos, e a conscientização pública podem ajudar neste controle. Para que isso seja possível, é necessário realizar a medição da qualidade do ar. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e implementar um dispositivo de baixo custo e *open source* para medir a qualidade do ar. O dispositivo foi criado com base na plataforma Arduino e envia os dados coletados para o serviço Xively. Após o envio para o Xively, os dados são encaminhados para um *web service* RESTful, desenvolvido em Java. Foi criada também uma aplicação *web* utilizando-se Java e a tecnologia HTML5 para disponibilizar os dados coletados. Para testar o sistema, medições foram realizadas em diferentes regiões de São José dos Campos. Comparações feitas entre as medições demonstram que o dispositivo funciona corretamente. Uma vez que o sistema é *open source* e de baixo custo, ele pode ser facilmente reproduzido por outras pessoas.

Palavras-Chave: Internet das Coisas, Arduino, meio-ambiente, qualidade do ar, sistemas de medição, interação humano-computador.

ABSTRACT

The human being can be affected by the pollution caused by vehicles and industries in many ways. Air pollution can cause respiratory diseases, like pneumonia and even cancer, besides the fact that it affects goods and the environment. Therefore, these facts show the need of air quality improvement. Actions such as reviewing the regulation for emission of vehicles pollutants as well as public awareness assist in this control. Thus, it is necessary to perform the measurement of air quality. The present work aims to develop and implement a low cost and open source device to measure air quality. The device has been built on Arduino platform and sends the collected data to the Xively service. It also sends data to a RESTful based web service, developed in Java, whereas a web application has been built in Java and HTML5 technology to make the collected data available. In order to test the system, it has been implemented and measurement data has been collected in different regions of São José dos Campos. Analysis has been based upon comparisons and assessment demonstrates that the device works properly. Since the system is open source and low cost, it can be easily reproduced by others.

Keywords: Internet of Things, Arduino, environment, air quality, measuring systems, human-computer interaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de apresentação de qualidade do ar do interior e litoral de São Paulo	15
Figura 2 – Medições de qualidade do ar de São José dos Campos do dia 05/11/2013	15
Figura 3 – Resumo das medições da qualidade do ar do Vale do Paraíba, Jundiaí e região de Sorocaba	16
Figura 4 – Queimadas: uma das principais fontes de poluição do ar	20
Figura 5 – Arduino ETHERNET	21
Figura 6 – Sensor MQ-7	22
Figura 7 – Sensor MQ-3	22
Figura 8 – Sensor MQ-2	23
Figura 9 – Sensor MQ-8	23
Figura 10 – Representação da Internet das Coisas	28
Figura 11 – Esquema da utilização do Xively no projeto	29
Figura 12 – Arquitetura global do sistema	31
Figura 13 – Conversor Serial/USB	33
Figura 14 – Sensores utilizados no dispositivo	34
Figura 15 – Dispositivo de medição da qualidade do ar conectado e em funcionamento	35
Figura 16 – Registro salvo no MongoDB	37
Figura 17 – Gráfico gerado com a API Chart.js	38
Figura 18 – IDE para programação do Arduino	40
Figura 19 – Feed criado para a aplicação no Xively	41
Figura 20 – Dados obtidos do web service RESTful no formato JSON	45
Figura 21 – Página inicial da aplicação web AirQuality	46
Figura 22 – Página ‘Sobre’ da aplicação web AirQuality	47
Figura 23 – Página ‘Contato’ da aplicação web AirQuality	47
Figura 24 – Página ‘Fotos’ da aplicação web AirQuality	48
Figura 25 – Página ‘Artigo Científico’ da aplicação web AirQuality	48
Figura 26 – Página ‘Trabalho de Graduação’ da aplicação web AirQuality	49
Figura 27 – Página ‘Downloads & Links Úteis’ da aplicação web AirQuality	49
Figura 28 – Medições da qualidade do ar realizadas na cidade de São José dos Campos	51
Figura 29 – Ponto de medição localizado no centro de São José dos Campos	51
Figura 30 – Ponto de medição localizado no Jardim Esplanada	52
Figura 31 – Ponto de medição localizado no parque Santos Dumont	53
Figura 32 – Ponto de medição localizado no parque Vicentina Aranha	54
Figura 33 – Distância entre os parques Santos Dumont e Vicentina Aranha	54
Figura 34 – Ponto de medição localizado em São Francisco Xavier	55
Figura 35 – Ponto de medição localizado no bairro Vila Tatetuba	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Módulos do Sistema	32
Tabela 2 - Valores dos componentes de hardware utilizados	43

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	13
1.1- Motivação	13
1.2 - Objetivos	16
1.2.1 - Objetivo Geral	16
1.2.2 - Objetivos Específicos	17
1.3 - Metodologia	17
1.4 - Organização do Trabalho	18
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1- Poluição do Ar	19
2.2- Hardware para coleta de dados	20
2.2.1- Arduino	20
2.2.2- Sensores	21
2.3- Processing	24
2.4- Java	24
2.5- MongoDB	25
2.6- HTML5	25
2.6.1- HTML	25
2.6.2- CSS3	26
2.6.3- JavaScript	26
2.7- OpenShift	26
2.8- Internet das Coisas	27
2.9- Projetos relacionados à Internet das Coisas	28
2.9.1- XIVELY	28
2.9.2- Sistema para o monitoramento de enchentes	29
2.9.3- Vestuário para idosos que alerta o responsável em caso de quedas	30
3 – DESENVOLVIMENTO	31
3.1 – Arquitetura global	31
3.2 – Dispositivo de Medição de Qualidade do Ar	32
3.3 – Sistema Principal	35
3.4 – Software de Controle do Arduino	38
3.5 – Web Service Xively	40
4 – RESULTADOS	43
4.1 - Arquitetura de Hardware de Baixo Custo	43
4.2 - Arquitetura de Software Open Source	44
4.3 - Aplicação para Interação com o Usuário	46
4.4 - Estudo de Caso	50
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1 - Contribuições e Conclusões	57
5.1.1 - Publicação	58
5.2 – Trabalhos Futuros	58
REFERÊNCIAS	60

1 – INTRODUÇÃO

1.1 - Motivação

Com o grande número de indústrias, veículos automotores e outras diversas fontes de gases poluentes, é necessário que exista um controle da qualidade do ar, e isso é regulamentado pela resolução CONAMA nº005, de 15 de junho de 1989, que institui o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR, tanto para atender a padrões estabelecidos quanto para melhorar a qualidade do ar visando uma melhoria na qualidade de vida da população (CONAMA, 2013a).

O CONAMA teve suas competências atribuídas pela lei nº 6.938 / 1981 e ele estabelece desde então normas para controle de emissão de poluentes do ar por fontes fixas e móveis, e uma dessas competências é estipular padrões nacionais para controle de poluição de veículos automotores (PEREIRA, 2013).

Além do que já foi citado, existem diversas leis que regulamentam e controlam o que diz respeito à qualidade do ar, e que estabelecem limites de poluentes e definem ainda sanções penais e administrativas para crimes de poluição (PEREIRA, 2013).

A má qualidade do ar influencia na ocorrência de doenças respiratórias como gripe e pneumonia, principalmente em idosos, e esse é um fato muito preocupante, tendo em vista a quantidade de gases poluentes presentes em cidades como São Paulo. Por isso a medição da qualidade do ar é muito importante (MARTINS, 2002). Os fatores que causam o aumento nos problemas respiratórios como os que foram citados, não são precisamente definidos, porém estudos realizados indicam que a poluição está associada com esses problemas, sendo que o grande uso de derivados de petróleo pela indústria e por veículos automotores é um fator significativo no aumento da poluição (CROCE, 1998).

Pode ser citado como exemplo o SO₂ (dióxido de enxofre), poluente que afeta principalmente pessoas que já possuem doenças respiratórias, que mesmo não ultrapassando a quantidade máxima estipulada para a efetiva qualidade do ar (CONAMA, 2013a), está associado à gripe e pneumonia em idosos (MARTINS, 2002).

Até mesmo mortes de idosos por problemas respiratórios podem estar ligadas a poluentes, como o PM₁₀ (material particulado) e o CO (monóxido de carbono) (FREITAS, 2004).

A poluição é também um dos causadores de câncer no pulmão, juntamente com o cigarro e outras substâncias cancerígenas como o plutônio. Em locais que passam por intenso processo de industrialização como a China, uma parcela das mortes ocasionadas por câncer pulmonar é causada por poluentes presentes no ar (G1, 2013). Além de uma das causas de câncer pulmonar, a OMS (Organização Mundial da Saúde) também aponta que a poluição atmosférica aumenta a possibilidade de ocorrência de câncer de bexiga (IG, 2013).

Já foi dito nesse trabalho que grande parte dos poluentes presentes no ar é originada por veículos automotores e indústrias. Por conta disso, existem órgãos regulamentadores como o CONAMA, e com o passar do tempo vem surgindo cada vez mais tecnologias para o controle da emissão de poluentes (RANGEL, 2003), mas para que se possa saber se essas ações estão tendo sucesso, é necessário que haja a medição da qualidade do ar.

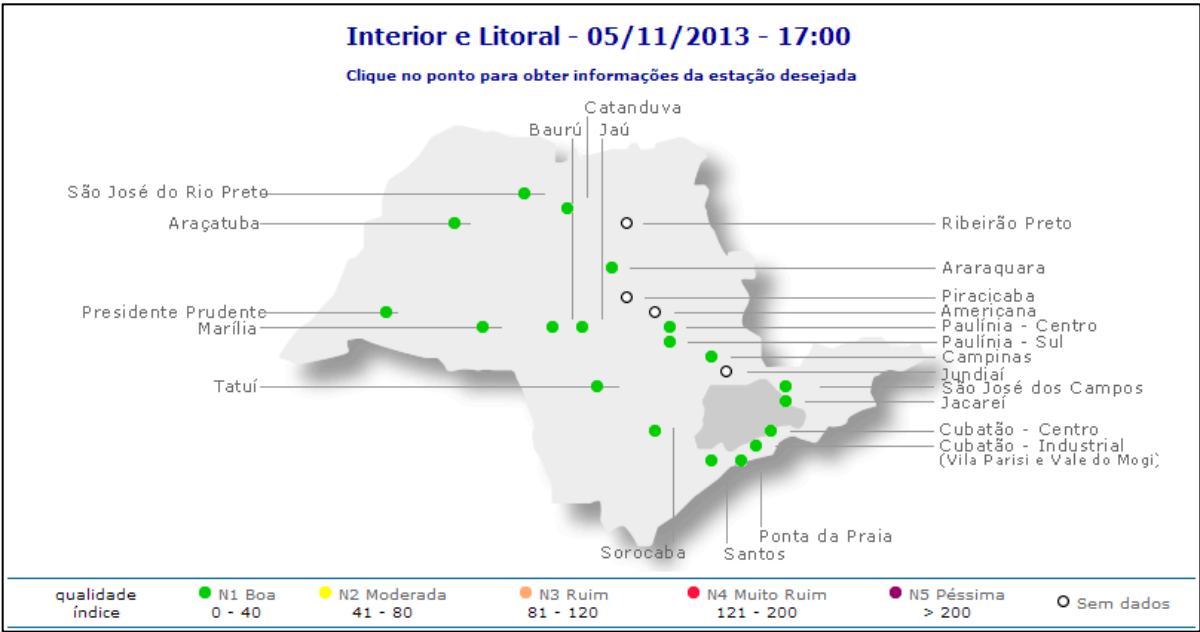
A já mencionada resolução Nº 5 do CONAMA ressalta a importância da medição da qualidade do ar, inclusive tratando da criação de uma rede de medição para o devido acompanhamento e comparação com os níveis mínimos de qualidade do ar estabelecidos pelas resoluções e leis (CONAMA, 2013a).

A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) possui uma rede de medição de qualidade do ar que cobre diversas cidades do estado, porém existem regiões que ainda não tem grande cobertura. No vale do Paraíba não são todas as cidades que possuem o monitoramento da CETESB (CETESB, 2011a), sendo que no site da companhia, de todas as cidades do Vale do Paraíba são apresentados dados apenas de Jacareí e São José dos Campos. Mesmo com as informações existentes, a rede de medições não é muito abrangente e o meio de acesso aos dados poderia ser mais simples.

As informações a respeito da qualidade do ar medidas pela CETESB podem ser obtidas no site da companhia. A Figura 1 (CETESB, 2013d) apresenta um mapa da qualidade do ar das cidades do interior de São Paulo e do litoral que tem pontos de medições da CETESB.

Além do mapa apresentado na Figura 1, ainda é possível visualizar as informações a respeito da qualidade do ar de São José dos Campos em uma tabela que mostra os resultados de diversas medições realizadas ao longo do dia. A Figura 2 (CETESB, 2013b) mostra o gráfico de medições de São José dos Campos do dia 05/11/2013.

Figura 1 – Mapa de apresentação de qualidade do ar do interior e litoral de São Paulo



Fonte: AUTOR (2013)

Figura 2 – Medições de qualidade do ar de São José dos Campos do dia 05/11/2013

Índice

Qualidade

0 - 40

N1 - Boa

41 - 80

N2 - Moderada

81 - 120

N3 - Ruim

121 - 200

N4 - Muito Ruim

> 200

N5 - Péssima

São José dos Campos - 05/11/2013

Hora	SO2 µg/m³			NO2 µg/m³		MP10 µg/m³			CO ppm			O3 µg/m³		
	Média horária	Média 24 h	Índice / Qualidade	Média Horária	Índice / Qualidade	Média horária	Média 24 h	Índice / Qualidade	Média horária	Média 8 h	Índice / Qualidade	Média horária	Média 8 h	Índice / Qualidade
01:00	2	3	6	--	--	9	38	30	0.1	0.3	1	20	10	4
02:00	2	3	6	16	3	79	38	30	0.0	0.3	1	27	12	5
03:00	1	3	6	15	3	8	36	29	0.0	0.2	1	23	14	6
04:00	--	3	6	17	3	5	35	28	0.0	0.2	1	21	15	6
05:00	3	3	6	21	4	8	34	27	--	0.1	1	17	15	6
06:00	1	3	6	12	2	9	34	27	0.1	0.1	0	--	17	7
07:00	1	3	6	32	6	8	33	26	0.2	0.1	0	7	18	7
08:00	1	3	6	45	9	14	32	25	0.4	0.1	1	1	17	7
09:00	3	3	6	38	8	13	30	24	0.6	0.2	1	2	14	6
10:00	1	3	6	24	5	19	28	22	0.4	0.3	1	12	12	5
11:00	0	3	6	21	4	75	29	23	0.4	0.3	1	18	11	4
12:00	1	3	6	20	4	2	27	21	0.3	0.3	2	21	11	4
13:00	1	3	6	27	5	71	29	23	0.3	0.3	2	14	11	4
14:00	1	2	4	28	6	4	27	21	0.3	0.4	2	14	11	4
15:00	0	2	4	23	5	7	25	20	0.2	0.4	2	17	12	5
16:00	0	2	4	17	3	9	23	18	0.2	0.3	2	22	15	6
17:00	0	2	4	20	4	13	22	17	0.2	0.3	1	17	17	7

Fonte: AUTOR (2013)

Outro modo de se visualizar os dados é em uma página onde tabelas divididas por regiões apresentam um resumo das últimas medições realizadas. A Figura 3 (CETESB, 2013c) apresenta um resumo de medições das cidades do Vale do Paraíba, Jundiaí e região de Sorocaba do dia 05/11/2013.

Figura 3 – Resumo das medições da qualidade do ar do Vale do Paraíba, Jundiaí e região de Sorocaba

VALE DO PARAÍBA, JUNDIAÍ E REGIÃO DE SOROCABA	Qualidade	Índice	Data	Hora	Poluente	Estado
Jacareí	N1 - Boa	20	04/11/13	18:00	O3	
Jundiaí	N1 - Boa	16	05/11/13	16:00	O3	
São José dos Campos	N1 - Boa	18			MP10	
Sorocaba	N1 - Boa	25			MP10	
Tatuí	N1 - Boa	19	05/11/13	16:00	O3	

Fonte: AUTOR (2013)

É importante que exista uma medição de qualidade do ar abrangente no vale do Paraíba porque além da poluição local, com cidades como São José dos Campos que possui um grande parque industrial (NASCIMENTO, 2006), as cidades dessa região podem ser afetadas com a poluição da cidade de São Paulo, por conta do alcance que ela pode atingir e da direção dos ventos.

1.2 - Objetivos

Nas subseções a seguir serão apresentados os objetivos deste trabalho.

1.2.1 - Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é utilizar a internet das coisas para o desenvolvimento de um sistema de medição da qualidade do ar, enviar os resultados das medições para o *web service* Xively e para um *web service* RESTful a ser criado, e desenvolver uma aplicação *web* cliente para exibir os dados enviados para esse *web service*.

1.2.2 - Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver um dispositivo de medição da qualidade do ar que tenha acesso a uma rede cabeada para transmitir os dados coletados;
- Alocar o dispositivo em um local externo para a captação de dados para os testes e para registro dos dados da qualidade do ar;
- Enviar os dados para o *web service* Xively para que os usuários desse serviço possam utiliza-los;
- Desenvolver um *web service* RESTful para o envio dos dados, que ficarão salvos em um banco de dados NoSQL orientado a documentos chamado MongoDB;
- Desenvolver uma aplicação cliente *web* para exibição dos dados que serão obtidos do banco de dados MongoDB.

1.3 - Metodologia

O dispositivo de medição será composto por uma placa Arduino Ethernet e quatro sensores. O Arduino Ethernet possui um microcontrolador que será responsável pelo controle do processo de medição da qualidade do ar e já é preparado para comunicação com redes *ethernet* (ARDUINO, 2013a). Os sensores são responsáveis por recolher a concentração de álcool, pequenas quantidades de benzina, monóxido de carbono, gás natural, gases que contenham monóxido de carbono, hidrogênio, GLP (gás liquefeito de petróleo), fumaça, metano, propano e butano (HANWEI, 2013) presentes no ar. As medições serão controladas pelo Arduino, e os dados dessas medições serão utilizados para a geração de informações a respeito da qualidade do ar.

Os dados serão coletados de uma área externa pelo dispositivo, que irá envia-los por meio de um cabo *ethernet* com troca de mensagens do protocolo HTTP para o *web service* Xively (XIVELY, 2013). O Xively é um *web service* de uso gratuito que utiliza a arquitetura RESTful (FIELDING, 2000), os usuários desse *web service* o alimentam com diversos dados provenientes de dispositivos como o que será construído nesse trabalho e esses dados são disponibilizados pelo próprio Xively para os usuários que desejarem consumi-los (XIVELY, 2013) (SOUZA, 2012a).

Além de serem enviados para o Xively, os dados serão enviados para um *web service* RESTful a ser desenvolvido, sendo que esse *web service* será desenvolvido na linguagem Java utilizando a API Jersey, e os dados serão salvos em um banco de dados NoSQL orientado a documentos chamado MongoDB e exibidos em uma aplicação Java *web*.

1.4 - Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, que estão descritos abaixo:

- Capítulo 2 - Revisão bibliográfica: responsável por apresentar as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do dispositivo e apresentar alguns projetos já existentes na área.
- Capítulo 3 - Desenvolvimento: descreve o processo de desenvolvimento do dispositivo.
- Capítulo 4 - Resultados: responsável por apresentar os resultados obtidos com os testes.
- Capítulo 5 - Considerações finais: responsável por apresentar as considerações finais do trabalho desenvolvido.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo vai tratar a respeito de assuntos relacionados ao dispositivo, apresentando as tecnologias utilizadas e alguns projetos já presentes nessa área.

Esse capítulo está organizado como segue: a seção 2.1 trata a respeito da poluição do ar e suas consequências, a 2.2 descreve o *hardware* que será utilizado para a coleta dos dados, a 2.3 fala sobre a linguagem de programação utilizada no Arduino, a 2.4 apresenta a linguagem Java, que será utilizada para a criação de uma aplicação *web* e de um *web service* RESTful, a 2.5 descreve o banco de dados MongoDB, que é NoSQL e orientado a documentos, sendo que os dados enviados para o *web service* RESTful serão salvos no MongoDB, a 2.6 trata a respeito da linguagem de marcação HTML5, da linguagem de leiaute CSS3 e da linguagem de programação JavaScript, a 2.7 fala sobre o OpenShift, plataforma PaaS (*Platform as a Service*) da Red Hat, a 2.8 apresenta a internet das coisas e a 2.9 mostra alguns projetos na área da internet das coisas.

2.1- Poluição do Ar

O aumento da poluição do ar ao redor do mundo tem afetado todos os seres vivos ao longo dos anos (CASTRO, 2003), trazendo para o organismo desses seres vivos materiais como óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e até chumbo particulado (VANZ, 2003) (CASTRO, 2003), materiais que causam problemas para a saúde desses seres vivos (PEITER, 1998).

A qualidade do ar no Brasil é regulamentada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (PEREIRA, 2013) (CONAMA, 2013b). Essa regulamentação é muito importante, pois a poluição proveniente de queimadas, indústrias, veículos automotores, entre outros, pode afetar bens materiais, qualidade do solo, qualidade das águas, prejudicar a visibilidade, e o que já foi citado e que é o mais grave, prejudicar a saúde dos seres vivos (PORTAL BRASIL, 2013). A Figura 4 (PORTAL BRASIL, 2013) mostra uma queimada, uma das principais causas da poluição do ar.

Figura 4 – Queimadas: uma das principais fontes de poluição do ar



Fonte: PORTAL BRASIL (2013)

2.2- Hardware para coleta de dados

Para o desenvolvimento do sistema de medição de qualidade do ar tratado nesse trabalho serão utilizados alguns dispositivos de *hardware*, e eles serão descritos nessa seção.

2.2.1- Arduino

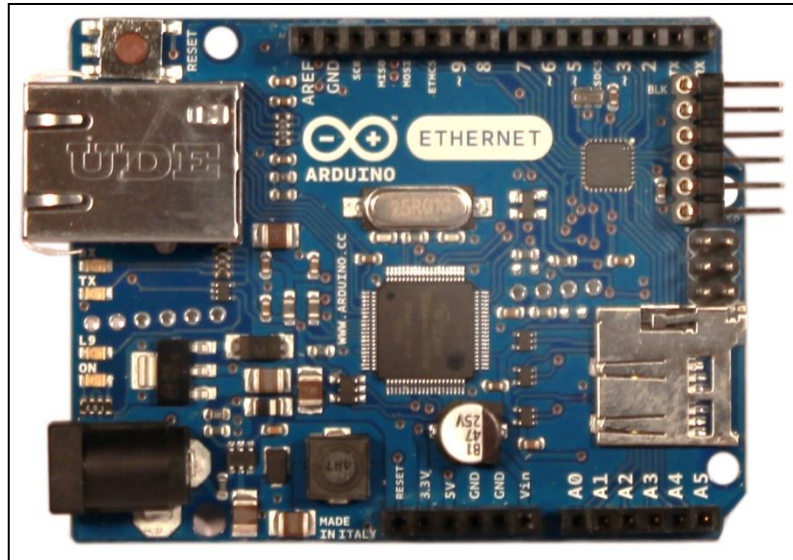
Para a medição da qualidade do ar será necessária a utilização de um dispositivo para o controle do processo, e esse dispositivo é o Arduino.

O Arduino é uma placa microcontroladora, de *hardware* e *software open source* (BANZI, 2009) que é utilizada para o desenvolvimento de diversas ferramentas que podem ser aplicadas para a interação entre objetos.

O Arduino pode controlar diversos sensores e dispositivos, sendo que muitas vezes é uma solução barata quando comparado a outras ferramentas semelhantes (ARDUINO,

2013b). A Figura 5 (ARDUINO, 2013a) mostra o Arduino Ethernet, modelo utilizado no dispositivo de medição de qualidade do ar tratado no presente trabalho.

Figura 5 – Arduino ETHERNET



Fonte: ARDUINO (2013a)

O Arduino é conectado ao computador via cabo USB para a sua programação, e é compatível com Windows, Linux e Macintosh, fato que associado à facilidade da utilização do Arduino, o torna uma ótima ferramenta (BANZI, 2009).

Além do já foi dito, vale ressaltar que o ambiente de desenvolvimento do Arduino é simples e prático, tornando a codificação fácil de aprender para os iniciantes ao mesmo tempo que o ambiente é prático e útil para os desenvolvedores experientes.

2.2.2- Sensores

Sensores são dispositivos que detectam algum acontecimento físico em específico e convertem esse acontecimento em sinais elétricos que serão interpretados e utilizados para gerar dados (SOUZA, 2012a).

Juntamente com o Arduino podem ser utilizados diversos sensores, entre eles estão sensores de proximidade (FREITAS, 2011), sensores de umidade e temperatura do ar (INÁCIO, 2012), entre outros.

No sistema de medição de qualidade do ar que será desenvolvido nesse trabalho serão utilizados quatro sensores, responsáveis pela medição de diversos poluentes, e os dados gerados serão utilizados para a criação de informações a respeito da qualidade do ar, e todos esses sensores serão controlados pelo Arduino.

A Figura 6 (ARDUINO, 2013d) mostra o sensor MQ-7 que será utilizado para a criação do dispositivo tratado nesse trabalho.

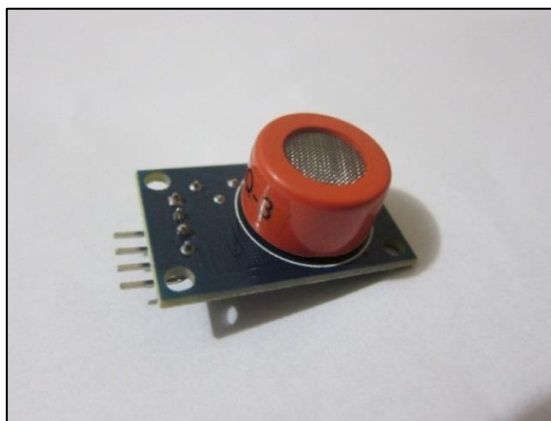
Figura 6 – Sensor MQ-7



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 7 (ARDUINO, 2013d) mostra o sensor MQ-3 que será utilizado para a criação do dispositivo tratado nesse trabalho.

Figura 7 – Sensor MQ-3



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 8 (ARDUINO, 2013d) mostra o sensor MQ-2 que será utilizado para a criação do dispositivo tratado nesse trabalho.

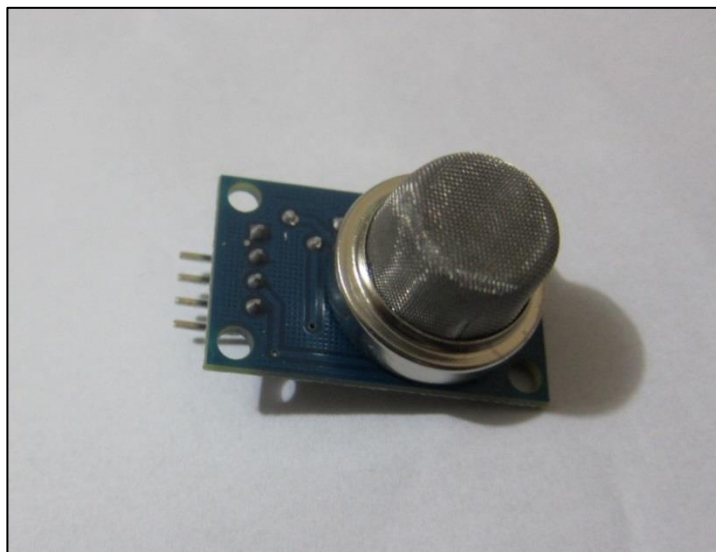
Figura 8 – Sensor MQ-2



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 9 (ARDUINO, 2013d) mostra o sensor MQ-8 que será utilizado para a criação do dispositivo tratado nesse trabalho.

Figura 9 – Sensor MQ-8



Fonte: AUTOR (2013)

2.3- Processing

O dispositivo Arduino (ARDUINO, 2013b) deve ser programado para o seu devido funcionamento, e para essa programação é utilizada uma linguagem chamada Processing (PROCESSING, 2013).

O Processing é uma linguagem de programação simples que quando foi desenvolvida tinha em foco os desenvolvedores que desejavam fazer um código simples antes de desenvolver a versão final (PROCESSING, 2013).

O Processing começou visando a simplicidade, porém com o tempo a linguagem ganhou mais importância sendo utilizada também para trabalhos mais avançados (PROCESSING, 2013), e como já mencionado, é utilizada para a programação do Arduino (ARDUINO, 2013c).

2.4- Java

Java é uma linguagem de programação criada pela Sun Microsystems, sendo que o seu desenvolvimento começou em 1991 (ORACLE, 2013a). Atualmente o Java pertence a Oracle, pois em 2009 a Oracle comprou a Sun Microsystems (ORACLE, 2013b).

A linguagem de programação Java é multiplataformas, pois aplicativos desenvolvidos em Java são executados em uma máquina virtual (Java Virtual Machine - JVM), possibilitando que eles possam ser executados em qualquer sistema que tenha suporte a JVM.

O Java é uma linguagem de fácil aprendizado, e por conta disso é a escolha de muitas instituições de ensino ao redor do mundo (ORACLE, 2013c). Esta é uma linguagem de programação orientada a objetos, fortemente tipada e de alto nível, que visa ser uma linguagem de produção, e não de pesquisa (ORACLE, 2013d).

No presente trabalho a linguagem Java será utilizada para o desenvolvimento de uma aplicação *web* cliente para exibir os dados enviados ao *web service* Xively pelo dispositivo de medição de qualidade do ar, e também para o desenvolvimento de um *web service* RESTful que receberá os dados a respeito da qualidade do ar.

2.5- MongoDB

O MongoDB, nome que vem de *humongous* (gigantesco), é um banco de dados NoSQL orientado a documentos de alta performance e sem esquemas. O MongoDB é uma aplicação de código aberto desenvolvida em C++ pela empresa 10gen.

Esse banco de dados foi projetado para ter facilidade de desenvolvimento e de escalabilidade, sendo que ele utiliza documentos BSON (*binary JSON*), para armazenar os dados e se concentra na flexibilidade, potência, velocidade e facilidade de uso.

2.6- HTML5

Para o desenvolvimento da aplicação *web* que exibirá as informações obtidas a partir do dispositivo de medição da qualidade do ar será utilizada a tecnologia HTML5 para a parte de visualização, e essa tecnologia será apresentada nesta seção.

2.6.1- HTML

O HTML é uma linguagem de marcação utilizada para a criação de páginas *web* desenvolvida em 1990 por Tim Berners-Lee no Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (ou European Council for Nuclear Research – CERN), localizado na Suíça (W3C, 2013b) (CERN, 2013).

O HTML possibilita que o desenvolvedor publique em uma página *web* textos, tabelas, imagens, listas, entre outros, e também dá a possibilidade de redirecionamento para outras páginas por meio de links. Na codificação em HTML são utilizadas *tags* de marcação que o navegador interpreta para poder mostrar o resultado desejado pelo desenvolvedor (W3C, 2013a).

Para desenvolver sites com mais recursos e com melhor aparência diversas tecnologias foram tentadas, porém com as funcionalidades da tecnologia HTML5 podem ser criados sites com diversos recursos e efeitos, não sendo necessária a utilização de nenhuma outra ferramenta (HOGAM, 2011).

2.6.2- CSS3

O CSS (Cascading Style Sheets) é uma linguagem que tem a finalidade de descrever como páginas da *web* devem ser apresentadas, ou seja, o CSS basicamente define qual será a aparência de um site (W3C, 2013a). Essa linguagem foi lançada por Håkon Wium Lie e Bert Bos juntamente ao World Wide Web Consortium (W3C) em 1996 (W3C, 2013c) (W3C, 2013d).

Juntamente com o HTML, o CSS3 é um dos principais responsáveis pela construção da *web* moderna, pois os dois trazem muitas vantagens, como compatibilidade com diversos *browsers*, facilidade para criar bons efeitos visuais, entre outras (HOGAN, 2011). O CSS pode ser utilizado em qualquer linguagem de marcação baseada em XML, e não só no HTML (W3C, 2013a).

O CSS ganhou seu espaço ao longo do tempo, acompanhando o surgimento e evolução de novos *browsers*, que cada vez mais se utilizaram do CSS, pois assim não foi necessário criarem uma própria linguagem, e com isso as páginas da *web* podem ser executadas em diversos *browsers* (GASSTON, 2011).

2.6.3- JavaScript

JavaScript é uma linguagem de programação de *script* criada em maio de 1995 por Brendan Eich, que na época trabalhava para a Netscape, sendo que a linguagem tinha o nome Mocha no momento de sua criação.

No mesmo ano de sua criação, o nome da linguagem foi alterado para JavaScript, com a devida autorização da Sun Microsystems, sendo que isso foi uma estratégia de marketing por conta da popularidade do Java.

Além do JavaScript puro, existem diversas APIs JavaScript que permitem a utilização de muitos recursos em uma página *web* juntamente com o HTML e o CSS.

2.7- OpenShift

O OpenShift é uma plataforma PaaS (*Platform as a Service*) da Red Hat, que permite aos desenvolvedores criarem aplicações e rapidamente hospeda-las em nuvem, não tendo que se preocupar com variáveis de ambiente.

O OpenShift disponibiliza diversas ferramentas e linguagens que são apresentadas para o desenvolvedor no momento em que ele cria uma aplicação. Após essa criação o ambiente é configurado automaticamente, restando para o desenvolvedor apenas se preocupar com o código de sua aplicação.

2.8- Internet das Coisas

A internet nos dias de hoje está muito presente no dia-dia de muitas pessoas ao redor do mundo, e cada vez mais dispositivos estão conectados a ela, facilitando o cotidiano do ser humano e, além disso, proporcionando mais segurança (UCKELMANN, 2011).

A cada dia que se passa mais pessoas tem dispositivos conectados à internet, mais dispositivos passam a conectar a internet e esses dispositivos começam a se comunicar entre si e com outros dispositivos a sua volta (RAUNIO, 2010).

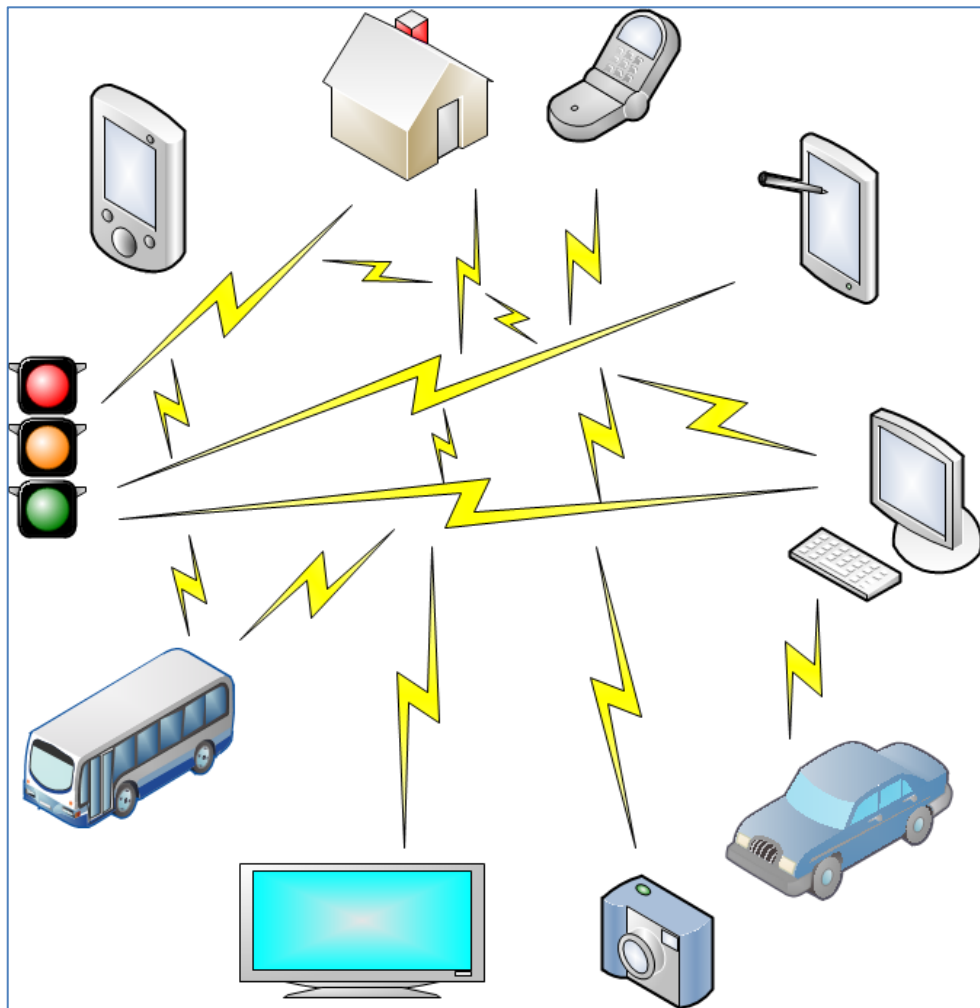
A internet das coisas é basicamente a junção de diversos componentes (componentes como os já mencionados) que compõem uma rede onde diversos objetos se comunicam para gerar dados de onde serão obtidas informações que contribuirão para a sociedade, sendo que esse recurso pode ser utilizado por diversas áreas como saúde, segurança, meio ambiente, entre outras (COUNCIL, 2013).

Tanto no meio empresarial como no doméstico e ambiental a internet é muito útil, porém em alguns desses meios ela ainda pode ser mais explorada, e facilitar os processos, e a internet das coisas proporciona essa evolução dos processos com todas as suas possibilidades (ATZORI, 2010).

Outra grande vantagem da internet das coisas é o fato de que todos podem contribuir (UCKELMANN, 2011), utilizando-se de ferramentas como o Xively (XIVELY, 2013), que são gratuitas, de dispositivos de baixo custo como o Arduino (ARDUINO, 2013b) e de todo o conhecimento disponível na *web* (UCKELMANN, 2011).

A Figura 10 (IBM, 2013) representa a internet das coisas, que interconecta diferentes objetos formando uma rede de informações.

Figura 10 – Representação da Internet das Coisas



Fonte: Adaptada de IBM (2013)

2.9- Projetos relacionados à Internet das Coisas

Nesta seção serão apresentados alguns projetos na área da internet das coisas para que se possa ter um exemplo prático do dispositivo que será desenvolvido nesse trabalho.

2.9.1- XIVELY

O Xively.com é um *web service* de utilização gratuita que possibilita aos seus usuários o envio dos dados coletados por dispositivos semelhantes ao que será desenvolvido nesse trabalho, entre outros, e esses dados ficam salvos pela aplicação. O Xively foi fundado

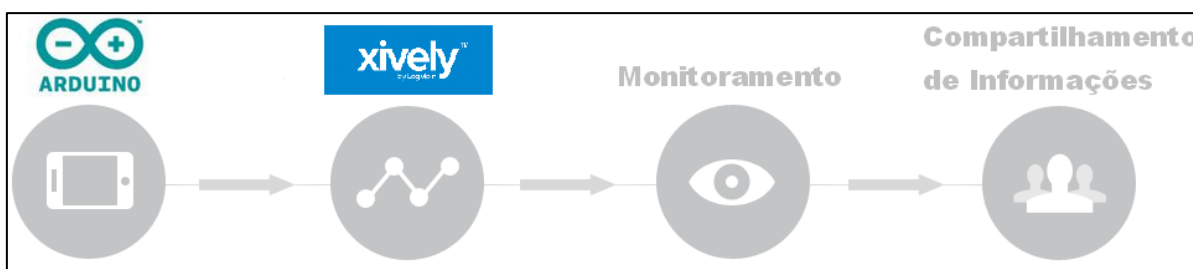
em 2008 com o nome de Pachube, sendo posteriormente nomeado como Cosm e atualmente Xively (XIVELY, 2013a) (XIVELY, 2013b).

Os dados enviados pelos usuários podem também ser utilizados por outras aplicações que os obtém do *web service* utilizando o padrão RESTful com comunicação JSON (XIVELY, 2013a).

O Xively é uma importante ferramenta relacionada à internet das coisas. Ele possibilita que desenvolvedores que possuam um dispositivo com a finalidade de realizar algum tipo de medição enviem as informações coletadas de maneira prática (XIVELY, 2013b).

A Figura 11 (XIVELY, 2013c) (ARDUINO, 2013d) mostra o esquema de como o Xively estará presente no projeto. Os dados obtidos pelo Arduino serão enviados para o Xively, serão monitorados e compartilhados.

Figura 11 – Esquema da utilização do Xively no projeto



Fonte: Adaptada de XIVELY (2013b)

2.9.2- Sistema para o monitoramento de enchentes

A internet das coisas permite o desenvolvimento de diversos dispositivos, em diversas áreas, e como primeiro exemplo será apresentado um sistema para monitoramento de enchentes que faz parte de um Trabalho de Graduação da Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos.

O objetivo do dispositivo é monitorar e emitir alertas a respeito do nível d'água, gravando em banco de dados as informações coletadas. O sistema consiste em um dispositivo de *hardware* criado a partir de uma placa Arduino, um módulo *ethernet* e um medidor de distância ultrassônico. Também fazem parte do sistema um software de controle desenvolvido em Python e uma aplicação *web* de monitoramento criada com HTML, JavaScript e CSS. O

dados coletados pelo sistema são salvos em um banco de dados NoSQL chamado CouchDB (SOUZA, 2012a) (SOUZA, 2012b).

2.9.3- Vestuário para idosos que alerta o responsável em caso de quedas

O vestuário consiste em um cinto que alerta o responsável por um idoso a respeito da queda dessa pessoa. Assim como o sistema para o monitoramento de enchentes, o cinto faz parte de um Trabalho de Graduação da Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos.

Foram utilizados no dispositivo uma placa microcontroladora Arduino LilyPad, um acelerômetro para obtenção dos dados de movimento do usuário, um módulo Bluetooth, uma placa de interface para comunicação, uma campainha e uma bateria. Os componentes são costurados ao cinto com uma linha condutiva, e para o seu devido funcionamento são programados (BARROS, 2013).

3 – DESENVOLVIMENTO

Esse capítulo é responsável por apresentar o processo de desenvolvimento do sistema, mostrando toda a sua arquitetura. As seções do capítulo são divididas conforme os módulos do sistema, que também são descritos aqui.

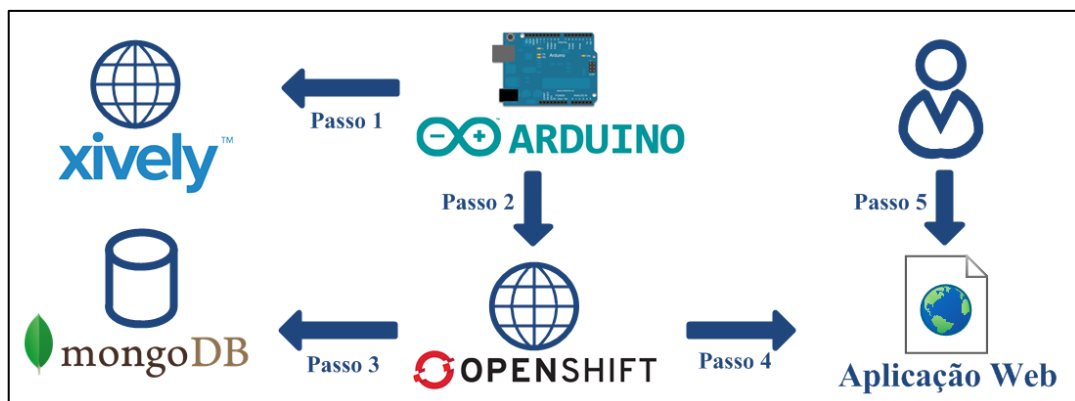
A seção 3.1 apresenta a arquitetura do sistema, a seção 3.2 descreve o dispositivo de medição da qualidade do ar, a seção 3.3 apresenta o sistema principal, a seção 3.4 mostra o *software* de controle do Arduino e a seção 3.5 descreve o *web service* Xively.

3.1 – Arquitetura global

O sistema de medição da qualidade do ar desenvolvido possui uma arquitetura que envolve todas as aplicações e recursos apresentados no capítulo 2. Nesta seção será apresentada a arquitetura global do sistema, exibida na Figura 12, e a divisão entre módulos, mostrando onde e como as aplicações e dispositivos são utilizados.

Os componentes representados na Figura 12 (XIVELY, 2013a) (OPENSIFT, 2013a) (MONGODB, 2013a) (ARDUINO, 2013d) são o *web service* Xively, o Arduino, o usuário, o banco de dados MongoDB, a plataforma OpenShift e a aplicação de exibição dos dados por meio de gráficos.

Figura 12 – Arquitetura global do sistema



Fonte: AUTOR (2013)

O funcionamento do sistema começa a partir do dispositivo de medição da qualidade do ar (ARDUINO, 2013a) (ARDUINO, 2013d), que coletará os dados e os enviará para o *web*

service Xively (XIVELY, 2013a) e para o *web service* RESTful (FIELDING, 2000). Os dados recebidos pelo *web service* RESTful são salvos em um banco de dados MongoDB (MONGODB, 2013) e disponibilizados em uma aplicação *web* para acesso livre de qualquer usuário.

Além de ficarem disponíveis para o usuário por meio da aplicação *web*, os dados coletados ficam disponíveis para acesso também no Xively, e podem ser obtidos do *web service* RESTful para uso de aplicações por meio do formato JSON (JSON, 2013). Para uma melhor apresentação do sistema, ele foi dividido em módulos, sendo que cada um abrange os componentes de uma parte do sistema.

A Tabela 1 apresenta os módulos do sistema, e os componentes que cada módulo possui.

Tabela 1 - Módulos do Sistema

	MÓDULO	COMPONENTES
<i>HARDWARE</i>	Dispositivo de medição de qualidade do ar Seção 3.2	Arduino
		Sensores
<i>SOFTWARE</i>	Sistema principal Seção 3.3	<i>Web service</i> RESTful
		Aplicação <i>Web</i>
		Banco de dados MongoDB
	<i>Software</i> de controle do Arduino Seção 3.4	<i>Software</i> de controle do Arduino
	<i>Web service</i> Xively Seção 3.5	<i>Web service</i> Xively

Fonte: AUTOR (2013)

3.2 – Dispositivo de Medição de Qualidade do Ar

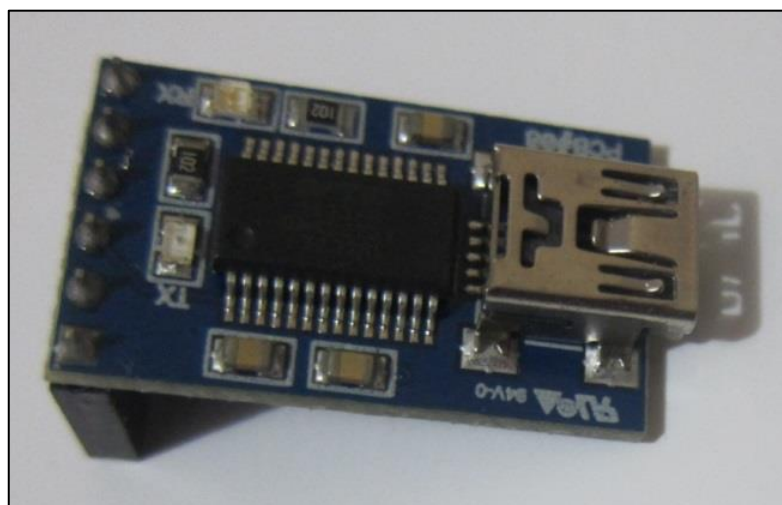
As medições da qualidade do ar são realizadas por um dispositivo formado por um microcontrolador Arduino modelo Ethernet (ARDUINO, 2013a) e por quatro sensores que

efetuem a medição de diversas substâncias (GLP, butano, propano, metano, álcool, hidrogênio, fumaça, monóxido de carbono, benzina e gás natural) (SEEED STUDIO, 2013a) (HANWEI, 2013). Todos os dispositivos foram adquiridos prontos para uso, e para o seu devido funcionamento foi realizada a programação do Arduino. Com o modelo de Arduino utilizado não é necessário o uso de um módulo *ethernet*, pois ele já possui uma porta para a comunicação com redes.

O Arduino Ethernet tem as seguintes especificações: Microcontrolador ATmega328, voltagem de operação de 5V, voltagem de alimentação de 7 a 12V, 14 pinos digitais, 6 pinos analógicos, memória flash de 32 KB (onde 0.5 KB é utilizado para boot), velocidade de *clock* de 16 MHz, entrada para cartão Micro SD e controlador *ethernet* W5100 TCP/IP integrado. Para a sua programação o Arduino Ethernet é conectado ao computador por meio de sua porta serial de seis pinos, sendo que para essa conexão é utilizado um conversor de serial para USB (ARDUINO, 2013d). O Arduino Ethernet pode ser alimentado pela conexão USB, por uma bateria ou por uma fonte ligada a uma tomada.

A Figura 13 (ARDUINO, 2013d) mostra o conversor serial / USB utilizado para a conexão do Arduino com o computador para sua programação. Como já mencionado, o conversor é necessário porque o Arduino não possui uma porta USB, apenas uma serial, porém para realizar a programação é utilizado um cabo USB, e para isso ser possível é necessário o uso do dispositivo de conversão.

Figura 13 – Conversor Serial/USB

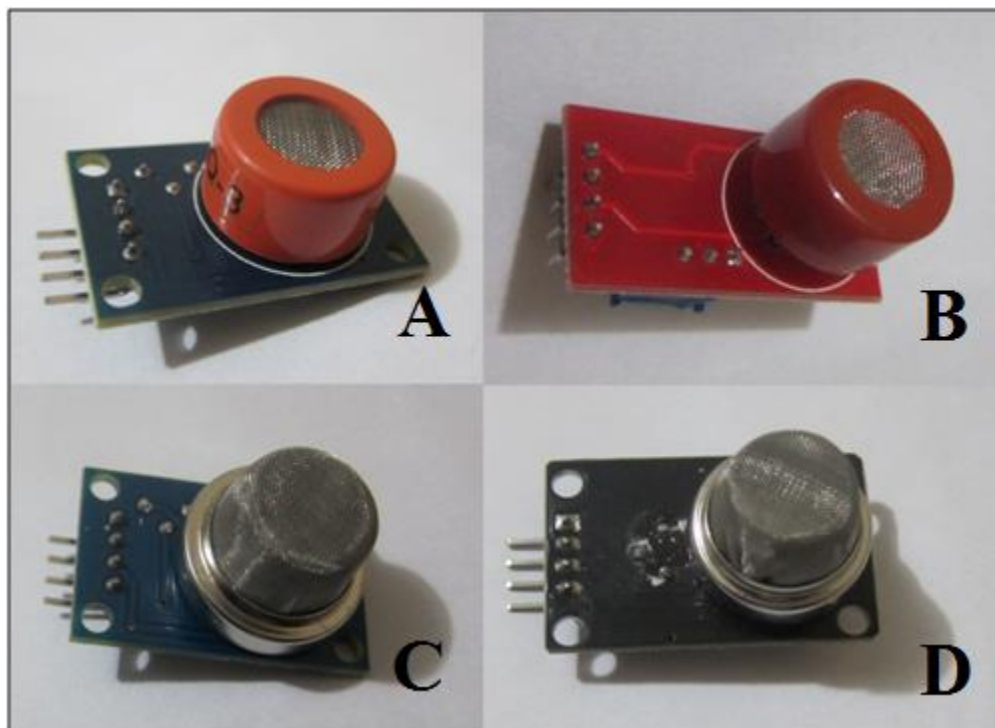


Fonte: AUTOR (2013)

O Arduino (ARDUINO, 2013a) controla o dispositivo e para a medição das substâncias são utilizados quatro sensores (SEEED STUDIO, 2013a) (HANWEI, 2013). As medições realizadas pelos sensores são recebidas pelo Arduino em voltagem, e essas informações são mantidas nesse formato. Caso a medição registre zero significa que a substância, ou as substâncias medidas não existem no ar, e conforme a concentração aumenta o valor retornado também aumenta.

Na Figura 14 (SEEED STUDIO, 2013b) podem ser vistos os sensores utilizados no projeto, sendo o primeiro o sensor MQ-3 (A), responsável por medir álcool e pequenas quantidades de benzina. O segundo, MQ-7 (B), é responsável por medir monóxido de carbono, gás natural e gases que contenham monóxido de carbono. O terceiro é o MQ-8 (C), que mede hidrogênio, GLP (gás liquefeito de petróleo) e poucas quantidades de álcool. O quarto dispositivo é o MQ-2 (D), responsável por medir fumaça, álcool, hidrogênio, metano, propano, butano e GLP (HANWEI, 2013).

Figura 14 – Sensores utilizados no dispositivo

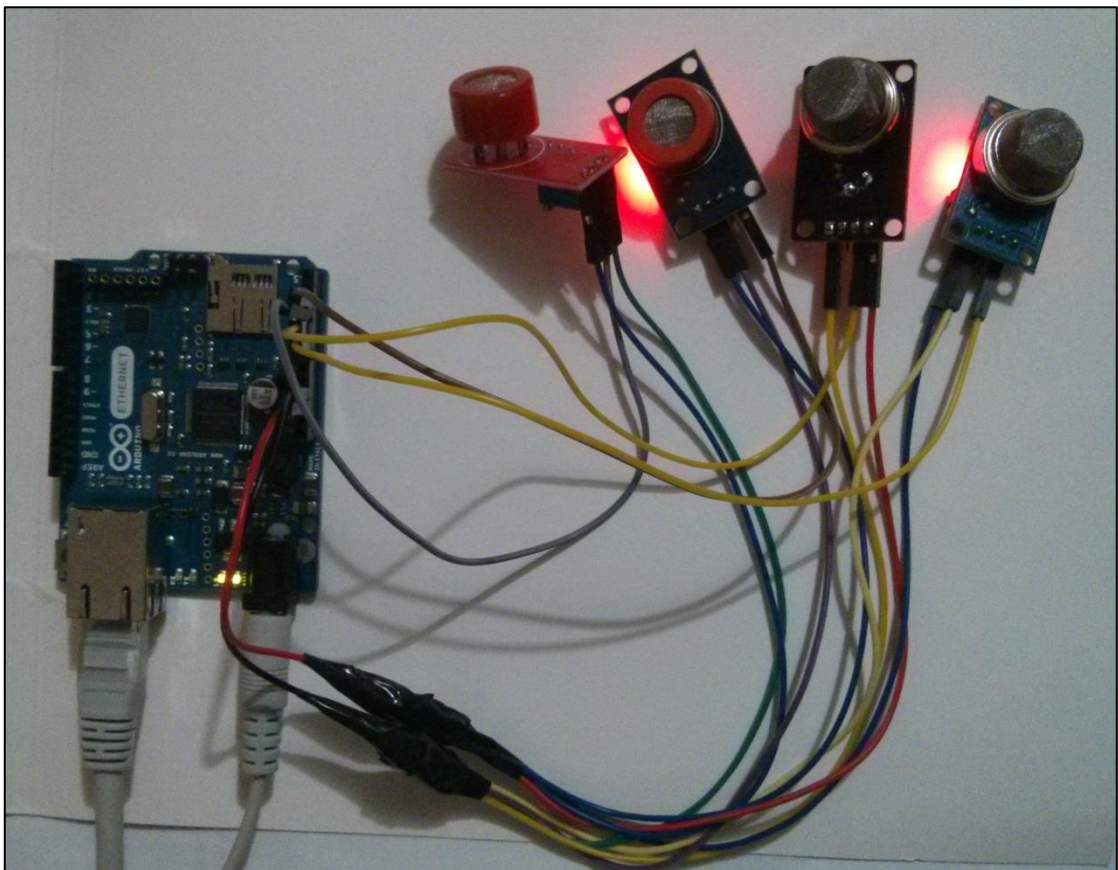


Fonte: AUTOR (2013)

Para o funcionamento do dispositivo os sensores são conectados a uma porta analógica, a uma porta de alimentação de 5V e a uma porta de conexão terra (GND) do Arduino. Para a alimentação do Arduino é utilizada uma fonte de 9V com positivo interno e para a comunicação com a internet é conectado ao Arduino um cabo *ethernet* UTP CAT 5e.

Na Figura 15 (ARDUINO, 2013d) pode ser visto o dispositivo de medição da qualidade do ar conectado e em funcionamento. O Arduino é conectado pelo cabo *ethernet* e por um cabo de alimentação, enquanto os sensores são ligados à placa nas portas de energia, terra (GND) e portas analógicas.

Figura 15 – Dispositivo de Medição da Qualidade do Ar conectado e em funcionamento



Fonte: AUTOR (2013)

3.3 – Sistema Principal

Os dados obtidos pelo dispositivo de medição da qualidade do ar são enviados ao *web service* Xively (XIVELY, 2013a) e são também enviados a um *web service* RESTful

(FIELDING, 2000). Esse *web service* possui também uma interface que pode ser acessada via navegador, e essa aplicação *web* é responsável por apresentar aos usuários os dados obtidos pelo dispositivo de medição.

Além de serem disponibilizados na aplicação *web* os dados ficam disponíveis no *web service* RESTful para acesso no formato JSON. Esse recurso tem por objetivo atender a desenvolvedores que desejam utilizar os dados em outras aplicações, e assim podem obtê-los diretamente pelo seu código fonte. Os dados são enviados para o *web service* RESTful pelo próprio Arduino por meio de uma requisição POST.

Para a obtenção dos dados do *web service* a partir de uma aplicação própria ou mesmo do navegador, o usuário utiliza um endereço que faz uma requisição GET e o *web service* retorna os dados. Para a obtenção dos dados deve ser utilizado o seguinte endereço:

- <http://airquality-jfs.rhcloud.com/data/webservice>

O *web service* RESTful é desenvolvido na linguagem Java, utiliza a API Jersey e é hospedado no OpenShift (OPENSIFT, 2013a), que é uma Plataforma como um Serviço (PaaS) (OPENSIFT, 2013b). O OpenShift é a PaaS da Red Hat, e tem suporte a diversas tecnologias e ferramentas. Com o OpenShift os desenvolvedores não se preocupam com o ambiente, e podem ficar focados apenas no desenvolvimento.

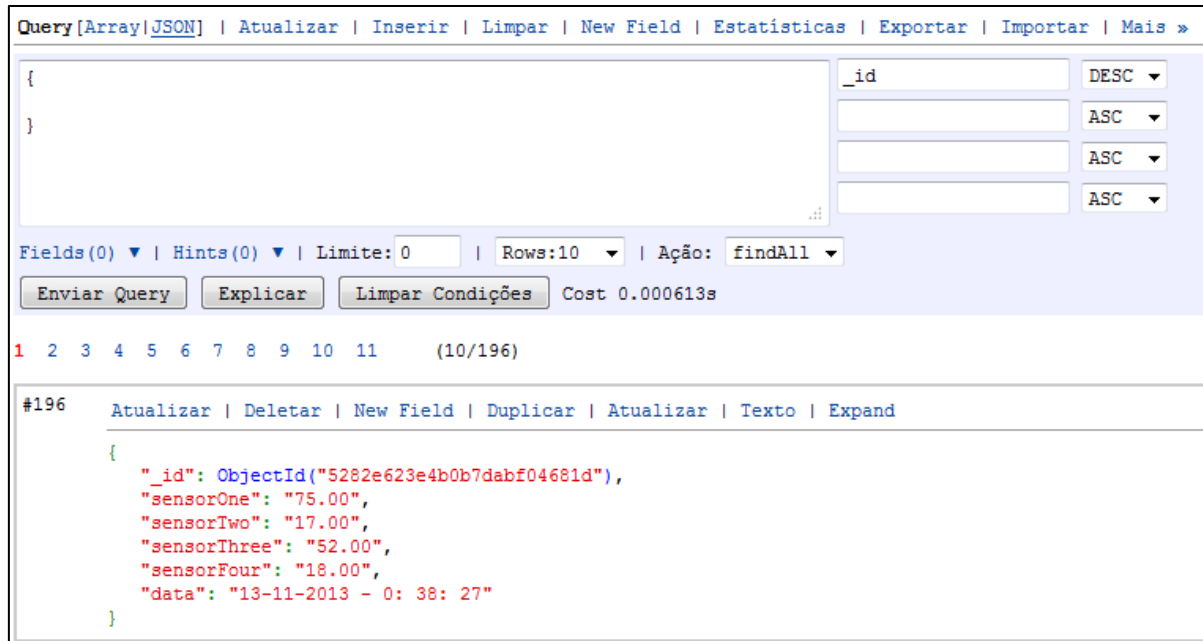
Os dados enviados pelo Arduino para o *web service* RESTful são salvos em um banco de dados MongoDB (MONGODB, 2013a). O MongoDB é um banco de dados NoSQL orientado a documentos e como ele utiliza o formato BSON (*binary* JSON) ele é mais prático de ser utilizado pelo *web service* do que seria um banco de dados relacional, isso porquê o formato BSON é uma variação do JSON, e o *web service* utiliza a comunicação via JSON (MONGODB, 2013b).

Uma das grandes vantagens de bancos de dados NoSQL quando comparados a bancos de dados relacionais, é a facilidade de uso em sistemas distribuídos. Os bancos de dados NoSQL tem essa vantagem por conta da maior complexidade dos bancos de dados relacionais (OREND, 2010).

Na Figura 16 (MONGODB, 2013a) pode ser visto um registro salvo no banco de dados, que tem as informações a respeito da qualidade do ar apuradas pelo dispositivo de medição e a data e hora que essas informações foram inseridas. O registro é mostrado no

formato JSON, para uma melhor visualização, porém no banco de dados ele é armazenado em formato binário.

Figura 16 – Registro salvo no MongoDB



Fonte: AUTOR (2013)

A partir dos dados salvos no banco são geradas informações que ficam disponíveis tanto no *web service* RESTful (FIELDING, 2000) como na aplicação *web*.

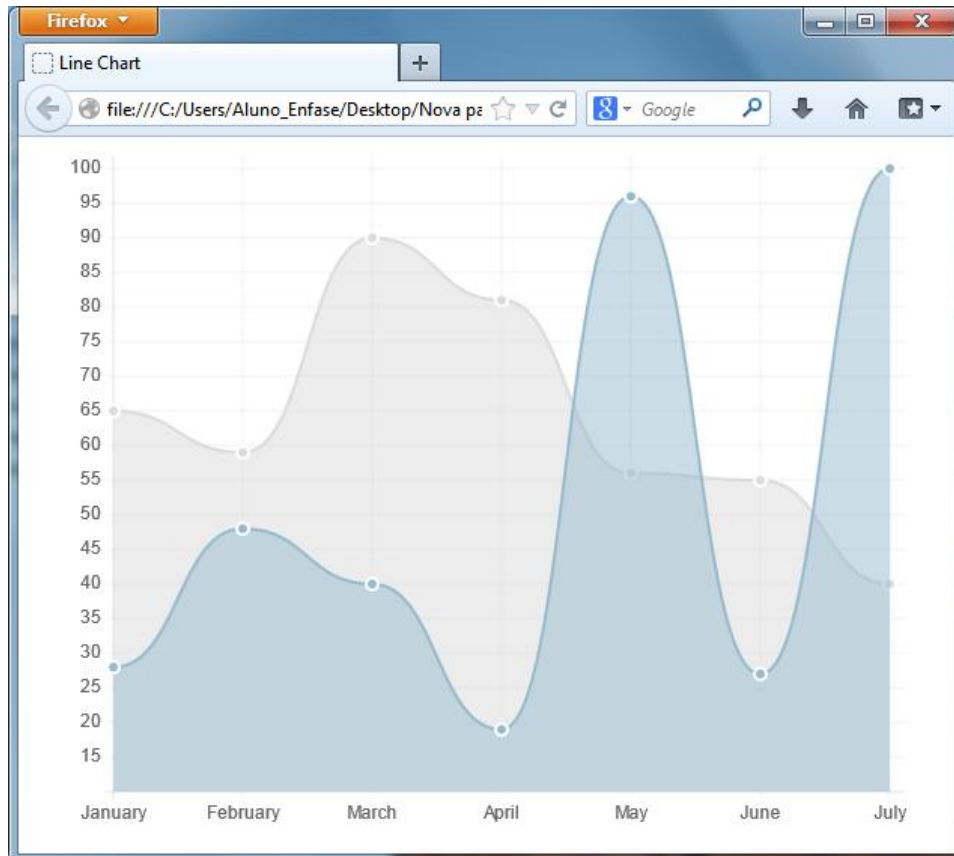
A aplicação *web* apresenta as informações aos usuários por meio de um gráfico que exhibe as últimas dez medições, e ele é atualizado a cada vez que mais dados são enviados ao *web service* RESTful e são gravados no banco de dados.

A aplicação em questão é desenvolvida nas linguagens Java, HTML5, CSS3 e JavaScript, e nela também é utilizada a API Chart.js (CHART.JS, 2013a) para a exibição das informações por meio de um gráfico. Para a utilização da API é necessário que seja efetuado o *download* de um arquivo .js (JavaScript) que é importado para a página onde o gráfico é criado, sendo que na documentação da ferramenta é apresentado o código necessário para a criação e personalização de gráficos.

A Figura 17 (CHART.JS, 2013a) mostra o exemplo de um gráfico de linhas gerado a partir da API utilizada no sistema, a Chart.js. Essa API possibilita ao usuário a criação de seis

tipos de gráficos, e disponibiliza diversas opções de customização e personalização, por meio de suas próprias propriedades.

Figura 17 – Exemplo de gráfico gerado com a API Chart.js



Fonte: AUTOR (2013)

As informações são exibidas em um gráfico de linhas, uma linha para cada sensor, diferenciando-as por meio de diferentes cores. Além do gráfico também é apresentado para o usuário um mapa georreferenciado (GOOGLE MAPS, 2013) mostrando a localização do dispositivo.

3.4 – Software de Controle do Arduino

Para o funcionamento do dispositivo de medição de qualidade do ar o Arduino deve ser programado. O *software* utilizado para o controle do Arduino é compilado e salvo na

memória da placa, e a partir do momento que a placa é alimentada o *software* é executado (ARDUINO, 2013d).

O Arduino é programado na linguagem Processing (PROCESSING, 2013), como já foi citado, e utiliza as seguintes bibliotecas:

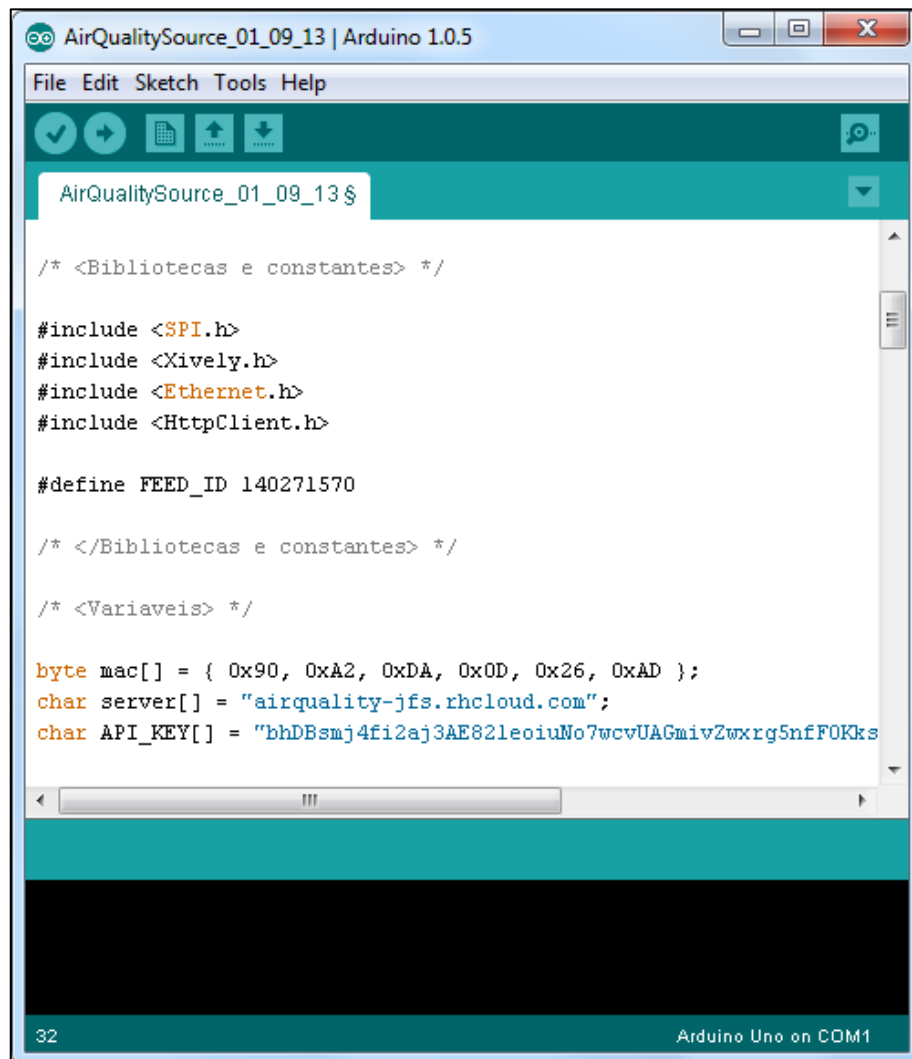
- SPI.h: possibilita a comunicação do Arduino com periféricos como cartões MicroSD e dispositivos conectados na porta serial;
- Xively.h: utilizada para a comunicação entre o Arduino e o *web service* Xively;
- Ethernet.h: possibilita que o Arduino se comunique com a internet por meio da porta *ethernet* presente no dispositivo;
- HttpClient.h: por meio dessa biblioteca é possível utilizar os métodos HTTP na placa Arduino.

O *software* do Arduino é responsável por fazer com que o dispositivo realize o que é esperado. O programa de controle primeiramente faz com que o Arduino realize a leitura dos sensores com um intervalo de 15 minutos entre cada medição. Após esse primeiro passo, o dispositivo envia os dados para o *web service* Xively e depois para o *web service* RESTful.

Para o desenvolvimento do sistema de controle do Arduino foi utilizada uma IDE específica para esse fim (ARDUINO, 2013e), IDE que fica disponível no site oficial para *download*. O *software* tem versões para instalação em Windows, Linux e Mac OS, sendo que todo o seu código fonte é disponibilizado no GitHub (GITHUB, 2013).

A Figura 18 (ARDUINO, 2013e) mostra a IDE utilizada para o desenvolvimento do *software* do Arduino. Dentro da IDE é possível selecionar o modelo do Arduino conectado, a porta de conexão, além de muitas outras configurações disponíveis para o desenvolvimento do *software*.

Figura 18 – IDE para programação do Arduino



Fonte: AUTOR (2013)

3.5 – Web Service Xively

Atualmente diversas tecnologias podem ser desenvolvidas para facilitar a vida das pessoas, e existem diversas ferramentas que auxiliam nesse desenvolvimento, e uma delas é o Xively. Essa aplicação é uma plataforma de internet das coisas que permite que as pessoas conectem seus dispositivos para que enviem informações que são disponibilizadas para outras pessoas pelo próprio Xively (XIVELY, 2013d).

Para que fiquem disponíveis para outros usuários, os dados obtidos a respeito da qualidade do ar são enviados para o *web service* Xively, e eles ficam dispostos em uma

Com isso, encerra-se a explicação sobre o desenvolvimento do sistema. No próximo capítulo ele será testado na prática e os resultados serão apresentados e discutidos.

4 – RESULTADOS

Após o desenvolvimento e todos os testes do sistema, foram obtidos resultados que serão apresentados neste capítulo.

Ele está organizado como segue: a seção 4.1 apresenta a arquitetura de *hardware* de baixo custo, a seção 4.2 descreve a arquitetura de *software open source*, a seção 4.3 apresenta a aplicação *web* para interação com o usuário e a seção 4.4 mostra um estudo de caso do projeto.

4.1 - Arquitetura de Hardware de Baixo Custo

Para a criação de sistemas como o que é tratado nesse trabalho é importante que os componentes utilizados tenham um baixo custo, pois componentes de alto custo podem inviabilizar o projeto.

O dispositivo de medição da qualidade do ar foi criado a partir de componentes de *hardware* de baixo custo que possibilitam desenvolver essa e diversas outras soluções. Com o trabalho foi possível constatar que com um *hardware* de preço moderado é possível desenvolver dispositivos funcionais que resolvem problemas e ajudam a população.

Na Tabela 2 podem ser visualizados os custos dos componentes utilizados para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 2 – Valores dos componentes de hardware utilizados

Componente	Quantidade	Valor
Arduino Ethernet	1	US\$ 53,09
Sensor MQ-2	1	US\$ 4,95
Sensor MQ-3	1	US\$ 4,95
Sensor MQ-7	1	US\$ 7,25
Sensor MQ-8	1	US\$ 7,95
Fios Jumper	14	US\$ 7,19
Valor total	US\$ 85,38	

Fonte: Cotação de mercado (2013)

Foram utilizados no trabalho um Arduino Ethernet e quatro sensores responsáveis pela medição de gases e poluentes. Inicialmente apenas um foi utilizado, sendo que ele tem como objetivo medir a qualidade do ar, porém o mesmo apresentou instabilidade quando ligado por mais de vinte e quatro horas, por esse motivo ele foi substituído pelos outros quatro sensores.

Com o baixo investimento necessário, qualquer pessoa pode desenvolver um dispositivo semelhante ao apresentado no trabalho, evitando diversos problemas, tanto problemas simples como problemas graves.

4.2 - Arquitetura de Software Open Source

Os *softwares open source* permitem que diversas soluções sejam desenvolvidas e compartilhadas, possibilitando que outras pessoas utilizem, e mais do que isso, melhorem a aplicação em questão, não precisando do desenvolvedor para as mudanças necessárias.

Esses *softwares* oferecem diversas vantagens tanto para quem não visa lucros, quanto para quem tem a intenção de ganhar dinheiro com eles, pois mesmo o *software* sendo *open source* e sem custo, pode-se lucrar com personalização e suporte. O fato de um *software* ser *open source* não significa que ele não pode ser vendido, portanto pode-se ganhar dinheiro também com a venda dessas aplicações. A vantagem desse tipo de *software*, é que mesmo que ele tenha um custo em certos casos, o seu código fonte é disponibilizado e com isso é possível realizar modificações se desejado, tanto para corrigir erros quanto para personalização (VON HIPPEL, 2009).

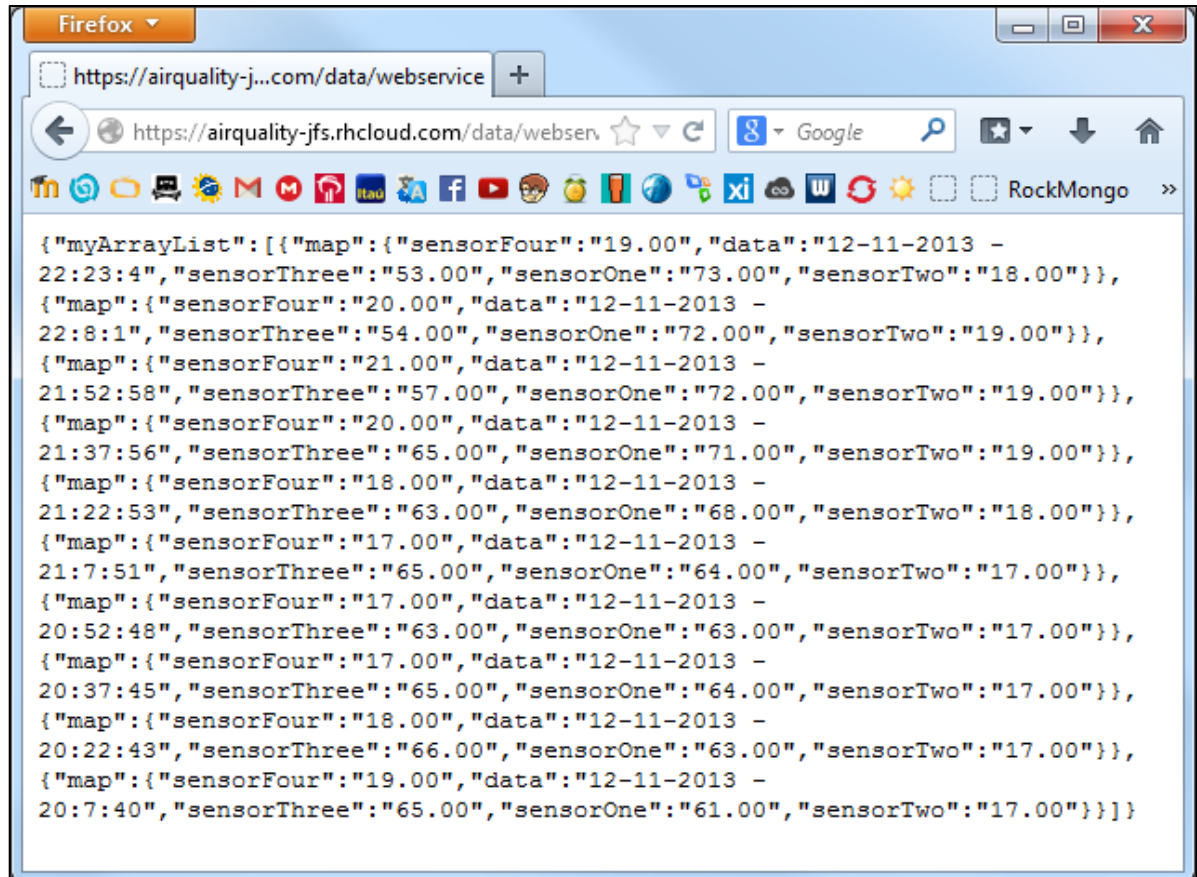
Para o funcionamento do dispositivo foram desenvolvidos o programa para o controle do Arduino, o *web service* RESTful e uma aplicação *web* para interação com o usuário, sendo todos eles *open source* e estando disponíveis para *download* no GitHub e na aplicação *web* já citada (<http://airquality-jfs.rhcloud.com>), portanto o dispositivo pode ser reproduzido com facilidade, sendo necessário apenas obter os componentes de *hardware*.

Para o desenvolvimento dos *softwares* nada foi gasto, pois todos os recursos utilizados são gratuitos. Assim sendo, esse dispositivo e outros semelhantes podem ser desenvolvidos com um baixo investimento.

Os dados medidos pelo dispositivo podem ser obtidos não só através da aplicação *web*, mas também pelo *feed* do dispositivo presente no Xively e via JSON pelo *web service* RESTful.

A Figura 20 mostra os dados obtidos via JSON do *web service* por um navegador de internet, através do endereço <https://airquality-jfs.rhcloud.com/data/webservice>.

Figura 20 – Dados obtidos do Web Service RESTful no formato JSON



Fonte: AUTOR (2013)

Além das vantagens que o sistema tem por ser *open source*, existem ainda as vantagens de se utilizar um *web service* com comunicação via JSON ao invés de alguma outra arquitetura. A grande vantagem dessa utilização é que com um *web service*, a comunicação é independente de plataformas, pois qualquer uma que possa trabalhar com JSON pode utilizar a aplicação, sendo então possível desenvolver soluções para os mais diversos tipos de dispositivos utilizando o *web service*.

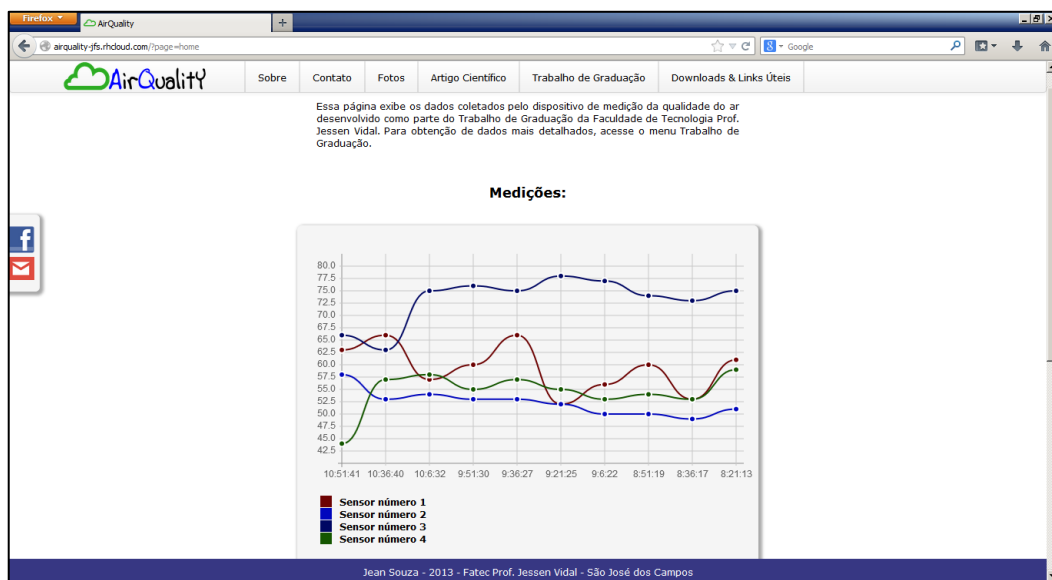
4.3 - Aplicação para Interação com o Usuário

Atualmente grande parte das pessoas está conectada à internet na maior parte do seu tempo, por isso aplicações *web* possuem vantagens sobre outras. Uma dessas vantagens é que essas aplicações são independentes de plataforma, pois são executadas em um único servidor e os usuários acessam uma interface fornecida pela aplicação.

Para a exibição dos dados relacionados ao trabalho e disponibilização de arquivos foi desenvolvida uma aplicação *web*, fornecendo aos usuários um acesso independente de plataformas. Na aplicação *web* é possível visualizar o gráfico com as últimas medições do sistema, visualizar fotos do dispositivo, fazer *download* do código fonte de todos os *softwares* desenvolvidos no trabalho e também da parte teórica.

A aplicação *web* AirQuality exibe apenas informações pertinentes ao trabalho e possui acessibilidade (W3C, 2013f). A Figura 21 mostra a página inicial da aplicação, responsável por exibir um breve texto explicativo sobre seu propósito, exibir o gráfico de medições e um mapa com a localização do dispositivo.

Figura 21 – Página inicial da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 22 apresenta a página ‘Sobre’ da aplicação AirQuality, que fornece informações da aplicação e das ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

Figura 22 – Página ‘Sobre’ da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 23 mostra a página ‘Contato’ da aplicação, que é responsável por orientar o usuário a respeito de contatos referentes a alguma dúvida ou solicitação a respeito do trabalho.

Figura 23 – Página ‘Contato’ da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 24 exibe a página ‘Fotos’ da aplicação AirQuality, que apresenta ao usuário fotos do dispositivo de medição da qualidade do ar desenvolvido.

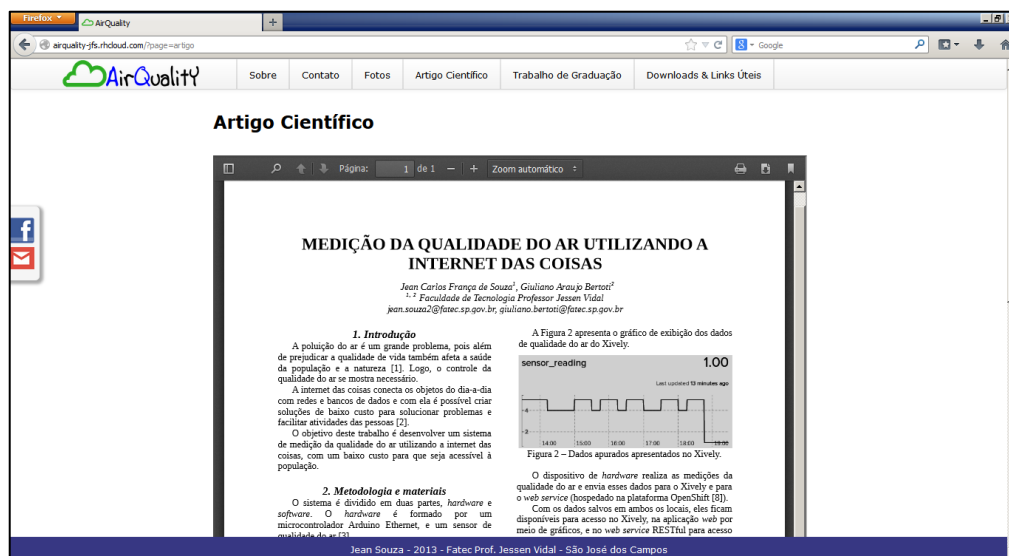
Figura 24 – Página ‘Fotos’ da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 25 apresenta a página ‘Artigo Científico’, que disponibiliza o artigo escrito em paralelo com esse trabalho no formato PDF.

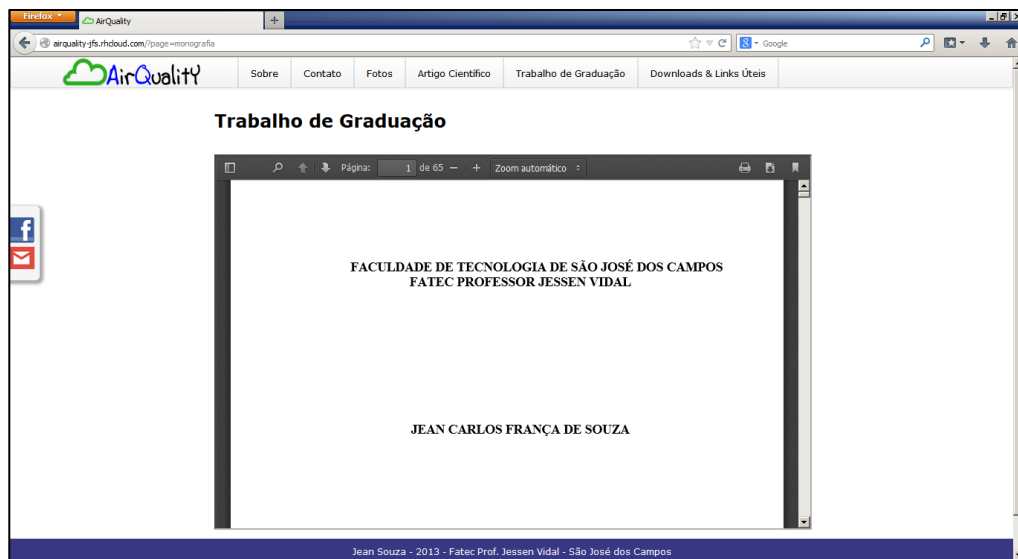
Figura 25 – Página ‘Artigo Científico’ da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 26 exibe a página ‘Trabalho de Graduação’, que mostra um PDF do texto completo do trabalho.

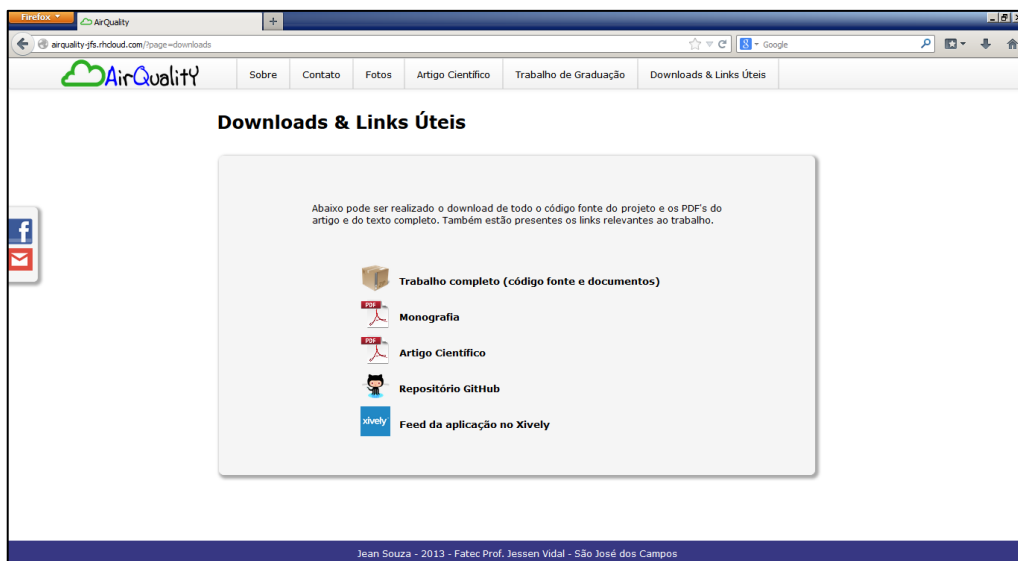
Figura 26 – Página ‘Trabalho de Graduação’ da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

A Figura 27 mostra a página ‘Downloads & Links Úteis’, onde se encontram os arquivos referentes ao trabalho e também links relevantes.

Figura 27 – Página ‘Downloads & Links Úteis’ da aplicação web AirQuality



Fonte: AUTOR (2013)

4.4 - Estudo de Caso

Os dados gerados pelo dispositivo desenvolvido são úteis de diversas maneiras, como fornecer para as pessoas uma comparação entre a qualidade do ar de diversas regiões da cidade. Para pessoas que costumam realizar exercícios, como corrida, é muito importante saber onde é o melhor local para a prática, e a qualidade do ar é um importante fator.

Um local com uma boa qualidade do ar é um bom local para se correr, e com o sistema desenvolvido pode ser criada uma rede de dispositivos gerando dados em diferentes pontos da cidade.

Para mostrar uma aplicação prática do trabalho, foram realizadas medições em diversas regiões da cidade, e com os dados gerados foi criado um gráfico mostrando um comparativo da qualidade do ar dessas regiões.

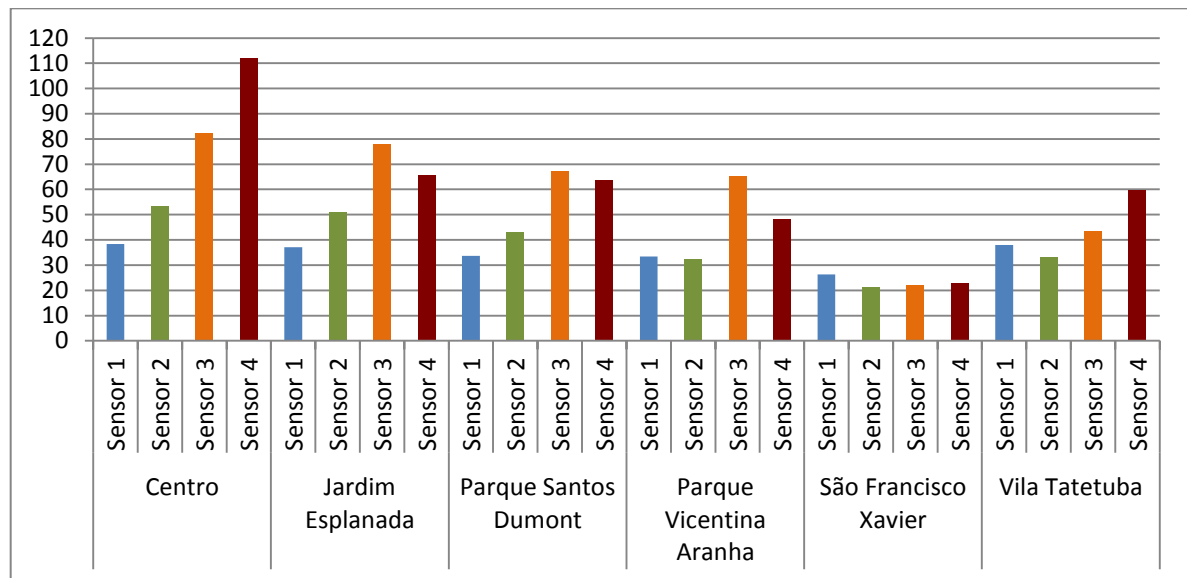
O comparativo foi realizado em seis regiões da cidade de São José dos Campos:

- Avenida São José;
- Jardim Esplanada;
- Parque Santos Dumont;
- Parque Vicentina Aranha;
- São Francisco Xavier;
- Vila Tatetuba.

Após as medições foram calculadas as médias dos valores obtidos de cada local. Com os testes foi possível obter-se os pontos onde se tem uma melhor qualidade do ar, e essa informação pode auxiliar a população em diversas tomadas de decisões, como onde é o melhor local para se praticar esportes. As medições foram realizadas durante quarenta e cinco minutos em cada local, sendo que o dispositivo realiza as medições com um intervalo de cinco minutos entre elas. O dispositivo gera um arquivo texto com todos os valores obtidos, e a partir desse arquivo é gerada a média das medições de cada sensor.

A Figura 28 mostra os resultados das medições, onde é possível visualizar o alto de nível de poluição de alguns locais.

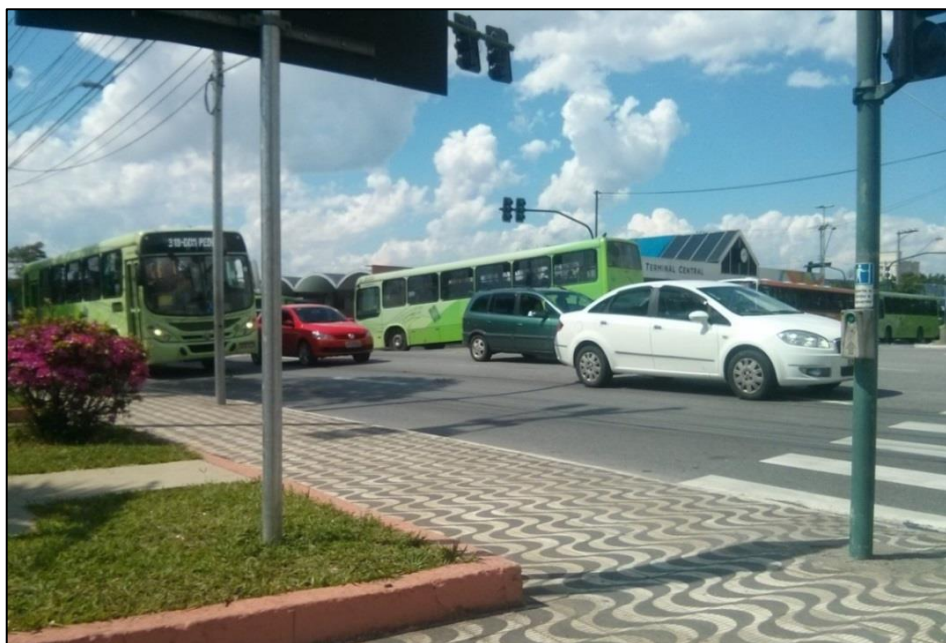
Figura 28 – Medições da qualidade do ar realizadas na cidade de São José dos Campos



Fonte: AUTOR (2013)

O ponto onde foi notado o mais alto nível de poluição é na Avenida São José, localizada no centro da cidade, que em horários de pico tem uma alta circulação de veículos, como é possível visualizar na Figura 29.

Figura 29 – Ponto de medição localizado no centro de São José dos Campos



Fonte: AUTOR (2013)

Outro ponto em que foram realizadas as medições é o Jardim Esplanada (Avenida Anchieta). Nesse ponto os resultados foram semelhantes ao que foi aferido no parque Santos Dumont, porém um pouco mais altos. Vale citar que nesse ponto da cidade diversas pessoas praticam esportes, principalmente corrida e caminhada. A Figura 30 mostra o ponto de medição localizado no Jardim Esplanada.

Figura 30 – Ponto de medição localizado no Jardim Esplanada



Fonte: AUTOR (2013)

O parque Santos Dumont, em comparação ao centro, apresentou uma boa qualidade do ar, sendo então um melhor local para prática de esportes do que a Avenida São José. A Figura 31 apresenta o local de medição dentro do parque Santos Dumont.

Figura 31 – Ponto de medição localizado no parque Santos Dumont



Fonte: AUTOR (2013)

Com uma melhor qualidade do ar se comparado com o parque Santos Dumont, o Vicentina Aranha apresenta um bom ambiente para pratica de esportes e outras atividades, sendo assim uma boa opção para os cidadãos Joseenses. A Figura 32 apresenta o ponto de medição localizado no parque Vicentina Aranha.

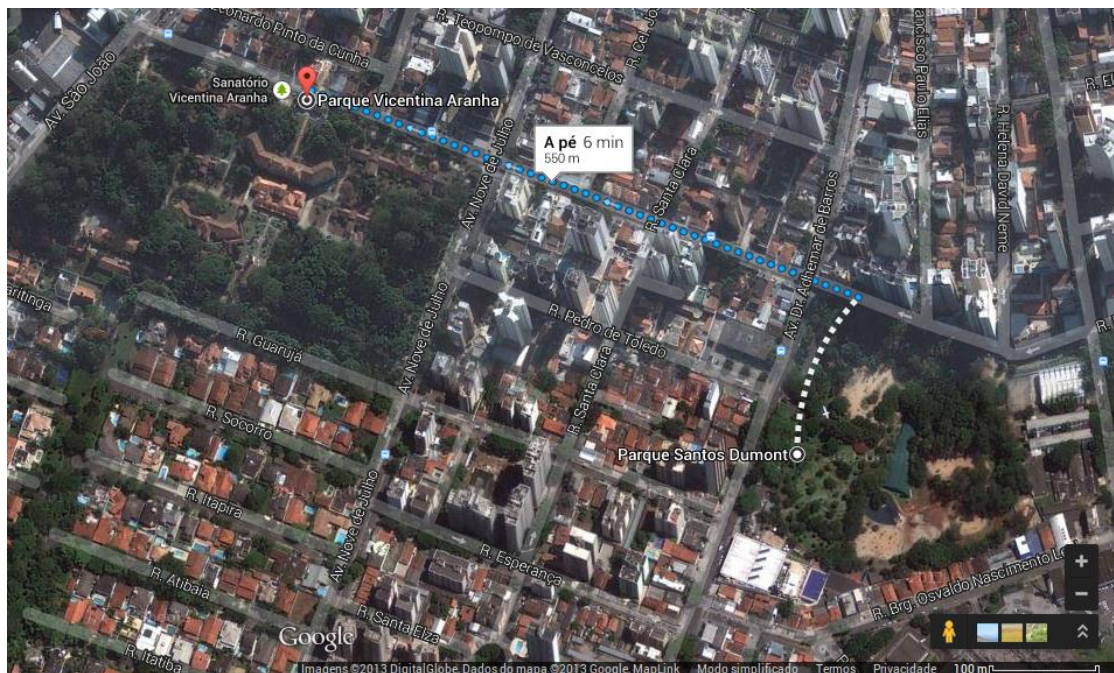
Os dois parques citados ficam próximos um ao outro, mas mesmo assim, um apresentou uma melhor qualidade do ar, e isso pode ser causado pelo fato de que o Vicentina Aranha possui maior arborização. Outro fato que pode contribuir para essa diferença é que o parque Santos Dumont é próximo a Avenida Dr. Adhemar de Barros, que tem grande circulação de ônibus. A Figura 33 (GOOGLE MAPS, 2013) mostra a distância entre os dois parques.

Figura 32 – Ponto de medição localizado no parque Vicentina Aranha



Fonte: AUTOR (2013)

Figura 33 – Distância entre os parques Santos Dumont e Vicentina Aranha



Fonte: AUTOR (2013)

Os dois melhores locais para os praticantes de esporte é o distrito de São Francisco Xavier e o Parque Vicentina Aranha. A criação de uma rede de dispositivos de medição da qualidade do ar possibilitaria aos praticantes de esportes uma visualização diária dessa informação que pode auxiliar na decisão do local dessa prática, entre outras decisões.

A Figura 34 apresenta o local de medição localizado em São Francisco Xavier, área rural com a presença de vegetação e poucos emissores de poluentes, o que possibilita a existência de uma boa qualidade do ar, garantindo assim uma melhor qualidade de vida e bem estar de quem reside no local.

Figura 34 – Ponto de medição localizado em São Francisco Xavier



Fonte: AUTOR (2013)

A última medição foi realizada no bairro Vila Tatetuba, localizado na região leste da cidade. Os resultados obtidos nesse local mostraram uma boa qualidade do ar se comparados com as medições da Avenida São José e do Jardim Esplanada. A Figura 35 mostra o ponto de medição localizado no bairro Vila Tatetuba.

Figura 35 – Ponto de medição localizado no bairro Vila Tatetuba



Fonte: AUTOR (2013)

Este capítulo apresentou uma análise dos resultados. No próximo serão apresentadas as conclusões finais do trabalho.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um dispositivo criado com *hardware* e *software open source*, que realiza medições da qualidade do ar. Este capítulo é dividido em duas seções, sendo a 5.1 para apresentar contribuições e conclusões e a 5.2 apresenta possíveis futuros trabalhos que podem evoluir o tema apresentado.

5.1 - Contribuições e Conclusões

As contribuições deste Trabalho são:

- Um dispositivo *open source* de medição da qualidade do ar com acesso a uma rede cabeada para transmitir os dados coletados foi desenvolvido;
- Uma implementação de *software open source* foi realizada, mostrando a eficácia e a importância desse tipo de solução;
- Um *web service* baseado na arquitetura RESTful foi criado;
- Uma aplicação cliente *web* para exibição dos dados que são obtidos do banco de dados MongoDB foi desenvolvida;
- Medições foram realizadas pelo dispositivo em um local externo para os testes e para registro dos dados da qualidade do ar;
- Dados a respeito da qualidade do ar foram enviados para o *web service* Xively para que fiquem disponíveis para outros usuários.

A partir destas contribuições pode-se concluir que:

- O objetivo de criar um dispositivo de medição da qualidade do ar de baixo custo utilizando a internet das coisas se mostrou possível de ser alcançado;
- *Hardware* e *software open source* são poderosas ferramentas que possibilitam o desenvolvimento de diversas soluções;
- A qualidade do ar é um importante fator para a qualidade de vida das pessoas, e a medição disso é muito importante para que possa haver o devido controle;

- O Arduino se mostrou uma plataforma viável para as mais diversas soluções, pois cumpriu seu objetivo apresentando estabilidade;
- O *web service* RESTful se mostrou uma poderosa arquitetura, possibilitando a comunicação entre diversos dispositivos;

A seguir são apresentadas experiências obtidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho:

- Quando são utilizados componentes de *hardware*, é muito importante que seja pensado como esses componentes serão alimentados, pois cada solução tem uma característica própria, e a falta dessa análise pode prejudicar o trabalho;
- A comunicação via *web service* é muito útil, pois permite a utilização de diferentes arquiteturas em conjunto, sendo essa uma das principais vantagens na utilização de um *web service* ao invés de outras ferramentas;
- Antes de se escolher algum sensor para uso conjunto com o Arduino, é necessário o estudo desse componente, pois se um projeto for iniciado com um sensor inadequado podem surgir diversos problemas que prejudicarão o trabalho.

5.1.1 - Publicação

Um artigo foi publicado em periódico como segue:

SOUZA, J. C. F.; BERTOTI, G. A. “Medição da Qualidade do Ar Utilizando a Internet das Coisas”. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, v.36, p. 105, 2013. ISSN 1518-9082.

5.2 – Trabalhos Futuros

As contribuições alcançadas com este Trabalho não encerram as pesquisas relacionadas à utilização da internet das coisas para a medição da qualidade do ar, mas abrem oportunidades para alguns trabalhos futuros:

- Recriar o dispositivo convertendo os resultados das medições para a mesma unidade de medida utilizada pela CETESB para que seja possível comparar os resultados com as medições oficiais;
- Recriar o dispositivo utilizando alimentação por energia solar;
- Criar uma rede de dispositivos, apresentando comparações diárias da qualidade do ar para pessoas escolhem os melhores locais para prática de esportes;
- Recriar o dispositivo, porém com mais sensores, gerando assim informações mais completas;
- Criar uma rede de dispositivos dispostos em diferentes cidades do Vale do Paraíba para a comparação da qualidade do ar dessas cidades;
- Recriar o dispositivo com um alarme que avise para os usuários da aplicação quando a qualidade do ar chegar a um nível crítico;
- Recriar o dispositivo integrando outros sensores, como temperatura e umidade relativa do ar, para que se possa ter uma visão geral do ambiente em que o sensor está presente;
- Integrar o dispositivo com o Google Glass, para que o usuário veja as condições da qualidade do ar;
- Realizar um trabalho em conjunto com a CETESB para que a Companhia também se utilize das medições realizadas;
- Integrar o dispositivo com sistemas de *smartphones*, como Android e iOS, para que os usuários possam receber os dados de maneira automática;
- Integrar o dispositivo com sistemas de GPS para que esses avisem os proprietários a respeito da qualidade do ar do local onde estão;

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Ethernet.** Disponível em <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardEthernet>, acessado em: 06/03/2013 (a).

ARDUINO. **Introduction.** Disponível em <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>, acessado em: 12/03/2013 (b).

ARDUINO. **Examples.** Disponível em <http://arduino.cc/en/Tutorial/HomePage?from=Main.LearnArduino>, acessado em: 22/03/2013 (c).

ARDUINO. **Arduino.** Disponível em <http://www.arduino.cc/>, acessado em: 24/03/2013 (d).

ARDUINO. **Arduino.** Disponível em <http://arduino.cc/en/main/software>, acessado em: 10/10/2013 (e).

ATZORI, L.; IERA, A. e MORABITO, G.: **The Internet of Things: A survey.** Elsevier. Vol. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BANZI, M. **Getting Started With Arduino.** Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2009.

BARROS, D. A.; BERTOTI, G. A.: **Vestuário para idosos que alerta o responsável em caso de quedas.** Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, v.36, p. 135. ISSN 1518-9082, 2013.

CASTRO, H. A.; GOUVEIA, N. e CEJUDO, J. A. E.: **Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde.** Revista Brasil Epidemiologia. Vol. 6, Nº 2, p. 135 - 149, 2003.

CERN. **About CERN.** Disponível em <http://home.web.cern.ch/about>, acessado em: 23/03/13.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo de 2011.** Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>, acessado em: 06/03/2013 (a).

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Resumo de Medições da Qualidade do Ar – Data / Estação.** Disponível em http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/php/ar_dados_horarios.php, acessado em 05/11/2013 (b).

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Resumo de Medições da Qualidade do Ar por Estação.** Disponível em http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/php/boletim_por_estacao.php, acessado em 05/11/2013 (c).

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mapa de Qualidade do Ar – Interior e Litoral de São Paulo.** Disponível em

http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/php/mapa_qualidade_interior.php, acessado em 05/11/2013 (d).

CONAMA. **Resolução Conama Nº 005, de 15 de junho de 1989.** Disponível em http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/resolucao_conama_n_005_pronar.pdf, acessado em: 27/02/2013 (a).

CONAMA. **Resolução Conama Nº 3, de 28 de junho de 1990.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>, acessado em: 27/02/2013 (b).

CHART.JS. **Chart.js.** Disponível em <http://www.chartjs.org/>, acessado em: 13/08/2013.

COUNCIL. **Internet of Things: what is it?** Disponível em <http://www.theinternetofthings.eu/internet-of-things-what-is-it%3F>, acessado em: 18/03/2013.

CROCE, M.; VASCONCELOS, D. M.; MANSO, E. R. C. e DUARTE, A. J. S.: **Poluição ambiental e alergia respiratória.** Medicina, Ribeirão Preto. 31, p. 144-153, jan.-mar. 1998.

FIELDING, R. T.: **Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures.** Dissertação (Doctor of Philosophy in Information and Computer Science) - University of California, Irvine, 2000.

FREITAS, C.; BREMNER, S. A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L. A. A. e SALDIVA, P. H. N.: **Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997.** Rev. Saúde Pública. 2004;38(6), p. 751-757.

FREITAS, G. S.: **Dispositivo eletrônico com sensor de distância para auxílio na apresentação de Datashow de documentos em ambiente virtual.** 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2011.

G1. **OMS inclui a poluição na lista dos agentes que provocam câncer.** Disponível em <http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2013/10/oms-inclui-poluicao-na-lista-dos-agentes-que-provocam-cancer.html>, acessado em: 12/11/2013.

GITHUB. **GitHub.** Disponível em <https://github.com/>, acessado em: 10/10/2013.

GOOGLE MAPS. **Google Maps.** Disponível em <http://maps.google.com.br/>, acessado em: 22/03/2013.

HANWEI. **Hanwei.** Disponível em <http://www.hwsensor.com/>, acessado em: 15/10/2013.

HOGAN, B. P. **HTML5 and CSS3: Develop with Tomorrow's Standards Today.** Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2011.

IBM. **What is a Smarter Planet?.** Disponível em <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/overview/ideas/index.html?re=sph>, acessado em: 06/04/2013.

IG. **Poluição atmosférica está entre principais causas do câncer, diz OMS.** Disponível em <http://saude.ig.com.br/2013-10-17/poluicao-atmosferica-esta-entre-principais-causas-do-cancer-diz-oms.html>, acessado em: 12/11/2013.

INÁCIO, M. J.; MAIA, R. D.; NETTO, J. C.; OLIVEIRA, H. R.; SOUZA, T. A.; CASTRO, F. T. C. e MARIA, D. G. S.: **Sistema embarcado baseado em hardware livre com utilização de computação nas nuvens aplicado no monitoramento de ambientes.** Revista Pesquisa & Extensão. ISSN 2236-7160. Vol. 2, n. 1, p. 39 – 43, 2012.

JSON. **Introducing JSON.** Disponível em <http://www.json.org/>, acessado em: 04/06/2013.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P. H. N. e BRAGA, A. L. F.: **Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil.** Rev. Saúde Pública. 2002;36(1), p. 88-94.

MONGODB. **MongoDB.** Disponível em <http://www.mongodb.org/>, acessado em: 30/05/2013 (a).

MONGODB. **BSON Documents.** Disponível em <http://docs.mongodb.org/manual/core/document/>, acessado em: 30/05/2013 (b).

NASCIMENTO, L. F. C.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; MÓDOLO, M. C. C. e CARVALHO, J. A. J.: **Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP.** Rev. Saúde Pública. 2006;40(1), p. 77-82.

OPENSIFT. **OpenShift.** Disponível em <https://www.openshift.com/>, acessado em: 30/05/2013 (a).

OPENSIFT. **OpenShift: Platform as a Service.** Disponível em <https://www.openshift.com/paas>, acessado em: 30/05/2013 (b).

ORACLE. **The History of Java Technology.** Disponível em <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/javahistory-index-198355.html>, acessado em: 23/03/2013 (a).

ORACLE. **Oracle Buys Sun.** Disponível em <http://www.oracle.com/us/corporate/press/018363>, acessado em: 23/03/2013 (b).

ORACLE. **Java - Features & Benefits.** Disponível em <http://www.oracle.com/us/technologies/java/features/index.html>, acessado em: 23/03/2013 (c).

ORACLE. **Java - Introduction.** Disponível em <http://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se7/html/jls-1.html>, acessado em: 23/03/2013 (d).

OREND, KAI: **Analysis and Classification of NoSQL Databases and Evaluation of their Ability to Replace an Object-relational Persistence Layer.** 93 f. Tese de Mestrado. Universidade Técnica de Munique, Munique, Alemanha, 2010.

PEITER, P. e TOBAR, C.: **Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. 14(3), p. 473-485, jul.-set. 1998.

PEREIRA, J. S. J. e CONSULTORIA LEGISLATIVA DA CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Legislação brasileira sobre poluição do ar.** Disponível em http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1542/legislacao_poluicao_ar_jose_per_eira.pdf?sequence=1, acessado em: 27/02/2013.

PORTAL BRASIL. **Poluição.** Disponível em <http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/climas>, acessado em: 19/03/2013.

PROCESSING. **Processing.** Disponível em <http://www.processing.org/>, acessado em: 30/05/2013.

RANGEL, M. C. e CARVALHO, M. F. A.: **Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar.** Química Nova. Vol. 26, No. 2, p. 265-277, 2003.

RAUNIO, B. **The Internet of things.** Stockholm: .SE, 2010.

SEED STUDIO. **Seed Studio.** Disponível em <http://www.seedstudio.com>, acessado em: 30/05/2013 (a).

SEED STUDIO. **Grove - Air Quality Sensor.** Disponível em http://www.seedstudio.com/wiki/Grove_-_Air_Quality_Sensor, acessado em: 30/05/2013 (b).

SEED STUDIO. **Company Info.** Disponível em http://www.seedstudio.com/depot/index.php?main_page=about_us, acessado em: 30/05/2013 (c).

SOUZA, A. J.: **Interface for user-environment interaction using Open Source tools and Internet of Things.** 71 f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Informática com Ênfase em Banco de Dados) - Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, São José dos Campos, 2012 (a).

SOUZA, A. J.; BERTOTI, G. A.: **Arquitetura de Hardware e Software Open Source para o Monitoramento de Enchentes.** Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, v.34, p. 101. ISSN 1518-9082, 2012 (b).

UCKELMANN, D.; HARRISON, M. e MICHAELLES F. **Architecting the Internet of Things.** Berlin: Springer, 2011.

VANZ, A.; MIRLEAN, N. e BAISCH, P.: **Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: uma abordagem geoquímica.** Química Nova. Vol. 26, No. 1, p. 25-29, 2003.

VON HIPPEL, E. A. e VON KROGH, G.: **Open Source Software and the 'Private-Collective' Innovation Model: Issues for Organization Science.** MIT Sloan Research Paper No. 4739-09, 2009.

W3C. **HTML & CSS**. Disponível em <http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>, acessado em: 18/03/2013 (a).

W3C. **A history of HTML**. Disponível em <http://www.w3.org/People/Raggett/book4/ch02.html>, acessado em: 23/03/2013 (b).

W3C. **The CSS saga**. Disponível em <http://www.w3.org/Style/LieBos2e/history/>, acessado em: 23/03/2013 (c).

W3C. **ABOUT W3C**. Disponível em <http://www.w3.org/Consortium/>, acessado em: 23/03/2013 (d).

W3C. **A Short History of JavaScript**. Disponível em http://www.w3.org/community/webed/wiki/A_Short_History_of_JavaScript, acessado em: 13/08/2013 (e).

W3C. **W3C**. Disponível em <http://www.w3.org/>, acessado em: 12/11/2013 (f).

XIVELY. **Xively**. Disponível em <https://xively.com/>, acessado em: 06/03/2013 (a).

XIVELY. **About**. Disponível em https://xively.com/about_us, acessado em: 24/03/2013 (b).

XIVELY. **How it works**. Disponível em https://xively.com/how_it_works, acessado em: 24/03/2013 (c).

XIVELY. **What is Xively?**. Disponível em https://xively.com/whats_xively/, acessado em: 28/09/2013 (d).