

Proposta de Utilização de uma Rede de Sensores sem Fio para Geração de Dados visando auxiliar na Determinação da Qualidade de Vida em uma Região

Luis H. Forchesatto¹, Sidnei R. Silveira², Edison P. de Freitas³

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Campus de Frederico Westphalen – Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Campus de Frederico Westphalen – Departamento de Tecnologia da Informação

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Departamento de Computação Aplicada

*luis_forchesatto@hotmail.com, sidneirenato.silveira@gmail.com,
edison.p.freitas@ufsm.br*

Abstract. *Advances in technology made information technology and wireless communication be part of the ordinary agenda and no longer to the technical one, directly impacting the people quality of life. An example of this impact is the use of small devices, known as sensor nodes, for measuring environmental variables in order to provide people awareness about the surrounding environment. From the data collected by these sensors, it is possible to estimate how much a given area may or may not harm the health of the population around it and assist in better implementation of public health policies in a preventive manner, anticipating problems caused by environmental impact in humans.*

Keywords: *Wireless sensor networks, wireless communication, quality of life.*

Resumo. *Com o avanço da tecnologia, a informática e a comunicação sem fio deixaram de ser assuntos apenas da área de tecnologia e passaram a impactar diretamente na qualidade de vida das pessoas. Exemplo desse impacto é a utilização de pequenos equipamentos, denominados sensores, para a medição de variáveis do ambiente, de modo a proporcionar às pessoas mais conhecimento acerca do ambiente que os rodeia. A partir dos dados colhidos por estes sensores, pode-se estimar o quanto determinada área pode ou não prejudicar a saúde da população e auxiliar na melhor implementação de políticas de saúde pública de forma preventiva, antecipando problemas causados pelo impacto do ambiente no ser humano.*

Palavras-chave: *Redes de Sensores sem Fio, Comunicação Sem Fio, Qualidade de Vida.*

1. Introdução

Uma cidade inteligente é uma cidade onde as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), também referenciadas como sinônimo de Tecnologia da Informação (TI), são mescladas com a já existente infraestrutura urbana. Essa mescla possibilita que as pessoas que vivem nestas cidades, bem como empresas e governos, interajam com a de maneira a aumentar a sua eficiência na realização de tarefas que vão desde o simples deslocamento em meio ao tráfego urbano até o planejamento de sua infraestrutura para crescer de maneira sustentável (NEVES, 2015).

Como há muitos sensores pequenos que podem ser utilizados em cidades, estes podem ser fixados em praticamente qualquer lugar, e podem ser distribuídos em larga escala. Acoplados às lâmpadas dos postes, colocados em pequenas caixas dispostas em locais públicos, junto ao ponto de espera dos pedestres no semáforo, ou seja, praticamente todo e qualquer local pode abrigar um sensor. As medições que estes sensores podem realizar também possuem uma grande variedade, por exemplo: temperatura, umidade, luz, som, quantidade de carros passando por uma via e a sua velocidade (para determinar se existe engarrafamento), número de pedestres e até mesmo as lixeiras que estiverem cheias, otimizando a coleta de lixo (NEVES, 2015).

Um exemplo de bastante impacto na qualidade de vida são os projetos que visam melhorar a mobilidade urbana. Sensores são colocados de maneira a observar o fluxo de veículos e pedestres em ruas e calçadas pelas cidades e ajudam a decidir a melhor forma de fazer fluir o tráfego naquela região. Por meio destes sensores é possível determinar qual a melhor forma de escoar a quantidade de carros que lotam as vias públicas e em quais locais devem ser feitos maiores investimentos em infraestrutura, de modo a evitar o desgaste prematuro das vias (UNRIC, 2015).

Os sensores podem ser utilizados também nos setores de transportes, utilitários (luz, água, gás), saúde, segurança, esportes, mobilidade urbana, controle de emissões (poluição), dentre tantos outros. Quando os dados gerados por uma rede de sensores são observados de forma conjunta, tem-se uma imagem mais ampla e completa da situação atual de uma cidade em relação ao determinado fenômeno ou aspecto relacionado aos dados colhidos pelos sensores. De acordo uma pesquisa divulgada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2014, 54% da população mundial vivia em áreas urbanas; em 2050 este número chegará à 66%. Quando se combina o fenômeno do crescimento populacional com o de urbanização tem-se megacidades que necessitam de recursos, muitas vezes limitados, como água, energia e alimentos. Não raro essas megacidades enfrentam problemas de racionamento devido à alta demanda e desperdício gerado pela má gestão dos recursos, gerando a necessidade de se implementar uma forma eficaz de gerir o que se tem à disposição para evitar o agravamento do problema do superpovoamento. A qualidade de vida nesses centros urbanos depende do sucesso em criar cidades inteligentes para a população (UNRIC, 2015).

Outro benefício desse tipo de tecnologia é a possibilidade de os usuários terem acesso a todas essas informações a qualquer momento, por meio de um aplicativo no celular ou acessando através de uma página na Internet. Dados que antes eram difíceis de serem obtidos agora podem ser acessados livremente, em tempo real. Isso tudo contribui para a oferta de serviços públicos cada vez mais inteligentes e otimizados,

além de incentivar desenvolvedores a criarem novas formas de interpretar esses dados e dar a eles novas utilizações, como a que é proposta neste trabalho (NEVES, 2015).

Com esses aspectos em mente, foi desenvolvida uma rede de sensores sem fio em um ambiente simulado para gerar e armazenar dados referentes à temperatura, poluição do ar, poluição sonora e umidade relativa do ar. Os sensores (também chamados de nós) foram posicionados sobre um mapa da cidade de Frederico Westphalen – RS, nas áreas mais populosas, para captar os dados e transmitir eles para um sensor específico que tem a função de conectar com o banco de dados e armazenar as leituras. As informações “coletadas” pelos sensores, tendo em vista que foram geradas dentro de um ambiente simulado, são fictícias, sendo utilizadas para poder demonstrar a viabilidade deste trabalho. Com esses dados devidamente armazenados e prontos para consulta, empregamos uma ferramenta de visualização de dados para poder consulta-los e disponibilizá-los em uma interface *web*, contendo um mapa as localidades onde os dados foram colhidos e os dados em si. Com isso, torna-se possível um melhor conhecimento das áreas onde a saúde pública é mais afetada pelo meio ambiente e onde a administração municipal deve, por exemplo, implementar políticas de saúde pública ou promover uma melhor fiscalização do local para apurar a causa do aumento da poluição da atmosfera, por exemplo.

Nesse contexto, este trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta um breve referencial teórico, fundamentando os conceitos de redes de sensores sem fio, cidades inteligentes e computação ubíqua. Na seção 3 apresentamos o estado da arte, por meio do estudo de trabalhos com propostas similares. Na seção 4 apresentamos a rede implementada, bem como a ferramenta de visualização de dados já configurada. Finalizando o trabalho são apresentadas as considerações finais e as referências utilizadas.

2. Referencial Teórico

Esta seção apresenta um breve referencial teórico sobre as áreas envolvidas no desenvolvimento deste trabalho, destacando-se os conceitos de cidades inteligentes (*smart cities*), Internet das coisas (*Internet of things*), redes de sensores, seu papel na melhoria da qualidade de vida do ser humano e vincula tudo isso à utilização da tecnologia na melhoria da qualidade de vida. Destaca-se ainda neste trabalho como a informática e seus avanços podem auxiliar na melhoria da qualidade de vida do ser humano, fornecendo ferramentas que nos ajudam a perceber no ambiente fatores que colaboram para a deterioração da saúde física e mental do ser humano. Alguns tipos de poluição que não deixam resíduos e só são percebidos por um sentido (poluição sonora) e por isso são comumente subestimadas a ponto de serem ignoradas. Entretanto, seus efeitos são cumulativos e podem resultar em sequelas quando o ambiente fornece uma exposição prolongada. A perda gradativa da audição é uma delas.

2.1 A Computação Móvel e Ubíqua

A computação móvel e ubíqua (computação onipresente) surgiu devido à miniaturização dos dispositivos e da conectividade sem fio. De modo geral, a computação móvel

ocupa-se da exploração da conexão de dispositivos que se movimentam no mundo físico cotidiano; a computação ubíqua diz respeito à exploração da integração cada vez maior dos dispositivos da computação com nosso mundo físico. À medida que os equipamentos se tornam menores, fica mais fácil levá-los conosco ou vesti-los, e podemos incorporá-los em muitas partes do mundo físico – e não apenas no já comum *desktop* ou no *rack* de um servidor. À medida que a conectividade sem fio se torna predominante, podemos conectar melhor esses novos e pequenos dispositivos uns com os outros, com computadores pessoais e com servidores convencionais (COULOURIS, et al. 2013). Estes conceitos foram utilizados para desenvolver a rede de sensores sem fio. Aqui os sensores da rede atuam como pequenos computadores que coletam dados do meio ambiente e os enviam para armazenamento, tornando a integração entre a infraestrutura física da cidade e a computação ainda maior.

2.2 Redes de Sensores e suas Utilizações

Com o avanço na área do microprocessamento novos sistemas eletrônicos têm sido desenvolvidos com tamanho reduzido. Juntamente com isso tem-se o avanço da comunicação sem fio, tornando os dispositivos cada vez mais conectados sem a necessidade de cabos. Somando estes dois avanços, surgem os sensores: chips com capacidade de processamento, interface de rede sem fio e sensores para medir variáveis do ambiente. As redes formadas por estes sensores diferem-se das redes tradicionais por terem capacidade de energia, processamento e armazenamento limitadas, mas juntos tornam-se uma importante ferramenta para observar eventos ou medir fenômenos de interesse do observador (LOUREIRO, et al., 2015).

Segundo Loureiro et. al. (2003), já existiam, em 2003, alguns exemplos práticos do uso de redes de sensores sem fio (RSSF's) em aplicações variadas, tais como:

- Produção Industrial: monitoramento de indústrias petroquímicas, fábricas, refinarias, siderúrgicas. Aqui as redes monitoram parâmetros como fluxo, pressão e temperatura, além de identificar problemas como vazamento e superaquecimento;
- Distribuição de Energia, Gás e Água: monitoramento de linhas de distribuição de energia, gás e água, identificando quedas no fornecimento do serviço através de medições de fluxo, pressão, temperatura e nível;
- Áreas Industriais: monitoramento de dados em áreas de difícil acesso para o ser humano ou em locais onde as condições de acesso oferecem perigo para a saúde ou integridade física;
- Extração de Petróleo e Gás: aqui o monitoramento do ambiente é crítico, pois uma falha ou uma flutuação nos parâmetros pode resultar em um desastre ambiental.

Callaway (2013) ainda cita outros exemplos da utilização de redes de sensores sem fio:

- automação residencial: como exemplo universal tem-se o controle remoto;

- aplicações militares: monitoramento de fronteiras, tarefa antigamente feita por seres humanos agora é feita por sensores.

Ainda segundo Loureiro et. al. (2003), redes de sensores tendem a executar tarefas de modo colaborativo. Os objetivos de uma RSSF dependem do tipo de aplicação, mas existem algumas atividades que comumente são desempenhadas por qualquer rede de sensores:

- Determinar o valor de algum parâmetro em um dado local: coletar variáveis de um ambiente é o exemplo mais comum da utilização de sensores. Essas variáveis podem ser a umidade local, direção e velocidade do vento, valor da pressão atmosférica, quantidade de luz emitida pela cidade em determinado local e o nível de ruído produzido;

- Detectar a ocorrência de determinado evento e, com base nisso, estimar valores e parâmetros, como por exemplo, em uma aplicação de controle de tráfego pode-se desejar estimar a quantidade/porcentagem de veículos de carga que passam em determinada rodovia, estimando assim a vida útil do asfalto, a necessidade de fiscalização de mercadorias mais rigorosa, ou então a inviabilidade de construir uma ponte que passe por cima desta rodovia;

- Classificar um objeto selecionado: ainda tendo-se como exemplo uma aplicação de controle de tráfego, determinar se o veículo que está passando é carro, moto, caminhão, se o caminhão está com volume de carga acima do permitido, entre outros aspectos;

- Rastrear um objeto: utilizado mais comumente em aplicações biológicas, os sensores podem ser utilizados para monitorar organismos, como a monitoração da migração das baleias.

Para Lopes e Fonseca (2015), uma das experiências internacionais pioneiras na utilização de redes de sensores e cidades inteligentes é a cidade de Santander, na Espanha. Em 2010, a administração da cidade decidiu implantar 12 mil sensores nas ruas da cidade e em equipamentos municipais como lixeiras, luminárias e ônibus. Os sensores captam dados relacionados à quantidade de pessoas trafegando em determinada calçada, a quantidade de veículos que passam nas ruas, a umidade relativa do ar e o nível de poluição atmosférica. Os dados são enviados para um laboratório onde são tratados e posteriormente disponibilizados para quem tiver interesse. Os sensores de lixo, por exemplo, identificam e informam quais lixeiras estão no limite da capacidade e precisam ser esvaziadas; o sistema ordena a redução da luz em locais com pouco ou nenhum tráfego de pedestres, e religa as luzes caso alguém esteja passando pelo local; irrigadores são acionados quando a umidade relativa do ar fica abaixo do considerado saudável; quando a poluição atmosférica e sonora atingem os limites estabelecidos um alerta é disparado; sensores captam o barulho de ambulâncias e abrem o sinal para elas passarem; os cidadãos, pelos celulares, encontram vagas para estacionar os veículos, reduzindo o gasto de combustível na procura por uma vaga.

2.3 Características das Redes de Sensores sem Fio

De acordo com Moreira (2006), os nós que compõem a rede de sensores geralmente possuem bateria com capacidade limitada e recursos energéticos limitados, sendo bastante difícil e impraticável o processo de recarga de um ou mais nós. Para que se possa conseguir um baixo custo e tamanho reduzido dos sensores, eles são fortemente limitados em capacidade de processamento, memória, energia, além de possuírem antenas reduzidas com propagação das ondas de rádio em uma área relativamente pequena. Com todas essas limitações e o ambiente normalmente hostil os cercando, os nós de uma rede de sensores podem falhar, e isso ocorre com certa frequência. Entretanto, com uma rede formada por um grande número de sensores e algoritmos de roteamento bastante otimizados, essas falhas podem ser superadas sem maiores transtornos até certo limite.

Embora as características de uma rede de sensores variem conforme a sua aplicação, existem algumas características “globais” de todas elas (MOREIRA, 2006):

- a) Terminologia: os elementos principais da rede são os nós sensores (ou simplesmente sensores), o observador e o fenômeno;
- b) Endereçamento: os sensores podem ter endereços únicos ou não. Em casos onde um sensor é instalado em um organismo, a informação não pode ser confundida com a de outro organismo, sendo necessário o sensor possuir um endereçamento único. Já em casos onde o sensor monitora uma variável em determinado local este não precisa ter um endereçamento único;
- c) Agregação dos Dados: caso essa funcionalidade seja implementada, a quantidade de dados que precisa ser transmitida pela rede diminui, uma vez que os sensores fazem a organização dos dados e sumarização destes;
- d) Mobilidade dos sensores: os sensores podem ser fixos ou móveis. Sensores fixos são utilizados, por exemplo, para medir a umidade relativa do ar em uma floresta; sensores móveis são utilizados, por exemplo, para medir o grau de poluição do oceano (os sensores são jogados no oceano e as correntes marítimas os levam). Outros tipos de sensores móveis que podem ser citados são aqueles que têm controle sobre o seu movimento, como por exemplo, câmeras de vídeo instaladas em plataformas móveis, como Veículos Aéreos Não Tripulados, que realizam patrulhamento de área de acordo com padrões de movimento preestabelecidos;
- e) Cobertura extensa: além de ter uma cobertura flexível, as redes de sensores podem abranger uma área bem maior que as redes sem fio convencionais ou cabeadas, devido ao uso de tecnologias de transmissão de dados sem fio entre os sensores e aos algoritmos de roteamento, que organizam a rede dinamicamente;
- f) Facilidade de Instalação: os sensores podem ser instalados em locais que vão desde áreas hostis até locais com pouca ou nenhuma infraestrutura;
- g) Auto-organização da rede: os sensores podem vir a ficar indisponíveis por conta de falta de energia ou, então, pela destruição física dos dispositivos. Eles também podem ficar incomunicáveis devido à interferência externa ou interna. O inverso também pode ocorrer: um sensor inativo ficar ativo ou, então, novos

sensores serem adicionados na rede. Em qualquer um dos casos a rede precisa dispor de formas de se auto-organizar para manter sua operabilidade, isso sem a intervenção humana. Em outras palavras, sensores, embora nós individuais, devem ser capazes de se organizarem entre si de forma a realizar as operações de que a rede necessita para se manter funcionando;

h) Tarefas colaborativas: os nós da rede desempenham suas tarefas de modo a colaborar uns com os outros;

i) Capacidade de responder a consultas: os nós precisam ter a capacidade de responder a consultas realizadas pelo observador. A mera medição e armazenamento não atende ao propósito da rede.

3. Estado da Arte

Nesta seção do trabalho será apresentado um comparativo entre o que foi desenvolvido neste trabalho e outros trabalhos com propostas semelhantes. Como foram encontradas várias aplicações envolvendo redes de sensores e cidades inteligentes, enfatizamos as propostas que mais se aproximam ao trabalho desenvolvido.

3.1 *CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care*

O uso de sensoriamento sem fio tem um leque de aplicações amplo dentro da Medicina. Utilizando-se de pequenos sensores pode-se saber o nível de oxigênio, batimentos cardíacos, CO₂ presente no sangue, dentre outros aspectos. Hoje em dia, face ao aumento do risco de ataques terroristas voltados aos civis, casos onde uma grande quantidade de indivíduos são afetados podem facilmente superlotar hospitais e centros de tratamento, comprometendo o atendimento. Sem uma forma apropriada de gerenciar e alojar recursos para atender à demanda, esses serviços podem facilmente falhar ou congelar totalmente, impedindo o atendimento (MALAN et. al., 2004).

Neste contexto, redes de sensores sem fio fornecem meios de gerenciar as necessidades de atendimentos dos indivíduos e a capacidade das instituições de saúde. Quando um grande número de pessoas necessitam de atendimento, a regra é dar prioridade para casos mais graves que mais necessitam intervenção cirúrgica, por exemplo. Para alcançar esse objetivo, centros de atendimento podem distribuir sensores sem fio para monitorar os sinais vitais da população e identificar indivíduos que necessitam de atendimento urgente e monitorar o estado de saúde dos demais. Desta forma, um sistema de apoio à decisão coordenaria os esforços para atender os pacientes de modo a otimizar o uso de recursos, dando prioridade aos indivíduos que necessitam de atendimento imediato e aqueles cuja saúde se encontrava inicialmente fora de perigo, mas que foi se deteriorando com o tempo (MALAN et. al., 2004).

Com vista a esse cenário, foi desenvolvido o *CodeBlue*, uma infraestrutura para comunicação de sensores sem fio para ser utilizada em ambientes de cuidados críticos. O *CodeBlue* fornece roteamento, identificação, descoberta de novos nós e segurança pra a rede, integrando diversos tipos de dispositivos de rede sem fio. A proposta é simplificar o desenvolvimento de aplicações na área, fornecendo uma infraestrutura de

alta conectividade entre os dispositivos. Nos centros de atendimento, as informações coletadas pelos sensores podem ser processadas e armazenadas em bancos de dados para posterior consulta (MALAN et. al., 2004).

3.2 Health Monitoring of Civil Infrastructures Using Wireless Sensor Networks

No trabalho apresentado por Kim (Kim et. al., 2015), uma rede de sensores sem fio foi projetada, desenvolvida e implementada na Ponte *Golden Gate*, situada na cidade da Califórnia, Estados Unidos. Vibrações estruturais no ambiente são confiavelmente monitoradas através de sensores instalados no decorrer da ponte e não alteram o seu funcionamento. Na ponte, 64 sensores foram instalados ao longo do seu percurso para coletar vibrações. Monitorar a saúde da estrutura é uma aplicação das redes de sensores sem fio, que permite estimar o estado da estrutura e antecipar problemas em sua estrutura. A ideia é determinar como a estrutura responde tanto a abalos sísmicos quanto à tensão provocada pelo vento.

Este trabalho trouxe três grandes contribuições na área de redes de sensores sem fio para monitorar as condições de uma infraestrutura física (KIM et. al., 2015):

- identificou requisitos e retornou informações de alta relevância para pesquisadores da área de Engenharia Civil;
- implementou um sistema escalável, que monitora problemas reais que ocorrem no mundo;
- por meio do monitoramento da ponte é possível prever uma série de problemas de infraestrutura antes que estes ocorram.

Além destes aspectos, uma rede de sensores sem fio é uma alternativa mais barata que os métodos convencionais de monitoramento, pois além de ser flexível, mede em tempo real e em vários pontos a resposta da ponte ao ambiente (KIM et. al., 2015).

3.3 Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring

No trabalho proposto por Mainwaring (Mainwaring et. al., 2015), foi desenvolvido um profundo estudo a respeito do monitoramento de um habitat à medida que o ser humano intervém nele. Monitorar um habitat e/ou ambiente é uma das inúmeras aplicações das redes de sensores sem fio e pesquisadores têm ficado preocupados com o impacto que o ser humano vem causando, o que motivou o desenvolvimento deste trabalho. Tendo isso em vista, foi desenvolvida uma rede com 32 sensores sem fio para monitorar uma ilha.

Nesta ilha, tanto a fauna quanto a flora são monitorados e as informações coletadas pelos sensores são enviadas via Internet e armazenadas para posterior consulta. É esperado que a presença humana altere os padrões de comportamento dos seres vivos da ilha e a grande preocupação é que esta alteração venha a extinguir alguma forma de vida. Enquanto os efeitos são mais perceptíveis nos animais, plantas sofrem com as mais sutis variações do ambiente, como o pisotear de pesquisadores.

A rede consiste em sensores que coletam dados do ambiente ao seu redor ou sobre o fenômeno de interesse e os transmitem para sensores que, por sua vez, os retransmitem para o seu destino. Individualmente os sensores organizam-se entre si para poder se comunicar e transmitir as leituras, formando uma rede. Os dados são enviados para um sensor *gateway* que possui conectividade com a Internet e pode fazer a submissão dos dados recebidos. Como a distância entre os sensores é grande, foi utilizada a comunicação sem fio. Depois de entregues os sensores ao ambiente, biólogos primeiramente confirmaram a precisão dos dados coletados. Foram notadas inicialmente anormalidades nas leituras informadas pelos nós, mas em todos os casos uma breve investigação mostrou que os dados realmente se referiam à alterações no ambiente, confirmando o que foi reportado (MAINWARING et. al., 2015).

3.4 Comparativo entre os Trabalhos

O quadro 1 apresenta um comparativo entre este trabalho e os trabalhos apresentados nesta seção.

Trabalho	Finalidade	Ambiente monitorado	Forma de visualização dos dados	Forma de implementação da rede
<i>CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care</i> (MALAN et. Al., 2004)	Propor uma infraestrutura com base na rede de sensores sem fio	Ambiente hospitalar e/ou locais de atendimentos para necessitados	Não é abordada no trabalho	Apenas projetada, não implementada fisicamente ou por meio de simulação
<i>Health Monitoring of Civil Infrastructures Using Wireless Sensor Networks</i> (KIM et. al., 2015)	Monitorar uma infraestrutura civil	Construção Civil	Dados ficam em um banco para posterior consulta.	Aquisição do material e implementação real
<i>Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring</i> (MAINWARING et. al., 2015)	Monitorar um habitat ainda não povoado pelo ser humano	Ilha não povoada	Dados ficam em um banco de dados para posterior consulta	Implementação real em um ambiente remoto
Proposta de Utilização de uma Rede de Sensores sem Fio para Geração de Dados visando auxiliar na Determinação da Qualidade de Vida de uma Região	Propor uma rede de sensores para monitorar um ambiente urbano	Ambiente urbano	Exibido em uma página web por meio de uma ferramenta de visualização de dados	Todos os aspectos da rede são simulados

Quadro 1 - Comparativo entre os trabalhos (Fonte: Dos Autores)

Após a análise dos trabalhos estudados, foram estudadas as semelhanças entre eles e o trabalho desenvolvido. Pode-se perceber que todos utilizam sensores ou uma rede de sensores como alternativa acessível para monitoramento de um ou mais eventos em particular. No entanto, todos focam seu funcionamento na obtenção dos dados do ambiente e armazená-los para posterior consulta, não se preocupando em disponibilizá-los para usuários fazerem uso. Outro ponto que merece ser destacado é o fato destes trabalhos monitorarem apenas um evento ou ambiente específico, delimitando a área de atuação dos sensores. No desenvolvimento deste trabalho, não só foi dada ênfase em tornar os dados legíveis para o usuário, como a área de cobertura dos sensores envolve boa parte da cidade de Frederico Westphalen – RS.

4. Solução Implementada

Este trabalho envolveu o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio em um ambiente simulado, dispostos em um ambiente urbano. A partir da simulação, foram gerados e colhidos dados a respeito da temperatura, umidade relativa do ar, nível de poluição do ar (presença de gás carbônico na atmosfera) e nível de poluição sonora. Como se trata de um ambiente simulado, os dados gerados pelos sensores são fictícios e não correspondem à realidade, sendo apenas tomado o cuidado de que a simulação gerasse dados mais realistas possíveis. Para tanto, delimitamos o intervalo de valores que são utilizados para gerar os dados, além de implementar uma escolha randômica entre estes valores, na função que gera os dados.

Uma vez gerado o dado por um sensor, esse o transmite por meio dos demais sensores até chegar a um nó específico da rede, o qual tem a função de se conectar com o banco de dados e armazenar os dados recebidos para posterior análise. Após coletados os dados, foi utilizada uma ferramenta de visualização de dados para ler esse banco e expor os dados em um mapa de uma maneira que ficasse de fácil compreensão. Dessa maneira, o público que não possui conhecimentos sobre redes de sensores ou bancos de dados ainda assim poderá compreender o significado dos dados.

De uma maneira geral, as etapas do desenvolvimento deste trabalho foram as seguintes:

- definição dos critérios para a simulação;
- escolha do simulador;
- escolha das variáveis a serem medidas;
- definição de como os dados serão gerados e transmitidos;
- definição de como os dados serão armazenados;
- escolha da ferramenta de visualização de dados;
- implementação da rede;
- configuração da ferramenta de visualização de dados.

Nas subseções seguintes detalharemos melhor as tarefas desempenhadas durante este trabalho.

4.1 Critérios Básicos da Rede

Parte fundamental desse trabalho envolve a existência de uma rede de sensores real para gerar os dados. Infelizmente, o planejamento e implementação física desta rede extrapolam os limites deste trabalho, que se limita à construção de uma rede lógica. Estes aspectos, portanto, não foram abordados durante a elaboração deste trabalho. Sendo assim, no lugar de efetivamente planejar e construir uma rede física, optamos por criar um ambiente simulado.

Com a utilização do simulador, reduziram-se os custos e dispensaram-se investimentos em infraestrutura (compra de sensores, instalação, etc...), proporcionando maior flexibilidade para reestruturar a rede de modo a atender às necessidades do trabalho. Reconfigurar e/ou reposicionar um sensor da rede fica muito mais fácil dentro de um ambiente simulado do que em um ambiente real. Dado o caráter demonstrativo da rede, ela não tomou grandes proporções, sendo uma rede de pequena escala apenas para demonstrar a importância e viabilidade do projeto. O tamanho reduzido da rede também facilita a visualização do resultado final do trabalho.

4.2 Os Critérios para Classificação dos Dados

Para poder exibir e informar quanto determinado local pode ser prejudicial à saúde, é necessário classificar os dados. Para isso, neste trabalho consideramos apenas os padrões de tolerância e/ou danos que o corpo humano sofre decorrentes de exposição a determinados valores dos índices coletados. Indivíduos que informem ser mais tolerantes ou estarem mais “acostumados” a um nível maior de ruído, por exemplo, não foram levados em consideração, visto que estariam fugindo da regra, comprometendo a classificação. Desta forma, nas subseções seguintes serão mostrados os quadros com as classificações de cada índice coletado.

4.2.1 Nível de poluição (presença de monóxido de carbono na atmosfera)

De acordo com a Worldwide Air Quality (2015), os níveis de monóxido de carbono podem variar de 0 até 300 partículas de matéria de até 2.5 micrômetros de diâmetro (PM_{2.5}), dependendo do local onde é feita a medição. Entretanto, níveis acima de 200 já são considerados uma ameaça à saúde e caracterizam situação de grave perigo público. Níveis acima de 300 também são possíveis, no entanto não são obtidos medindo a poluição do ar, mas sim, a poluição emanada de escapamentos ou chaminés. O quadro 2 mostra os níveis de poluição e seus graus de periculosidade.

<i>Poluição</i>	<i>Nível</i>	<i>Implicações na saúde</i>
0 – 50	Bom	Qualidade considerada satisfatória. Pouco ou nenhum risco à saúde
51 – 100	Moderado	Qualidade aceitável, mas indivíduos mais sensíveis ou alérgicos podem sofrer desconfortos
101 - 150	Prejudicial para certos grupos	Indivíduos mais sensíveis experimentarão problemas mais severos. O público em geral não é afetado
151 - 200	Prejudicial	Todos podem desenvolver problemas de saúde. Indivíduos mais sensíveis desenvolverão problemas mais sérios
202 - 300	Muito prejudicial	Alerta de saúde. Toda a população é fortemente afetada
300+	Perigoso	Situação de emergência. Os riscos à saúde são graves, podendo levar a óbito em poucas horas

Quadro 2 - Índice de Qualidade do Ar (Fonte: World Wide Air Quality, 2015)

Como pode ser visto no Quadro 2, as duas últimas medidas (quando os índices ultrapassam 200PM_{2,5}) são dois extremos onde o risco para a saúde é grave. Sendo assim, na simulação o sensor que lê o nível de poluição conta com *hardware* capaz de ler valores entre 0 e 200. Ao atingir 200PM_{2,5} a ferramenta de visualização de dados apenas reporta como severo os efeitos danosos à saúde.

4.2.2 Temperatura

De acordo com Boduch e Fincher (2009), a temperatura é o fator principal de determinação do nível de conforto experimentado pelo ser humano em um ambiente. O corpo humano normalmente opera em um intervalo de temperatura muito mais estreito do que o ambiente, nos dando pouca flexibilidade. Durante seu funcionamento, o corpo produz calor que precisa ser irradiado/dissipado para o ambiente de modo a manter uma temperatura constante ideal. Se o ambiente estiver muito aquecido, o processo de resfriamento do corpo torna-se mais trabalhoso e passamos a superaquecer e nos sentir com calor. De outro modo, se a temperatura do ambiente estiver muito abaixo, comparado com o corpo, o ritmo de perda de calor se acentua e passamos a ficar desconfortáveis por conta do frio. O Quadro 3 demonstra quais os índices de temperatura que mais causam desconforto.

<i>C°</i>	<i>Nível</i>
<22	Desconfortável
22 – 24	Intermediário
24 – 28	Confortável
28 – 30	Intermediário
>30	Desconfortável

Quadro 3 - Níveis de temperatura (Fonte: Adaptado de BODUCH; FINCHER, 2009)

Quando temperaturas de diferentes superfícies como a pele do corpo e uma mesa são muito distintas, temos a sensação de desconforto. Quando nos aproximamos ou nos encostamos nessa superfície temos a sensação de “receber” calor ou frio dela. O mesmo

pode se aplicar quando adentramos um ambiente com temperatura do ar diferente da temperatura do corpo (BODUCH; FINCHER, 2009).

4.2.3 Umidade relativa do ar

Enquanto temperatura é um item que influencia muito na sensação de (des)conforto, vários outros fatores também influenciam. Em conjunto com a temperatura, a umidade relativa do ar possui papel fundamental no que diz respeito a proporcionar um ambiente agradável para o indivíduo (BODUCH; FINCHER, 2009).

De acordo com o *Healthy Heating* (2015), o nível adequado de umidade relativa do ar fica entre 30 e 60%, sendo qualquer valor que se distancie deste intervalo prejudicial à saúde. Conforme os dados apresentados no Quadro 4, podemos ver mais claramente os níveis de umidade.

<i>Porcentagem</i>	<i>Nível</i>
<30	Baixo
30 – 50	Moderado
50 – 70	Ideal
70 – 80	Moderado
>80	Acima

Quadro 4- Nível de umidade relativa do ar
(Fonte: adaptado de *Healthy Heating*, 2015)

Conforme visualizado no Quadro 4, níveis de umidade que distanciem do intervalo 50 – 70% proporcionam desconforto ao indivíduo. Baixos níveis de umidade operam contra o processo de resfriamento do corpo através do suor e deixam o corpo propenso a superaquecer. Do contrário, altos níveis de umidade contribuem para resfriar o corpo além do necessário, provocando a sensação de frio (BODUCH; FINCHER, 2009).

4.2.4 Poluição sonora

Segundo o *Hearing Link* (2015), os níveis de poluição sonora, medidas em decibéis (dB), variam normalmente de 0 a 140db, podendo atingir valores maiores em raras ocasiões. Para esta medição, quanto menor a presença de ruído no ambiente, mais confortável o indivíduo se sentirá, como mostra o Quadro 5.

<i>dB</i>	<i>Nível</i>
0 – 40	Ideal
40 – 50	Baixo
50 – 60	Moderado
60 – 75	Alto
75+	Muito alto

Quadro 5 - Níveis de poluição Sonora (Fonte: *Hearing Link*, 2015)

O aparelho auditivo do ser humano no geral capta sons tão quietos quanto 0 decibéis e aos 130 decibéis geralmente é onde o ruído passa a provocar dores nas orelhas. No decorrer da vida, no entanto, tendemos a perder a sensibilidade auditiva (BODUCH; FINCHER, 2009). Para este trabalho, foram considerados apenas os valores médios da população apresentados no Quadro 5, descartando os extremos.

4.3 O Simulador

A escolha do simulador foi realizada com base em testes e avaliações de usuários em fóruns. Os testes foram realizados tanto em simuladores gratuitos quanto em pagos, dando a preferência pela utilização de programas gratuitos e com interface gráfica. Para os pagos, foram testados somente os que permitiam testar a ferramenta gratuitamente. Após esta análise, concluiu-se que o simulador *Omnet++ 4* proporcionava alguns aspectos que foram decisivos na sua escolha, dentre eles (YU, 2015):

- Interface gráfica completa: possibilita o desenvolvimento do código fonte, visualização da disposição dos sensores no mapa e funcionamento da rede por meio de uma interface gráfica simples, mas com vários recursos. A possibilidade de acompanhar os *logs* e os pacotes trafegando na rede em uma interface gráfica pesou bastante na escolha deste simulador;
- Código-fonte aberto: isso possibilita um melhor entendimento do funcionamento do simulador. Consequência disso é a maior oferta de manuais e exemplos na internet das funções que o mesmo disponibiliza;
- Gratuito para uso acadêmico: forte fator que o fez ser escolhido. A licença para uso por estudantes é gratuita.

Por estes motivos, optou-se pela escolha do *Omnet++*, o qual foi instalado em um computador com sistema operacional Linux. Os outros simuladores testados foram (YU, 2015):

- *NS-2*: simulador de redes em geral, o que garante versatilidade para o simulador, além de ter suporte a inúmeros protocolos de rede. As características que reprovaram o simulador foi a necessidade de estar familiarizado com linguagem de *scripts* e modelagem. Outra característica foi a interface gráfica pouco desenvolvida: para utilizar o simulador o usuário faz uso de um interpretador de comandos similar ao *prompt* do *Windows* e os resultados são visíveis apenas via *logs*;
- *TOSSIM*: simulador de redes de sensores sem fio. Possui interface gráfica, o que permite ter uma melhor visualização da rede. Entretanto, este simulador foi construído para simular o *TinyOS* (sistema operacional compacto para sensores) e outros protocolos mais recentes, tornando a simulação utilizando protocolos clássicos mais trabalhosa;
- *EmStar*: simulador de redes de sensores sem fio. Possui interface gráfica e opera de forma modular, de modo que fica fácil a visualização dos sensores funcionando. Entretanto, como pontos negativos, destacam-se o fato de o simulador somente executar as simulações em tempo real, o que dificulta a

visualização da rede em funcionamento, e o fato dele não suportar grandes números de simulações, o que reprovou esta ferramenta nas análises prévias.

4.4 Os Sensores e a Cidade empregada na Simulação

Com a grande diversidade de variáveis que podem ser medidas do ambiente, limitar a quantidade de sensores e os tipos de dados que serão lidos é fundamental para tornar o trabalho possível. Como melhor forma de demonstrar o funcionamento do trabalho, foram criados seis tipos de sensores que leem 4 tipos de dados, além de desempenhar outras funções. São eles:

- *temperature*¹: sensor que lê a temperatura do ambiente;
- *humidity*: sensor que lê o nível de umidade do ambiente;
- *noise*: sensor que lê o nível de poluição sonora do ambiente;
- *airCo*: sensor que lê o nível de poluição do ar (quantidade de gás carbônico na atmosfera);
- *defaultSensor*: sensor que lê temperatura, umidade, poluição sonora e poluição do ar;
- *dbSyncSensor*: sensor encarregado de receber as leituras dos demais sensores e armazená-las em um banco de dados.

Cada sensor funciona de forma independente. Cada um é capaz de fazer suas leituras do ambiente e transmitir para o sensor encarregado de salvar os dados no banco. Os sensores também atuam como retransmissores. Assim como em uma rede de computadores, cada sensor é capaz de passar adiante pacotes de dados emitidos por outros sensores para que estes dados cheguem ao seu destino. Importante destacar que os sensores não dão tratamento para os dados que não foram gerados por eles, limitando-se apenas em retransmitir a informação. Estes sensores foram todos colocados no ambiente simulado que corresponde à cidade de Frederico Westphalen – RS, como mostra a Figura 1.

¹ Os nomes dos sensores estão em inglês, bem como as tabelas do banco de dados e os *logs*.

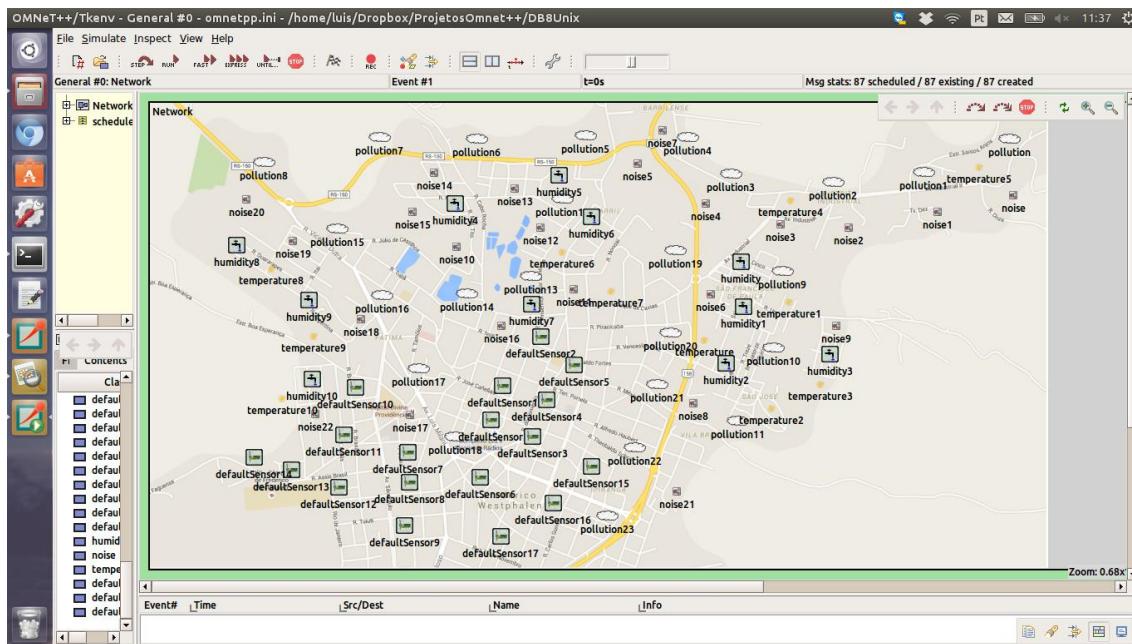


Figura 1 – Sensores posicionados na cidade (Fonte: Dos autores)

Nas áreas mais densamente povoadas, os sensores foram distribuídos de forma a poder extrair o máximo de informações relevantes à utilização da área onde se encontram:

- próximo do Parque de Exposições foram colocados sensores que medem o nível de poluição sonora;
- no Distrito Industrial foram colocados sensores para medir o nível de poluição do ar;
- em vias de grande circulação de veículos foram colocados sensores tanto para medir o nível de poluição sonora quanto de poluição atmosférica;
- sensores de umidade e poluição sonora foram instalados em locais de alta concentração de moradias, visto o impacto da umidade e poluição sonora na qualidade de vida;
- no centro da cidade foram colocados os sensores que medem todas as 4 variáveis (temperatura, umidade, poluição sonora e poluição atmosférica) visto a alta concentração de pessoas e veículos no local.

Como topologia empregada na distribuição dos nodos, foi utilizado o conceito de *multihop* (multiponto), onde um pacote de dado é transmitido diretamente de um nodo para outro sem a necessidade de um roteador, chegando no destino através de “saltos” entre os nós (GONDA, 2015).

Desta forma, as informações retornadas pelos dispositivos são de maior relevância para quem as analisa. Obter leituras mais pertinentes à atividade desenvolvida no local facilita a implantação de políticas de saúde pública pela Administração Municipal e proporciona, aos moradores do local, informações mais relevantes sobre os danos que podem ser causados pelo ambiente onde eles residem.

4.5 A transmissão dos dados pela rede

Conforme comentado na Seção 4.4, os sensores foram dispostos na cidade em uma topologia conhecida como *multihop*, onde os sensores enviam dados entre si sem a necessidade de um roteador ou *access point* intermediando a conexão entre eles. Para isso, conforme detalhado na seção 4.10, cada nodo possui uma interface *wireless* para transmitir os dados via ondas de rádio. Para isso ocorrer, o adaptador de rede *wireless* recebe os dados, estes dados ficam armazenados temporariamente na memória do nodo para serem depois transmitidos pela mesma interface *wireless* que recebeu o pacote, dispensando o uso de múltiplas interfaces sem fio para a comunicação. Desta forma, cada nodo precisa ter apenas uma interface para se comunicar, seja para enviar ou receber pacotes.

Para melhor focar os esforços na ideia proposta pelo trabalho e devido à grande quantidade de nodos, foi optado por implementar uma forma de roteamento estático para os nodos. Desenvolver uma forma dos nodos se auto configurarem e transmitirem os dados de acordo com uma tabela de roteamento dinâmica entre eles seria o cenário ideal e garantiria uma tolerância à falhas, visto que os algoritmos de roteamento dinâmico possuem mecanismos de retransmissão de pacotes em casos de falhas no envio. Esta implementação, no entanto, tiraria o foco da proposta do trabalho e demandaria a implementação na linguagem de programação C++ de um algoritmo de roteamento dinâmico voltado para redes de sensores sem fio. Essa implementação deveria ser embutida nas funcionalidades dos nodos e afastaria o foco das proposta do trabalho, que é a exibição dos dados. Com base nisto, os sensores contam apenas com uma simples funcionalidade de retransmitir os pacotes que chegam neles para o próximo nodo, definido pelo roteamento estático previamente estabelecido, não ocorrendo nenhum processamento ou tomada de decisão por parte dos nodos com relação aos pacotes que chegam neles.

4.6 Os Dados Gerados pelos Sensores

Como todos os sensores da rede se encontram dentro de um ambiente simulado, os dados captados pelos sensores são fictícios. Foi cogitada a possibilidade de se utilizar um banco de dados público, porém estes bancos informam apenas as médias de temperatura de um local, por exemplo. Para este trabalho é necessário que se tenha em mãos a leitura feita pelo sensor, mais especificamente, o valor bruto coletado pelo dispositivo e não submetido a qualquer processamento prévio.

Não estando disponíveis tais dados, optamos por implementar uma forma dos sensores gerarem aleatoriamente os valores para os índices a serem medidos e trabalhar estes valores como sendo valores reais. A Figura 2 mostra a parte do código fonte responsável por gerar os dados dos sensores. Nas linhas 47, 54, 62 e 70 vemos as instruções responsáveis por gerar valores aleatórios. Desta forma, dentro do código-fonte dos sensores no simulador, no lugar de uma chamada de um método que solicita ao *hardware* a leitura, temos uma função que gera um valor aleatório. Este valor é então retornado ao sensor que o pré-processa e o submete pela rede para ser armazenado.

```

46     temperature = rand()% 40 + 1;
47     ev << getFullName() << ": New random number requested. Generated value: \n" << temperature << "\n";
48     if ((std::abs(lastTemp - temperature)) > 5) {
49         ev << getFullName() << ": Generated value surpass threshold and was reported. \n";
50         lastTemp = temperature;
51         doIReport = true;
52     }
53
54     humidity = rand()% 100 + 1;
55     ev << getFullName() << ": New random number requested. Generated value: \n" << humidity << "\n";
56     if ((std::abs(lastAh - humidity)) > 5) {
57         ev << getFullName() << ": Generated value surpass threshold and was reported. \n";
58         lastAh = humidity;
59         doIReport = true;
60     }
61
62     pollution = rand()% 200 + 1;
63     ev << getFullName() << ": New random number requested. Generated value: \n" << pollution << "\n";
64     if ((std::abs(lastCo - pollution)) > 5) {
65         ev << getFullName() << ": Generated value surpass threshold and was reported. \n";
66         lastCo = pollution;
67         doIReport = true;
68     }
69
70     noise = rand()% 100 + 1;
71     ev << getFullName() << ": New random number requested. Generated value: \n" << noise << "\n";
72     if ((std::abs(lastNoise - noise)) > 5) {
73         ev << getFullName() << ": Generated value surpass threshold and was reported. \n";
74         lastNoise = noise;
75         doIReport = true;
76     }
77 }
```

Figura 2 - Código-fonte que gera os dados (Fonte: Dos Autores).

Na Figura 3 temos o código-fonte que cria o pacote com a leitura e o envia pela rede. Nas linhas 81 a 90 temos o pacote de dados sendo criado e nas linhas 94 e 95 temos o envio do mesmo pela rede.

```

81     report *message = new report("Sensor Report");
82
83     source = getFullName();
84     boost::replace_all(source, ".", "_");
85
86     message -> s_sensor_var = source;
87     message -> temperature_var = temperature;
88     message -> humidity_var = humidity;
89     message -> airCo_var = pollution;
90     message -> noise_var = noise;
91
92     ev << getFullName() << ": Generated package and sent to 'OUT' gate. \n";
93
94     send (message, "out");
95     scheduleAt(simTime() + timer, msg);
```

Figura 3 - Parte do código responsável por criar os pacotes com as leituras e enviar pela rede (Fonte: Dos Autores).

As Figuras 4 e 5 mostram a rede em funcionamento (Figura 4) e os *logs* evidenciando o comportamento da rede.

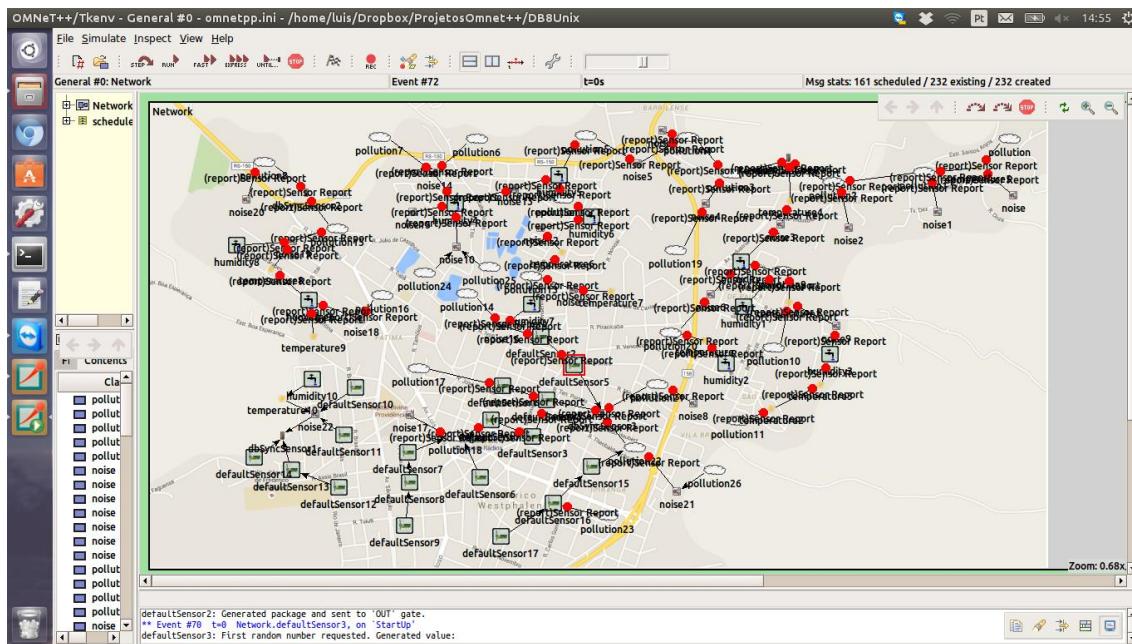


Figura 4 – Imagem da rede em funcionamento gerando os dados (Fonte: Dos Autores)

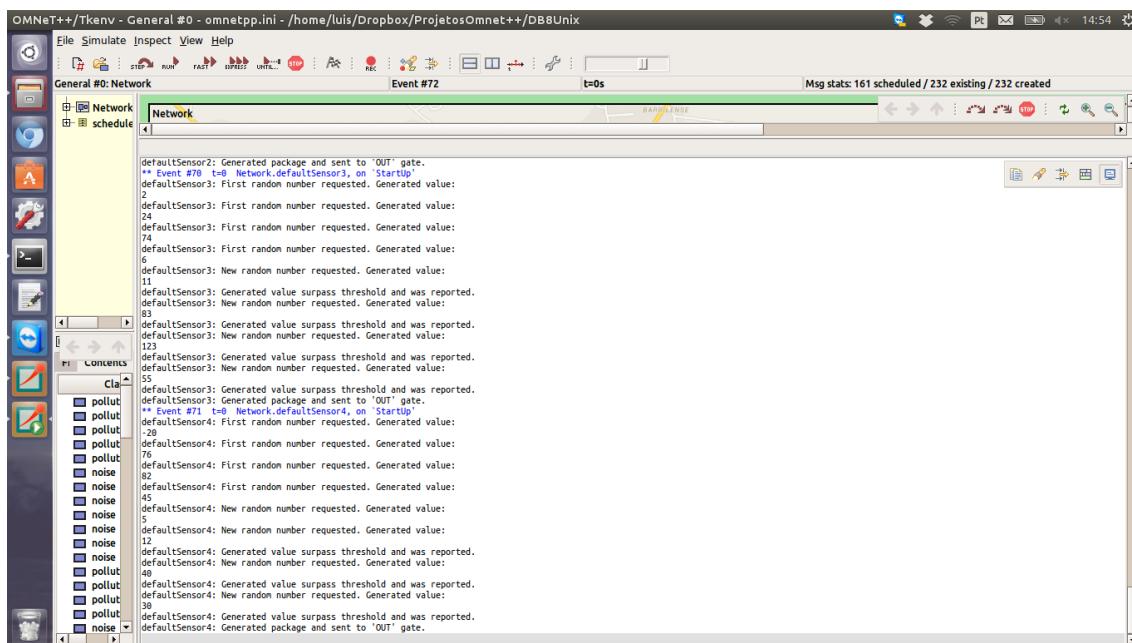


Figura 5 - Logs de eventos (Fonte: Dos Autores)

4.7 A Transmissão e o Armazenamento dos Dados

Uma vez de posse da leitura dos dados, o sensor precisa transmiti-los por meio da rede, para que sejam armazenados em um banco de dados. Isso é feito por meio de conexões sem fio estabelecidas pelos sensores. O sensor “lê” os dados do ambiente e os envia para o sensor mais próximo, que os envia para o seguinte até chegar ao destinatário, o sensor

“*DbSyncSensor*”. Importante deixar claro aqui que os sensores, além de lerem os dados, também atuam como repetidores. Quando uma informação chega aos sensores e precisa ser repassada, os mesmos atuam apenas retransmitindo-a para o próximo sensor, fazendo o armazenamento temporário do pacote quando este chega no nodo e, depois, retransmitindo-o por meio da mesma interface *wireless* pela qual recebeu os dados.

Quando este dado é recebido pelo *dbSyncSensor*, este irá criar uma conexão com o banco de dados e submeter os dados através de uma *query SQL* para que sejam salvos. A *query* contém dados como a leitura realizada e qual o sensor foi responsável por aquela leitura, bem como a data e hora que isso ocorreu². Para o banco de dados, optamos por utilizar os softwares *MySQL* e *PHPMyAdmin* para criar e gerenciar as tabelas. A Figura 6 apresenta o modelo Entidade Relacionamento (ER) do banco de dados e a Figura 7 mostra o código-fonte responsável por conectar com o banco e submeter os dados para serem salvos.

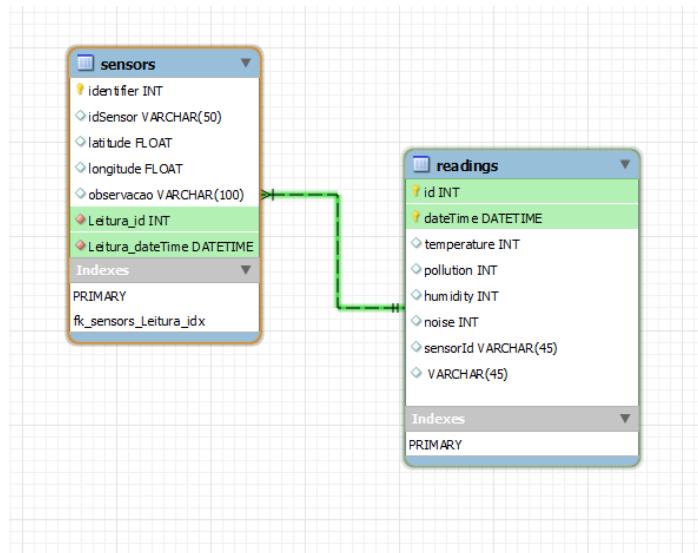


Figura 6 - Modelo ER do banco de dados (Fonte: Dos Autores)

² Aqui é utilizada a data e hora que a informação foi inserida no banco.

```

30 void dbWriteLinux(opp_string source, int temperature, int humidity, int airCo, int noise, string table){
31     sql::Driver *driver;
32     sql::Connection *con;
33     sql::Statement *stmt;
34
35     std::ostringstream sql;
36
37     driver = get_driver_instance();
38
39     ev << "DbWrite: : New message arrived. Establishing connection to MySQL Database...\n";
40     try {
41         con = driver->connect("tcp://localhost:3306", "root", "root");
42     } catch (sql::SQLException e) {
43         ev << "SQL ERROR: Could not get a database driver. Error message: " << e.what() << "\n";
44     }
45
46     ev << "DbWrite: : Connection established, setting database...\n";
47     con->setSchema("redeSensores");
48     ev << "DbWrite: : Database selected. Creating query...\n";
49     stmt = con->createStatement();
50
51     sql << "insert into `readings`";
52     sql << "(`sensorId`, `dateTime`, `temperature`, `humidity`, `pollution`, `noise`)";
53     sql << " value ";
54     sql << "(" << source << "", now(), " << temperature << ", " << humidity << ", " << airCo << ", " << noise << ")";
55
56     ev << "DbWrite: " << sql.str().c_str() << "\n";
57
58     ev << ": Executing query...\n";
59
60     try {
61         stmt->executeQuery(sql.str().c_str());
62     } catch (sql::SQLException e) {
63         ev << "SQL query error: " << e.what() << "\n";
64     }
65
66     ev << "DbWrite: Query executed with no errors.\n";
67
68     delete stmt;
69     delete con;
70
71     ev << "DbWrite: MySQL code terminated successfully.\n";
72
73 }

```

Figura 7 - Código-fonte responsável por salvar os dados no banco (Fonte: Dos Autores).

O banco de dados situa-se instalado no mesmo computador em que é executada a simulação, entretanto, não faz parte da simulação, sendo um *software* instalado e funcionando paralelamente à mesma. Para poder armazenar os dados neste banco, primeiramente os sensores precisam submeter os dados para outros sensores que os enviarão para o sensor seguinte, e assim por diante até que os dados cheguem ao sensor responsável por armazená-los. Quando chegam neste nodo, o mesmo possui implementadas, em seu código fonte, as funções para abrir uma conexão com o banco e inserir dentro das tabelas os valores informados pelos sensores.

4.8 A Ferramenta de Visualização de Dados

Depois de armazenados os dados no banco, empregamos uma ferramenta de visualização de dados para que estes dados brutos fossem convertidos em informações inteligíveis para os usuários mais leigos. Para a escolha dessa ferramenta foram analisadas diversas disponíveis no mercado, dada a preferência para as que são gratuitas e com interface de fácil utilização. O objetivo da visualização de dados é o que o próprio nome sugere, visualizar os dados, mas não somente visualizá-los, tê-los dispostos de forma que seja fácil a sua interpretação.

Como ferramenta para tal, após vários testes, foi escolhida a ferramenta SISENSE, disponível em www.sisense.com, para visualizar os dados. A ferramenta embora paga, possui interface de fácil utilização, mesmo para o usuário leigo. Com ela é perfeitamente possível visualizar os dados coletados dentro de um mapa e classificar os dados de acordo com critérios pré-estabelecidos. Além disso, é possível colocar os dados em forma de gráficos (quando compatíveis com isso), lista e fazer o *download* deles tudo via interface *web*, o que possibilita que a ferramenta seja utilizada remotamente. As Figuras 8 e 9 mostram a ferramenta sendo utilizada a partir dos dados gerados pela simulação (www.sisense.com).

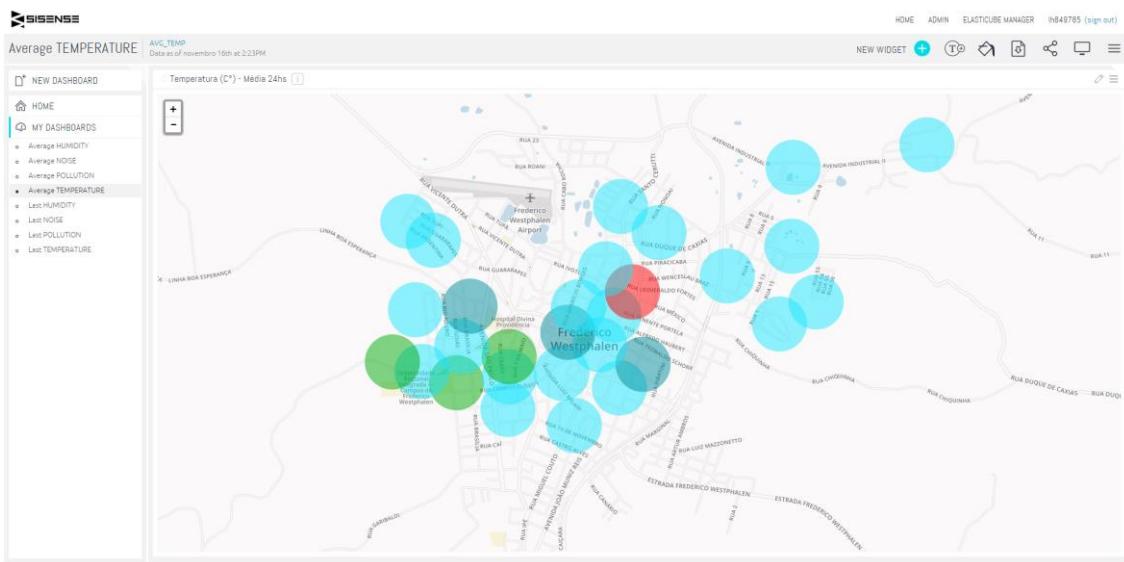


Figura 8 - Ferramenta de visualização de dados (Fonte: Dos Autores)

No mapa apresentado na Figura 8, cada cor representa um intervalo de temperatura:

- azul claro: temperaturas frias, abaixo de 22°C;
 - azul escuro: temperaturas mais amenas, entre 22 e 24°C;
 - verde: temperatura ideal, entre 24 e 28°C;
 - amarelo: temperaturas mais quentes, entre 28 e 30°C;
 - vermelho: temperaturas muito quentes, acima de 30°C.

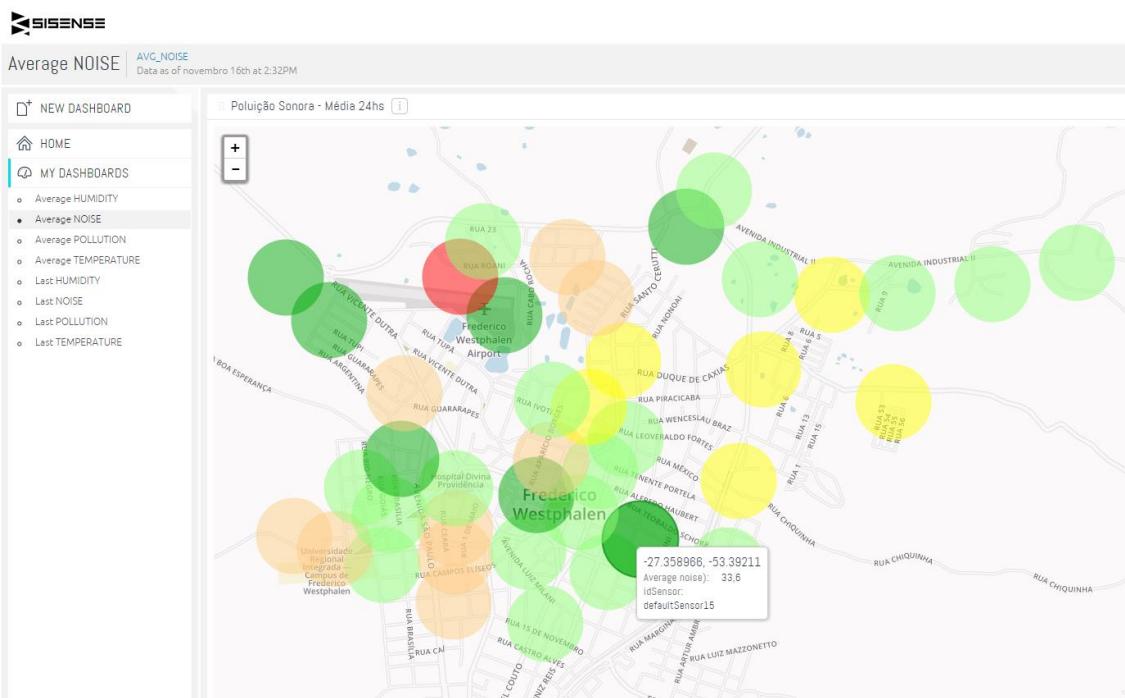


Figura 9 - Mapa de poluição sonora (Fonte: Dos Autores)

Seguindo a mesma lógica da Figura 8, a Figura 9 também apresenta cores para o mapa de poluição sonora de acordo com o nível de poluição de cada local:

- verde escuro: nível de ruído ideal, menos de 40 decibéis;
 - verde claro: nível de ruído aceitável, entre 40 e 50 decibéis;
 - marrom claro: nível de ruído moderado, entre 50 e 60 decibéis;
 - amarelo: nível alto de ruído, entre 60 e 75 decibéis;
 - vermelho: alto grau de poluição sonora, acima de 75 decibéis.

Outras ferramentas também foram estudadas antes de se optar pelo SISENSE, tais como (EXPERFY, 2015):

- *Pentaho Business Analytics*: oferece uma suíte de aplicativos *open-source* para aplicações de *Business Intelligence* (BI) e disponibiliza os dados via interface web utilizando-se de gráficos e projeções. No entanto, sua interface gráfica não é fácil de utilizar e a documentação é pouco eficiente ao ajudar o usuário. De acordo com os fóruns de discussão, muita coisa aparentemente não suportada pela ferramenta pode ser realizada por meio da implementação de soluções alternativas, mas isso torna o *Pentaho* uma ferramenta difícil de usar;

- *Tableau*: ferramenta de BI e visualização de dados com a proposta de ser bastante intuitiva quando se deseja criar quadros para visualização de informações, relatórios e infográficos. Possui suporte para utilização via navegador e interface gráfica no *desktop*. Embora pareça muito útil, é bastante difícil trabalhar com mapeamento de dados que não são nativamente suportados ou reconhecidos pela ferramenta, como a base de dados dos sensores sem fio.

Isso torna a visualização destes dados muito trabalhosa e propensa ao erro, uma vez que a ferramenta fica totalmente à mercê das instruções do utilizador, sem iniciativa de automatizar o processamento dos dados.

Em virtude do que foi mencionado, optamos por utilizar o SISENSE para visualizar os dados gerados pela rede de sensores. Em contraste com a ferramenta de visualização de dados disponibilizada, podem também ser usadas as ferramentas do Google para exibição de dados ou optar pelo desenvolvimento de uma nova ferramenta.

4.9 Testes e Validação

Após a implementação da rede de sensores sem fio, a mesma foi executada dentro do ambiente simulado para que fossem gerados os dados. Para melhor agilizar o processo de geração e armazenamento de dados pelos sensores, não foi implementada a rotina de espera, onde o sensor aguarda uma quantidade determinada de segundos entre uma leitura e outra. Desta forma, o simulador controla a velocidade da simulação, fazendo com que ela ocorra em um lapso temporal mais comprimido.

Durante a execução da simulação, foi possível acompanhar, por meio dos *logs* do simulador, o comportamento dos sensores. Verificou-se que todos operaram de acordo com o que havia sido programado neles, gerando os valores dentro do intervalo definido para cada tipo de leitura e submetendo os dados gerados pela rede. Além disso, os sensores responsáveis por armazenar os dados no banco de dados também funcionaram corretamente na simulação, o que pôde ser observado por meio dos *logs* da simulação e da visualização dos dados gravados pelo *phpMyAdmin*.

Após ser executada a simulação, configuramos a ferramenta de visualização de dados para exibir os dados gerados em uma interface *web*. Com isso, foi possível visualizar claramente quais sensores reportaram para quais áreas medições que podem ou não prejudicar a saúde da população naquele local. Ao visualizar os dados apresentados pela ferramenta de visualização verificamos que os mesmos se encontravam dentro da faixa de valores definidos anteriormente e que o posicionamento dos sensores no mapa estava de acordo com a simulação. Confirmamos, também, a classificação dos dados relatados por meio das cores dos itens mostrados no mapa, exemplificados na subseção 4.7. Sendo assim, concluímos que todas as etapas do trabalho funcionaram corretamente e os resultados foram considerados satisfatórios.

4.10 Custos de uma Possível Implantação

Supondo a intenção de implantar fisicamente (de forma real) a rede de sensores proposta neste trabalho, pesquisamos os valores para aquisição de equipamentos para montar os sensores. Para tal, se faz necessária a aquisição da placa-base para os sensores, o sensor (compatível com a placa-base), adaptador *wireless*, adaptador para alimentação e baterias recarregáveis. Os valores destes componentes foram pesquisados no *site* MercadoLivre (www.mercadolivre.com.br) como mostra o Quadro 6.

Componente	Valor
Placa Arduino	R\$ 59,99
Módulo <i>Wifi</i> para Arduino	R\$ 27,95
Adaptador para bateria 9v	R\$ 15,95
Bateria recarregável 9v	R\$ 11,90
Sensor de Monóxido de Carbono	R\$ 35,00
Sensor de Umidade	R\$ 11,89
Sensor de Temperatura	R\$ 18,90
Sensor de Som	R\$ 11,50

Quadro 6: Quadro de valores dos componentes (Fonte: MercadoLivre, 2015)

Naturalmente, não são necessários todos os componentes mostrados no Quadro 6 para cada sensor. Para cada sensor da simulação utilizamos uma combinação dos componentes citados, conforme mostra o Quadro 7.

Sensor	Componentes	Total
Temperatura	- Placa Arduino - Módulo <i>Wifi</i> para Arduino - Adaptador para bateria 9v - Bateria recarregável 9v - Sensor de temperatura	R\$ 134,69
Umidade	- Placa Arduino - Módulo <i>Wifi</i> para Arduino - Adaptador para bateria 9v - Bateria recarregável 9v - Sensor de umidade	R\$ 127,68
Som	- Placa Arduino - Módulo <i>Wifi</i> para Arduino - Adaptador para bateria 9v - Bateria recarregável 9v - Sensor de som	R\$ 127,29
Poluição	- Placa Arduino - Módulo <i>Wifi</i> para Arduino - Adaptador para bateria 9v - Bateria recarregável 9v - Sensor de poluição	R\$ 150,79

Quadro 7 - Componentes e custos de cada sensor (Fonte: MercadoLivre, 2015)

Após identificar quanto custaria cada sensor, calculamos a quantidade de sensores necessários. A rede possui 89 sensores, sendo 11 de temperatura, 23 de poluição sonora, 26 de poluição atmosférica, 11 de umidade relativa do ar e 18 sensores que medem as quatro variáveis. No caso dos sensores que medem as 4 variáveis, serão utilizados 4 sensores individuais colocados próximos uns aos outros. Lembrando também que há o aluguel do local onde os sensores serão instalados. Para isso, optamos

por considerar a instalação dos sensores nos postes de energia que ficam nas ruas da cidade, para facilitar a instalação e uma eventual manutenção. Por meio de um contato telefônico feito à companhia responsável pelo abastecimento de energia elétrica na cidade (RGE – Rio Grande Energia), chegamos ao valor aproximado de R\$ 11,00 por poste para que possam ser instalados os sensores. Por fim, tem-se o custo da licença mensal do SISENSE. Supondo a aquisição da ferramenta completa, o custo mensal é de R\$ 6.000,00 por licença (será adquirida apenas uma). Levando tudo isso em consideração, chegamos ao orçamento necessário para instalação da rede, mostrado no Quadro 8.

Sensor	Quantidade	Preço Un.	Subtotal
Temperatura	11	R\$ 134,69	R\$ 1.481,59
Pol. Sonora	23	R\$ 127,29	R\$ 2.927,67
Pol. Atmosférica	26	R\$ 150,79	R\$ 3.920,54
Umidade	11	R\$ 127,48	R\$ 1.402,28
DefaultSensor	18	R\$ 540,25	R\$ 9.724,50
Aluguel dos postes	89	R\$ 11,00	R\$ 979,00
Subtotal		R\$ 27.101,58	
Licença SISENSE Mensal	1	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00

Quadro 8 - Valor da implantação (Fonte: Dos Autores)

5 Sugestões de Trabalhos Futuros

Esta seção visa sugerir implementações e modificações para o atual trabalho como forma de complementar suas funcionalidades e possibilitar a sua continuidade:

- 1) Auto-organização da rede e roteamento dinâmico dos pacotes de dados: implementar uma forma dos nodos se auto-organizarem e definirem a melhor rota para enviar pacotes entre si. Esta funcionalidade deve ser desenvolvida, preferencialmente, com a implementação de um algoritmo de roteamento dinâmico entre os sensores. Deve-se dar ênfase para algoritmos específicos para redes de sensores sem fio que visam otimizar a quantidade de pacotes enviados pela rede, evitando o gasto desnecessário de bateria;
- 2) Novos sensores para medirem outras variáveis: implementar novos sensores para medirem outras variáveis do ambiente como nível de precipitação pluviométrica, nível da água de rios e lagos etc., de modo a aumentar o conhecimento que se tem do ambiente;
- 3) Substituir o uso da ferramenta de visualização de dados paga por uma gratuita ou desenvolver uma: utilizar ferramentas que são disponibilizadas gratuitamente na Internet ou solicitar o desenvolvimento de uma ferramenta sob medida para ler os dados do banco e apresentá-los no mapa.

6 Considerações Finais

Acreditamos que os objetivos do trabalho foram alcançados, pois foi realizado um estudo sobre redes de sensores sem fio e sobre como essa tecnologia para ser aplicada para monitorar o impacto do ambiente na qualidade de vida e conforto do ser humano. A partir dessas informações, foi desenvolvida a rede de sensores sem fio dentro de um ambiente simulado para gerar os dados relacionados ao ambiente e enviar para um banco de dados para serem posteriormente exibidos. Além disso, foi implementada uma forma de visualizar estes dados por meio de uma ferramenta de visualização de dados para poder visualizar, em uma interface gráfica amigável e de fácil interpretação, os dados gerados pelos sensores.

Entre as dificuldades encontradas, destacamos a pouca documentação referente à programação de sensores dentro das ferramentas de simulação estudadas, em especial o *Omnet*. Apenas o básico é suficientemente documentado, o que torna a implementação de uma funcionalidade mais complexa um trabalho mais desafiante. Muitos exemplos prontos podem ser encontrados em fóruns de discussão, mas a falta de material de apoio torna tudo mais difícil.

Entre os principais benefícios que este trabalho proporciona, destaca-se o acesso a informações referentes a dados que influenciam na qualidade de vida da população. Por meio da rede de sensores sem fio, foram coletados e exibidos dados em uma interface *web* de fácil utilização que dá conhecimento ao utilizador de áreas onde se tem os melhores e os piores índices de poluição atmosférica, sonora, umidade relativa do ar e temperatura, de modo a melhor orientar a fiscalização, políticas de saúde pública e ampliar o conhecimento a respeito da cidade.

Como trabalhos futuros propomos a criação e configuração de novos sensores, para poder medir outras variáveis e também a implementação física da rede. Acreditamos que com isso pode-se ter uma figura mais completa da cidade de Frederico Westphalen – RS e uma excelente base para aplicar estes conhecimentos em outras cidades ou em outras situações onde se faz necessário medir dados do ambiente através de sensores.

Referências

- BODUCH, M., FINCHER, W. (2009). **Standards of Human Comfort**. The University of Texas: School of Architecture, 3.
- CALLAWAY, E. (2013). **Wireless Sensors Networks: Architectures and Protocols**. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T.; BLAIR, G. (2013). **Sistemas Distribuídos: Conceitos e Projeto**. Porto Alegre: Bookman.
- EXPERFY. (2015). **Pentaho vs Tableau**. Fonte: <https://www.experfy.com/blog/pentaho-vs-tableau-comparison-visualization-dashboards/>. Acesso em: 19 de Novembro de 2015.

- FRIEDMAN, V. (2012). Data visualization and Infographics. **Smashing Magazine**, 4. Disponível em: <<http://www.smashingmagazine.com/2008/01/14/>>. Acesso em 30 de junho de 2015. Não encontrei esta referência dentro do texto
- HEALTHY HEATING. (2015) **Humidity**: Effects on the Environment and Occupants. Fonte: Healty Heating: http://www.healthyheating.com/Thermal_Comfort_Working_Copy/Definitions/humidity.htm#. VjeTjberTIU. Acesso em 02 de Novembro de 2015.
- HEARING LINK. (2015) **Protecting Your Hearing**. <http://www.hearinglink.org/protecting-your-hearing>. Acesso em 2 de Novembro de 2015.
- KIM, S., PAKZAD, S., CULLER, D., DEMMEL, J., FENVES, G., GLASER, S., & TURON, M. (2015). **Health Monitoring of Civil Infrastructures Using Wireless Sensor Networks**. Disponível em: <http://www.cs.berkeley.edu/~binetude/work/ipsn07_ggb.pdf>. Acesso em?????
- LOPES, Á.; FONSECA, F. (2015). **Internet das coisas**: ganham governos, ganham os cidadãos. Disponível em: <<http://wirelessmundi.inf.br/edicao-n-13/1448-cap>>. Acesso em 8 de maio de 2015.
- LOUREIRO, A.; NOGUEIRA, J., RUIZ, L. B., MINI, R. A., NAKAMURA, E. F., & FIGUEIREDO, C. M. (2003). Redes de Sensores sem Fio. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Livro%20UFMG%20SBRC2003%20Redes%20de%20Sensores%20Sem%20Fio.pdf>>. Acesso em 30 de junho de 2015.
- LOUREIRO, A., NOGUEIRA, J., RUIZ, L., MINI, R., NAKAMURA, E., & FIGUEIREDO, C. (2015) **Redes de Sensores sem Fio**. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbrc03.pdf>>. Acesso em 17 de Novembro de 2015.
- MALAN, D., FULFORD-JONES, T., WELSH, M., MOULTON, S. (2004). **CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care**. Wames 2004: Mobisys 2004 Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems, 12-13-14.
- MAINWARING, A., POLASTRE, J., SZEWCZYK, R., CULLER, D., ANDERSON, J. (2015). **Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring**. Berkely Electrical Engineering And Computer Sciences.
- MOREIRA, M. D. (2006). **Características das Redes de Sensores**. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/06_1/rssf/node5.html>. Acesso em 08 de maio de 2015.
- NEVES, Ú. (2015). **Santander**: a caminho de se tornar uma cidade inteligente. Guia das Cidades. Disponível em: <<http://www.guiadascidadesdigitais.com.br/site/pagina/santander-a-caminho-de-se-tornar-uma-cidade-inteligente>>. Acesso em: 16 de maio de 2015.

UNRIC (2015). **Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050.** Centro Regional de Informações das Nações Unidas. Disponível em: <<http://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>>. Acesso em 15 de maio de 2015.

WORLDWIDE AIR QUALITY. (2015) **Air Pollution in the World:** Real time Air Quality map. Disponível em: <<http://waqi.info/>>. Acesso em 02 de Novembro de 2015.

YU, F. (2015). *A Survey of Wireless Sensor Network Simulation Tools*. Washington University in Saint Louis. Disponível em: <<http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-11/ftp/sensor/index.html#sec3>>. Acesso em 04 de novembro de 2015.