

Gerenciamento da Coleta de Lixo Urbano utilizando uma Rede Wireless com Tecnologia ZigBee

Heitor Scalco Neto, Douglas Giacomini, Humberto Machry Prado, Claiton Colvero
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM – Curso Superior de Redes de Computadores
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Av. Roraima, 100 - Santa Maria - RS, Brasil

heitorscalco@hotmail.com, giacomini@redes.ufsm.br, humberto87nicosmrs@gmail.com, claiton@redes.ufsm.br

Resumo - Este artigo tem como objetivo proporcionar uma maior eficiência no sistema de coleta de lixo da cidade de Santa Maria - RS, colaborando assim para o total controle dos procedimentos de coleta por parte da administração pública e, adicionalmente, a maior facilidade no dia-a-dia dos moradores. O foco deste artigo é disponibilizar uma maior comodidade a população e organizar os contêineres de lixo, de forma adequada, pois muitas vezes encontram-se superlotados e com mau cheiro. O modelo atual de coleta utilizado na cidade atenta contra o bem estar das pessoas que circulam nas ruas e que são obrigadas a conviver, em algum momento, com esses contêineres. Através da utilização de uma tecnologia com padrão 802.15.4 (ZigBee) de redes sem-fio, é possível implementar este sistema de gestão de resíduos, monitorando a coleta, transporte e descarte destes materiais. Essa tecnologia é capaz de receber informações e retransmiti-las para todos os dispositivos ativos ao seu alcance. A utilização de uma tecnologia de baixo custo e de alta confiabilidade possibilita pôr em prática este sistema.

Keywords — Rede mesh; ZigBee; coleta de lixo; automação.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente ao realizar simples atividades corriqueiras, como deslocar-se de um ponto ao outro de uma grande cidade, utiliza-se diversas tecnologias em soluções de automação e controle inseridas e mascaradas nos serviços e produtos oferecidos. Muitas vezes as pessoas não possuem o conhecimento da complexidade destes sistemas. Através do nível avançado de automação de processos e serviços em todas as áreas de conhecimento, as falhas que esses sistemas autônomos apresentam passam despercebidos, porém em geral nos proporcionam mais conforto, mais facilidades adicionais e principalmente um grau elevado de segurança. Para o desenvolvimento deste trabalho de iniciação científica foi realizada uma criteriosa pesquisa no intuito de identificar algum processo ou serviço corriqueiro oferecido dentro do estado do Rio Grande do Sul que necessitasse urgentemente de um novo sistema de automação baseado em aplicações de redes industriais sem fio. Como critérios de seleção foram observados principalmente a viabilidade técnica, a viabilidade econômica, a apresentação de falhas recorrentes e o impacto de cada falha na sociedade.

Como resultado desta pesquisa, o sistema de gerenciamento da coleta do lixo urbano em Santa Maria – RS foi selecionado para ser tratado devido ao alto fator de impacto na sociedade,

pois a correta disposição e tratamento dos contêineres de lixo utilizados nos proporciona a organização devida dos dejetos sólidos produzidos diariamente, evitando assim a exposição direta ao meio ambiente. O presente trabalho tem como objetivo aumentar consideravelmente a eficiência deste sistema atual de gestão de resíduos e consequentemente a comodidade da população local, tendo como foco principal a coordenação da coleta e disponibilização destas informações aos usuários, através de uma consulta online e adicionalmente o aviso de proximidade, via SMS, informando inicialmente aos clientes cadastrados qual o tempo médio restante para a coleta dos resíduos em determinado dia e local de interesse. Isso proporciona aos usuários do sistema, a capacidade de poder programar-se para levar o lixo até o contêiner, evitando assim, o acúmulo desnecessário de lixo por longos períodos, que geralmente causa o mau cheiro característico e evita a ação de catadores e animais que reviram e espalham o mesmo.

Para adicionar estas facilidades propostas neste artigo, um robusto sistema de rede de comunicações precisa ser implementado, com especial atenção aos recursos que deverão ser disponibilizados. Desta forma, foi decidido por utilizar na implementação deste sistema de automação, um padrão de rede industrial de alta confiabilidade e baixo custo, que possua a capacidade de operar em tempo real e que também opere através da tecnologia de comunicação sem fio (*wireless IEEE 802.15.4*) [1][8], tornando mais eficiente a coleta automatizada de lixo na cidade, onde através de um acesso remoto, os moradores serão informados sobre o horário correto do recolhimento do lixo nos contêineres, tendo como principal objetivo evitar que o lixo não fique exposto e acumulado, causando mal cheiro nas ruas e nas residências da cidade.

Complementando a ferramenta de controle, também é necessário implementar um sistema de cadastramento de moradores, onde os mesmos poderão criar *logins* de acesso baseados no Código de Endereçamento Postal (CEP) e adicionalmente cadastrar os números de seus telefones celulares em uma central da companhia de coleta do lixo. Como cada contêiner e caminho de coleta será instrumentado com um dispositivo de rede, o sistema apresentará a funcionalidade de perceber a aproximação dos mesmos e de pontos pré-definidos no caminho, despertando o sensor do contêiner para o aviso de coleta próxima. Com o objetivo de preservar a bateria dos nós de rede dos contêineres, os

dispositivo *ZigBee* instalados estarão configurados em modo “sleep”, e serão acordados pela presença do caminhão de coleta, assim retornando um *frame* de dados para a central de controle, que em seguida realizará a disponibilização no website da companhia e adicionalmente enviará uma mensagem *SMS* aos celulares dos moradores cadastrados para informar a proximidade da hora de coleta.

Este trabalho foi inicialmente dividido em 3 etapas para a melhor utilização dos recursos disponíveis, onde destacam-se a pesquisa bibliográfica, utilizada para selecionar e definir o problema de maior demanda, a escolha de tecnologia de comunicação, que visa otimizar o sistema de rede industrial *wireless* a ser utilizado, mantendo a alta confiabilidade baixo custo, e finalmente o ensaio em escala realizado em laboratório, que teve como objetivo testar os conceitos e tecnologias propostas para essa solução de gerenciamento da coleta de lixo na cidade de Santa Maria.

II. DESENVOLVIMENTO

A cidade de Santa Maria – RS optou pela coleta de lixo em áreas urbanas, para usuários residenciais, através de contêineres desde os meados de 2008, enfrentando até os dias de hoje diversos problemas de rejeição e reclamações dos moradores por problemas de utilização, controle e educação. Na Fig. 1 podemos observar a automação mecânica da coleta de lixo através deste sistema de contêiner, onde não é possível controlar os horários e procedimentos de coleta sem a intervenção local de um fiscal ou da própria população.



Fig. 1. Sistema de coleta de lixo com contêiner em Santa Maria [2].

A correta instrumentação deste processo através da instalação de dispositivos sensores e atuadores de comunicação *wireless* com propriedades de formar redes adaptativas (*mesh*), proporciona a conexão de forma totalmente autônoma entre os contêineres de lixo, os caminhões de coleta dos mesmos e locais estratégicos fixos de passagem e descarte dos resíduos coletados, que permitem que seja realizado um controle remoto de toda a operação, inclusive disponibilizando aos usuários diversas modalidades de serviços agregados, como consulta de dias e horários aproximados de coleta através do respectivo CEP, sendo ainda possível o cadastro e envio automático de

mensagens *SMS* de proximidade de horário de coleta de lixo para usuários previamente cadastrados.

A. Tecnologia de Comunicação Wireless:

Com o crescente desenvolvimento das tecnologias de comunicação sem fio em todo o mundo, na maioria das vezes inclusive substituindo tarefas antes realizadas por pessoas de forma satisfatória, foi desenvolvido este trabalho utilizando como base uma tecnologia que foi estudada em sala de aula, como forma de oferecer um sistema de gerenciamento de resíduos inovador e automatizado para o controle da coleta do lixo urbano, através de um processo que oferece um crescimento social considerável baseado nas facilidades de utilização de um modelo de baixo custo de rede industrial.

Como a rede de comunicação deste projeto possui alguns requisitos específicos para ter viabilidade, foi selecionada a tecnologia *ZigBee* como a melhor opção de comunicação sem fio entre os diferentes pontos de instrumentação. A tecnologia *ZigBee* surgiu no começo desta década na tentativa de suprir a necessidade de organização e controle de redes sem fio (padrão *IEEE 802.15.4*), com a missão de oferecer uma solução completa, de plataforma aberta para a padronização dos sistemas de comunicação, com padrão global confiável, baixo custo, alta eficiência, longo alcance com suporte a topologia de redes adaptativas *mesh*, estrela e árvore, criptografia, baixa potência de transmissão e radiação de espúrios e sem a necessidade de interligação por meio físico [3].

Para os primeiros ensaios em laboratório em escala reduzida foram utilizadas placas comerciais de interfaceamento chamadas de *HomeBee*, que tem como função original automatizar ambientes residenciais de forma simplificada, onde se pode conectar diretamente diferentes dispositivos, com ou sem fio. A placa dispõe duas saídas a relés pré-definidas, que podem ser usadas para ligar ou desligar dispositivos com tensão de até 220 V e corrente de 10 A [4].

B. Desenvolvimento do projeto:

Para o desenvolvimento deste projeto foi definido que os seguintes recursos utilizados na coleta do lixo deverão ser instrumentados com pelo menos um dispositivo *ZigBee*:

- Contêiner de coleta de lixo urbano: Cada contêiner deverá ser instrumentado com um dispositivo *ZigBee* configurado como dispositivo final em modo *sleep* [5];
- Caminhão de coleta de lixo: Cada caminhão de coleta de lixo deverá possuir um gateway [6] com interfaces *ZigBee* e *3G*, para conexão com a rede *mesh* e com a central de controle e gerenciamento de rotas de coleta;
- Caminhão de limpeza de contêineres: Cada caminhão destes deverá ter um gateway semelhante ao de coleta instalado, para que seja realizado o sincronismo entre este e os contêineres recém esvaziados para a limpeza.
- Pontos estratégicos da rota: Diversos pontos da rota de coleta podem ser instrumentados para monitorar a correta passagem do caminhão, registrando a identificação do caminhão, o horário e a data de

passagem por aquele ponto, sincronizando a coleta. Estes dados são enviados pelo *gateway* do caminhão.

- Garagem e ponto de descarte do lixo: Nestes dois pontos também será necessária a instalação de sensores *ZigBee* para perceber a aproximação dos caminhões e tempo dispensado em cada um deles, assim como adicionalmente também indicar a disponibilidade destes recursos para auxiliar em outras tarefas de coleta que possam estar com problemas de atraso ou de falha dos equipamentos utilizados.

Para a integração destes recursos e disponibilização dos eventos para os usuários em tempo real, também é necessário o desenvolvimento de uma central de controle e monitoramento de rotas de coleta de lixo urbano, que ficará responsável por receber os dados enviados por cada um dos caminhões em deslocamento, processando estes *frames* para disponibilizar em uma página *web* a localização aproximada e tempo de chegada no endereço solicitado, com função adicional de enviar uma mensagem *SMS* a usuários cadastrados com informações de tempo médio de chegada na sua residência.

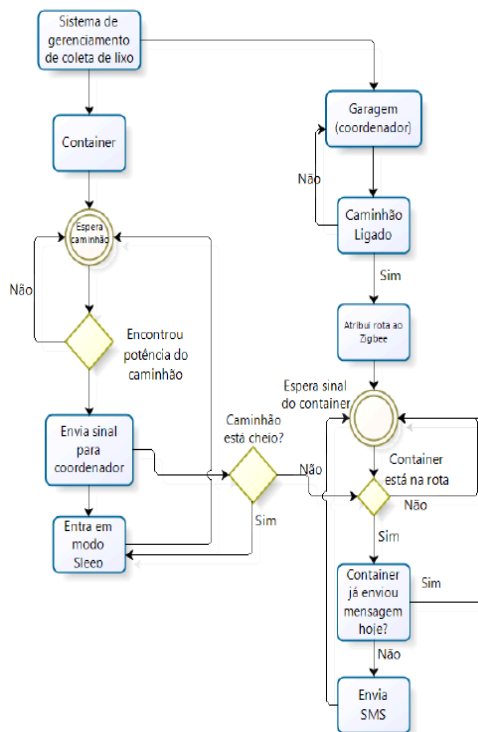


Fig. 2. Fluxograma de processos envolvidos na coleta de lixo.

III. RESULTADOS OBTIDOS

Em um primeiro momento foram realizados os ensaios preliminares em escala reduzida no laboratório para diminuição de custos e viabilização do modelo, onde foram utilizados três computadores portáteis conectados com dispositivos *ZigBee*, e uma placa *HomeBee* para conexão. O primeiro computador simulava um contêiner, o segundo simulava o caminhão em deslocamento, o terceiro era responsável por simular um dispositivo instalado em pontos fixos, como na garagem e no centro de descarte, e o último, configurado como coordenador era utilizado com a interface com o software de controle e gerenciamento das informações coletadas.

Todos os dispositivos *ZigBee* foram configurados de modo que transmitam as informações de movimentação dos caminhões para todos os outros dispositivos na rede (*Broadcast*) [7], assim os dados que forem úteis serão repassados para todos os nós subseqüentes da rede, já as informações que não atendem a rota serão descartadas. Desta forma, caso haja uma interferência ou falha durante o processo de comunicações entre os dispositivos de instrumentação, as informações serão replicadas através das funcionalidade da rede *mesh* até chegar no dispositivo desejado, proporcionando o envio destas informações pelo *gateway* até a central de controle e gerenciamento, que pode estar instalada em qualquer ponto remoto, como na garagem ou na sede da empresa responsável.

O dispositivo configurado como coordenador estará situado na central de controle e monitoramento e terá por finalidade atribuir a rota para o dispositivo presente no caminhão de lixo através da conexão *3G* ou *ZigBee*, dependendo da distância entre eles. Este dispositivo também irá receber a identificação de proximidade do caminhão de coleta ou lavagem dos contêineres através do *gateway* e ajustar a rota, disponibilizar as informações na página *web* e requisitar o envio dos *SMS* aos clientes cadastrados.

Cada contêiner possui um dispositivo *ZigBee* instalado e que permanece em estado de *sleep* [5] durante a maior parte do tempo, só acordando através da detecção do sinal um outro dispositivo que se aproxima e tenta uma conexão de rede, representado pelo dispositivo *ZigBee* instalado no caminhão de coleta ou lavagem, que está sempre em operação e interrogando o restante da rede em busca de novas conexões. Quando o sensor do contêiner receber um sinal do dispositivo do caminhão maior ou igual a -80 dbm , o *ZigBee* do contêiner é acordado (*wake-up*) e imediatamente envia um *frame* de dados com sua identificação ao coordenador, utilizando o *gateway* do caminhão para esta tarefa. O coordenador (localizado no centro de controle), através de uma pesquisa no banco de dados, cadastra as informações no servidor *web* para consulta dos usuários e adicionalmente envia um *SMS* para cada morador cadastrado próximo aos contêineres subseqüentes da rota em operação. O *ZigBee* será instalado na coluna superior interna do contêiner, protegido por uma caixa de polímero dielétrico de alta densidade.

Para que os sinais recebidos pela central de controle e gerenciamento das rotas sejam corretamente interpretados e utilizados, é necessária a implementação de um banco de dados com acesso aos *frames* que o coordenador recebe, com a

finalidade de armazenar os *IDs* dos contêineres e as rotas (caminhos) que cada caminhão vai seguir para a coleta de lixo, tornando a disponibilização da localização em tempo real e o envio das mensagens aos moradores das ruas mais eficaz, auditando as operações, com a capacidade de otimizar as coletas através de reorganização dinâmica em caso de atrasos ou falhas de equipamentos em quaisquer rotas. As rotas para o recolhimento de lixo serão pré-definidas conforme a sequência que os contêineres estiverem dispostos nas ruas.

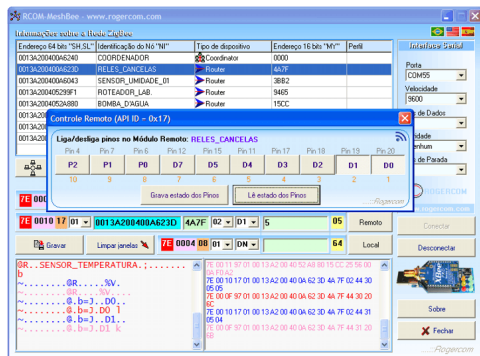


Fig. 3. Software utilizado para monitoramento dos frames enviados.

Através dos ensaios realizados em escala reduzida no laboratório, utilizando 3 dispositivos *ZigBee* devidamente conectados e configurados em 3 computadores portáteis diferentes e um coordenador conectado em uma placa *HomeBee*, constatou-se o perfeito funcionamento do sistema. Um dos dispositivos *ZigBee* atuou como coordenador (localizado na central de controle) e disponibilizou os dados recebidos conforme pode ser visualizado na Fig. 3, e os outros representavam os caminhões se deslocando e os contêineres de lixo em modo *sleep*.

Com as potências de transmissão reduzidas ao máximo para o teste em escala, foi simulada a saída do caminhão de lixo da garagem, após isso foi realizada a aproximação do mesmo ao contêiner instrumentado, que detectou a presença do dispositivo do caminhão e fez com que o *ZigBee* despertasse do modo *sleep*, enviando um *frame* de dados com sua *ID* para a placa *HomeBee* do coordenador através das facilidades da rede *mesh* montada pelo *ZigBee* do caminhão. Com os dados recebidos na central de controle, ainda não implementada de forma totalmente funcional, foi possível identificar a localização do caminhão de coleta e prever o tempo médio de chegada do mesmo nos próximos contêineres subsequentes. Provou-se desta forma que o conceito do projeto é válido e que os dispositivos interagiram de forma autônoma, mandando mensagens entre si com total confiabilidade.

Constatou-se também que o custo do sistema é relativamente baixo e possui alta confiabilidade [5], já que a velocidade de transmissão é bastante reduzida por ser um dispositivo de rede industrial [1], fornecendo assim, a

possibilidade da implementação do mesmo em meio urbano, desde uma pequena cidade até uma grande metrópole.

IV. CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um sistema automatizado de coleta de lixo através de contêineres, especialmente baseado nas informações para a cidade de Santa Maria - RS onde, de modo totalmente autônomo, os moradores serão informados sobre o horário correto do recolhimento do lixo nos contêineres, tendo como principal objetivo evitar que o lixo não fique exposto e acumulado, causando mal cheiro nas ruas e nas residências da cidade, além de serem revirados por catadores e animais.

Também é proposto implementar um sistema de cadastramento de moradores, onde os mesmos poderão ter acesso às informações das rotas de coleta de lixo relevantes através do seu CEP, podendo cadastrar seus números de telefones celulares na central para aviso via *SMS*. O sistema funciona com a aproximação do caminhão de lixo com os contêineres, que retira os dispositivos de instrumentação dos mesmos do modo “*sleep*”, originalmente configurados desta forma para economia de energia, retornando um *frame* de dados com identificação para a central de controle e gerenciamento, que em seguida cadastra estas informações em um banco de dados para consulta remota e também envia uma mensagem *SMS* aos celulares dos moradores cadastrados para recebe-las.

O sistema apresentado demonstrou possuir viabilidade técnica, econômica e comercial, sendo possível ser implementado em centros urbanos pequenos, médios ou grandes com a mesma facilidade e simplicidade de operação, oferecendo uma importante ferramenta de desenvolvimento social e educação da população, aumentando o grau de satisfação dos mesmos através da disponibilização de serviços associados. A redução de custos a longo prazo pelas administradores de coleta de lixo também é apresentado como um grande diferencial deste projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] The *ZigBee* Advantage. Disponível em: <<http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>>. Acesso em setembro de 2013.
- [2] Sistema de coleta de lixo urbano da cidade de Santa Maria – Empresa Themac. Disponível em: <<http://www.themac.cc/portugues/index.php>>. Acesso em agosto de 2013.
- [3] Configuração de Dispositivos *ZigBee* - Rede Mesh. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBeePag04.htm>>. Acesso em agosto de 2013.
- [4] Rogercom- Manual Placa HOME*BEE*. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ManualHomeBee.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.
- [5] Rogercom - Informações e configurações dispositivo *ZigBee*. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em setembro de 2013.
- [6] Produtos Digi. Disponível em: <<http://www.digi.com/products/zigbee/>>. Acesso em setembro de 2013.
- [7] XBEE®/XBEE PRO® ZB RF MODULES (2012), *ZigBee* RF Modules by Digi Internacional. Disponível em <<http://www.digi.com>>. Acesso em 2013.
- [8] *ZigBee* Technology: Wireless Control that Simply Works - Patrick Kinney 2003