

# Sistema Automatizado de Controle de Rotas do Transporte Público Utilizando a Tecnologia Wireless

Glauco Oliveira Rodrigues<sup>1</sup>, Celso Brossard<sup>1</sup>, Claiton Colvero<sup>1</sup>

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

Glauco10@redes.ufsm.br, celsob@yahoo.com.br, claiton@redes.ufsm.br

**Abstract.** This paper aims to develop a system for automatic monitoring of bus schedules used in urban public transport through constantly updated information in a database using the features of a wireless communication network adaptive real-time. The developed system has the ability to communicate between regular bus stops, vehicles and a central control, which allows to estimate so considerably need the time of arrival of the same at subsequent stops, through the presentation of this information in the vehicle and in their own charts.

**Keywords:** ZigBee; Database automotive; transportation.

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento automático que mostra os horários de ônibus utilizados no transporte público urbano, através de informações atualizadas constantemente em um banco de dados utilizando as funcionalidades de uma rede de comunicação adaptativa wireless de tempo real. O sistema desenvolvido tem a capacidade de se comunicar entre as paradas de ônibus regulares, os veículos e uma central de controle, que permite estimar de forma consideravelmente precisa o tempo de chegada dos mesmos em paradas subsequentes, através da apresentação destas informações dentro do veículo e nas próprias paradas.

**Palavras-chave:** ZigBee; banco de dados; automação; transporte.

## 1. Introdução

É natural hoje em dia ouvir reclamações frequentes dos usuários de transporte público urbano, que se queixam principalmente das dificuldades enfrentadas ao utilizar esse serviço. Atrasos nos horários estabelecidos, superlotação em horários de pico e poucas linhas disponibilizadas são as queixas mais comuns. O presente projeto propõe como alternativa para amenizar o impacto desses problemas sobre os usuários, desenvolver um sistema de automação baseado na utilização de uma rede wireless adaptativa que venha a prover as informações necessárias para que os usuários dentro do veículo e nos pontos de ônibus recebam as informações atualizadas constantemente sobre quais unidades estão se aproximando da respectiva parada, com uma estimativa de tempo de chegada de cada ônibus. Podendo assim escolher qual o horário e linha é mais adequado, além de também oferecer informações de tempo de chegada às paradas subsequentes.

Através dos terminais de consulta automáticos instalados nas paradas de ônibus e no interior dos veículos, que alternam entre publicidade local direcionada e as informações relevantes dos horários e linhas de ônibus que se aproximam, os usuários podem realizar a escolha antecipadamente de qual linha de ônibus lhe é mais

conveniente, além do tempo médio de chegada ao destino. Dentro das diversas funcionalidades deste sistema, destacam-se, por exemplo, na parada de ônibus o usuário possui a possibilidade de verificar o tempo de espera para o próximo ônibus da mesma rota, caso o primeiro esteja lotado, as rotas alternativas que passam pelo mesmo ponto, o tempo médio de chegada de determinado ônibus, permitindo a realização de outras tarefas neste período. Dentro do ônibus os usuários contam com a facilidade de previsão de chegada, demonstração gráfica de paradas subsequentes para organização de desembarque dos passageiros, inclusive com visualização em mapas georeferenciados, informações úteis aos passageiros e serviço de mensagens de interesse coletivo.

Para o financiamento deste projeto, foi estabelecido que os terminais de consulta também possuíssem a funcionalidade de apresentar publicidade direcionada aos locais específicos e ao perfil dos usuários da rota, alternando elas com as informações relevantes do sistema, desta forma proporcionando a viabilidade econômica da implementação e manutenção. Neste artigo são descritos detalhadamente os componentes utilizados, o funcionamento do sistema e fluxo de dados e as informações técnicas relevantes sobre os ensaios de um protótipo funcional.

## 2. Metodologia

Este projeto foi divido em etapas para o melhor desenvolvimento e dinamismo dos resultados, desta forma então foi separado entre a pesquisa bibliográfica para a definição da tecnologia de comunicação *wireless* utilizada, o desenvolvimento das interfaces físicas de rede e terminais de consulta, o desenvolvimento do software de controle e a integração com o banco de dados, e por último os ensaios com o protótipo funcional em laboratório.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa sobre as tecnologias mais adequadas para esta aplicação, foi definida a utilização do padrão *ZigBee* para a comunicação wireless, devido principalmente as suas funcionalidades específicas para automação e operação autônoma aliado ao baixo custo dos dispositivos.

No desenvolvimento do banco de dados, responsável pelo armazenamento de todas as informações sobre o deslocamento dos veículos e horários das rotas disponíveis, foi utilizado o *MySQL*. O banco de dados armazena as informações relevantes de deslocamento dos veículos, vinculando os mesmos ao ID dos dispositivos *ZigBee* instalados no seu interior e conectados a *gateways*, comparando com suas rotas pré-definidas verificadas através das informações de ID dos outros dispositivos *ZigBee* do trajeto, instalados em cada parada de ônibus instrumentada. Através de um código criado na linguagem *JavaScript*, o sistema possui a capacidade de prever o tempo médio de chegada dos veículos aos pontos de ônibus subsequentes, comparando os dados padrão da rota previamente armazenados com o tempo médio de deslocamento entre paradas anteriores adquiridos em tempo real, desta forma estimando os atrasos eventuais ocasionados pelo trânsito naquele determinado momento do dia, aumentando a precisão da estimativa de chegada através da inclusão da variável de ajuste de tempo real.

## 3. Desenvolvimento

Para o desenvolvimento preliminar do projeto, foi definido que na comunicação entre as paradas de ônibus e os veículos seriam utilizados os dispositivos de rede *wireless ZigBee*, com operação realizada em *broadcast* e com o modo de programação *API*. A escolha pela configuração em *broadcast* foi devido a necessidade de todos os dispositivos atuarem na rede, tanto como coordenadores, dispositivos finais e roteadores,

para a implementação das funcionalidades de rede adaptativa (*mesh*), e o modo *API* foi definido pelo envio de um *frame* de dados em cada comunicação que sempre possui entre outras informações, o ID de origem e de destino da mesma [1].

As informações recebidas sobre cada ponto de parada pelo dispositivo *ZigBee* instalado no ônibus são enviadas através de um *gateway 3G* [2] para a central de controle, que através do *software* desenvolvido, identifica o ônibus e sua posição dentro da rota, realizando uma consulta ao banco de dados. Este mesmo *software* de controle, também tem a capacidade de realizar uma estimativa da distância que o ônibus se encontra da parada através da análise da potência do sinal recebida na rede quando este se encontra dentro da área de cobertura, adicionando mais uma variável de ajuste de tempo de chegada ao sistema, integrando com as informações de tempo médio gasto naquele dia e horário entre as paradas anteriores, utilizados no ajuste do tempo perdido com o trânsito momentâneo. Desta forma o sistema pode estimar o tempo que o ônibus irá demorar até chegar a parada com mais precisão, e então apresentar estas informações de forma clara e simplificada aos usuários, tanto nas paradas de ônibus quanto no interior do veículo em movimento.

### 3.1 Tecnologia ZigBee

A primeira vez que essa tecnologia foi apresentada ao público foi em julho de 2005. Seu nome veio da analogia entre o funcionamento de uma rede *mesh* e a forma como as abelhas se deslocam, já que elas voam em *zig zag*, e quando acham o néctar se comunicam com as outras informando distância, direção e localização. A união destas duas palavras em inglês deu origem ao nome *ZigBee*. Essa tecnologia foi desenvolvida baseada no protocolo 802.15.4, que possui como característica uma menor taxa de transmissão, a fácil conectividade e o mínimo de consumo de energia, podendo operar em 3 bandas diferentes de frequências livres, destinadas a aplicações científicas, industriais e médicas (ISM) [3].

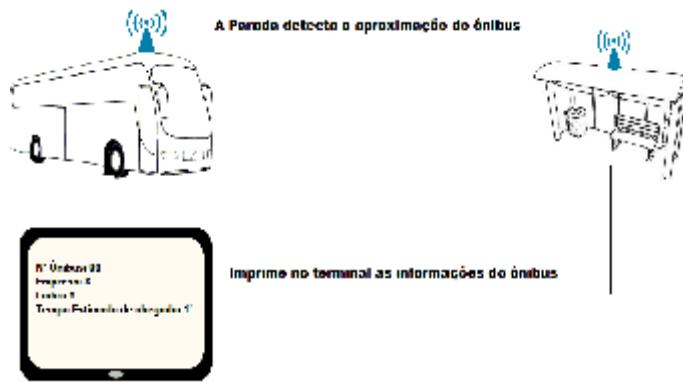
Segundo Jânio Monteiro [4] o protocolo *ZigBee* foi concebido de maneira que independentemente da localização e disposição dos pontos de envio e recepção de dados, a rede se forme automaticamente sem necessitar da intervenção do utilizador na configuração da mesma. Deste modo, o protocolo encarrega-se de todo o processo de reenvio, confirmações de recepção e *routing* das mensagens. No caso de algum dos pontos de envio ou recepção de dados for removido ou desligado, uma nova rede será gerada automaticamente. Qualquer dispositivo que se encontre dentro das normas do *ZigBee* poderá ser utilizados como dispositivos de envio, recepção ou ambos. Nesse último caso, podemos ter simples dispositivos de comunicação bidirecional ou assumir ainda função de *routing* e coordenação.

### 3.2 Funcionalidades da Rede

Utilizando como base o transporte público urbano e rodoviário de Santa Maria – RS, que atende a toda a cidade e distritos próximos, cobrindo uma grande área geográfica, foi avaliado que a melhor opção de dispositivos de comunicação seria o padrão *ZigBee*, que basicamente são dispositivos com um protocolo bastante simples, tornando o desenvolvimento do código também mais simples, além de possuir baixo custo no desenvolvimento da aplicação, menor perda por interferência, um tempo reduzido de ligação à rede, e uma rápida transição nos estados de funcionamento (possui baixa latência).

Inicialmente, a primeira ação foi fazer um estudo das tecnologias disponíveis no mercado, como foi descrito acima, onde foi selecionada a tecnologia *ZigBee* para ser

utilizada no projeto. O passo seguinte foi definir como o sistema em si poderia operar de forma simples, com baixo custo e de forma totalmente autônoma, desta forma concluindo que ele atuaria conforme representado na Fig. 1 abaixo.

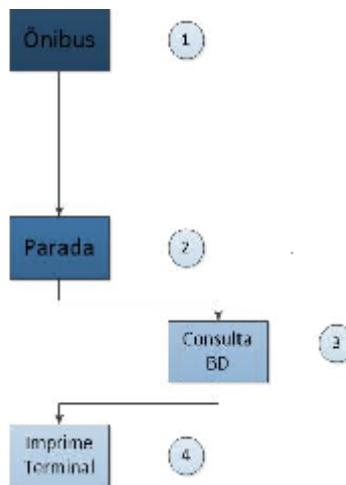


**Fig. 1. Representação simplificada dos dispositivos físicos e operação da rede**

Para a implementação da rede foi definido os seguintes requisitos:

- Implementação de uma central de controle responsável pela administração de todos os dados coletados na rede, manutenção e consulta ao banco de dados e comunicação com o resto da rede através de um dispositivo ZigBee configurado como coordenador.
- Cada parada de ônibus possui um dispositivo ZigBee configurado como End Device/Router em modo API, e um terminal de consulta gráfico.
- Cada ônibus possui um dispositivo ZigBee como Router em modo API interligado a um gateway 3G.

Durante o deslocamento do ônibus, este é capaz de se comunicar com a central de controle sempre que necessário através do *gateway 3G*, e desta forma atualizar o banco de dados. Com a proximidade do ônibus com uma das paradas, ele automaticamente entra na área de cobertura da rede local montada pelo *ZigBee* da parada, e desta forma através da medição da potência do sinal recebida e da ID do *ZigBee* do ônibus, é possível identificar a rota e calcular o tempo médio de chegada nas paradas subsequentes. Esta informação, após ser tratada pelo software desenvolvido, é novamente enviada ao ônibus para atualização do terminal interno, e posteriormente também enviada as próximas paradas, através das funcionalidades da rede *mesh* do ônibus, para atualização dos terminais de consulta das mesmas. Conforme foi discutido, esta parada que está na área de cobertura da rede do ônibus, tem a função de rotear estas informações relevantes para as paradas subsequentes, e desta forma também estimar o tempo de chegada às mesmas. A partir desse modelo, foi construído o fluxograma apresentado na Fig. 2.



**Fig. 2. Fluxograma simplificado de acesso aos dados coletados.**

Neste fluxograma, o estado 1 representa o ônibus se aproximando da parada, no estado 2 a parada detecta a presença do ônibus e recebe informações de controle do mesmo, no estado 3 é realizada uma consulta ao banco de dados para obter as informações sobre a rota e finalmente no estado 4 essas informações são retransmitidas e impressas nos terminais da parada e do ônibus para os usuários.

Foi utilizado o *MySQL* [5] para criar um banco de dados, onde são armazenadas as informações de cada ônibus e rota. Cada ônibus que se desloca recebe a identificação do *ZigBee* da próxima parada que se aproxima e compara as informações no banco de dados, para atualização de sua localização e estimativa de tempo de chegada. No banco de dados, entre outras informações estão armazenados um código associado, o ID dos *ZigBees*, as rotas existentes e o número do ônibus.

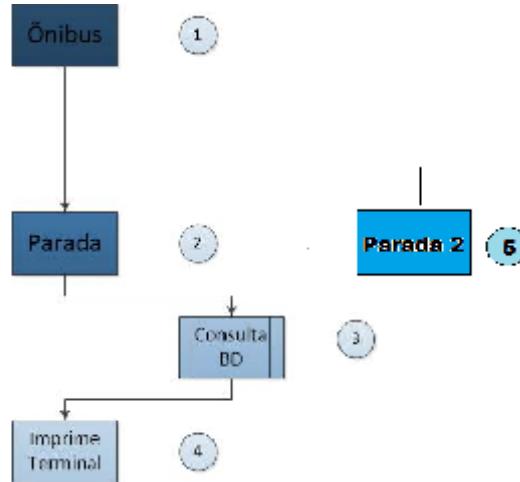
Um código desenvolvido em linguagem *JavaScript* faz a conexão entre as informações originadas pelo dispositivo *ZigBee* do ônibus e as paradas subsequentes, realizando com o auxílio de diversos parâmetros, o cálculo do tempo médio de chegada na parada X. Esta informação, devidamente ajustada para cada condição de trânsito em tempo real, é então reenviada novamente aos terminais de consulta do ônibus e da parada, para que os usuários consigam verificar de forma simplificada na tela a rota que lhe atenderá com maior eficiência e conforto.

#### 4. Resultados Obtidos

Após a primeira implementação do sistema e as coletas prévias, verificamos algumas inconsistências nos parâmetros definidos para definir a distância do ônibus em relação a parada dentro de sua área de cobertura. Notou-se em tempo que as paradas, por não possuírem a mesma linha de visada para a propagação dos sinais de radiofrequência entre elas, resultou em um trabalho excessivo do programador caso a rede seja muito extensa, pois existiria uma programação para cada parada com entrada de parâmetros de forma manual, pois o raio de cobertura inicial proposto (200 metros) poderia causar informações de falsos positivos entre paradas com maior ou menor cobertura. Outro problema detectado ocorreu quando a rota do ônibus possui duas paradas em ruas paralelas, como no caso de um retorno, sendo esta mesma parada localizada antes do momento da hora, e desta forma gerar uma falsa estimativa de tempo baixo de chegada devido a proximidade dessas ruas.

Através da análise dos primeiros resultados, foi decidido reconfigurar o sistema de rede, onde nesta nova versão cada ônibus manterá seu dispositivo *ZigBee* enviando um

sinal até achar montar uma rede com a parada de ônibus mais próxima através do dispositivo ZigBee de instrumentação dela, a fim de que se comuniquem e transfiram a potência média do sinal recebida, utilizando este parâmetro como mais um ajuste de tempo de chegada no software de controle. O banco de dados tem a capacidade de processar estas informações e adequar elas dentro da rota pré-estabelecida, verificando a sequência correta de passagem por cada uma das paradas, desta forma eliminando os erros de estimativa de tempo de chegada. Este novo fluxograma do sistema está demonstrado na Fig. 3.



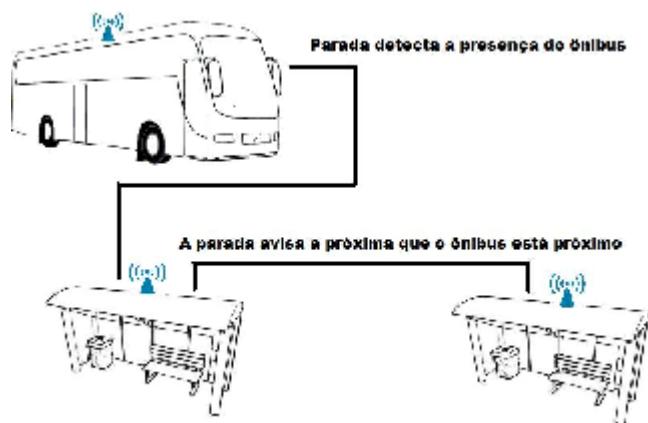
**Fig. 3. Fluxograma de acesso aos dados coletados na rota adaptado.**

Neste fluxograma nota-se que foi adicionada a rotina 5, onde existe a comunicação ativa entre as paradas, para que no momento em que o ônibus saia da parada (exemplificada com o número 2), neste mesmo momento seja encaminhado um sinal para as paradas subsequentes (exemplificada com o número 5), informando que o ônibus já saiu da parada e está em direção a próxima. Nesse momento uma mensagem é apresentada na tela do terminal de consulta do ônibus e das próximas paradas, avisando aos usuários que o ônibus x com destino y já está a caminho e próximo.

Dentro do banco de dados, a maior modificação foi a inserção de mais informação para o auxílio no processamento das informações recebidas, onde de forma geral foi acrescentada uma nova tabela com a rota pré-definida de cada ônibus, que terá a responsabilidade de verificar a cada parada em que o sinal for enviado se o ônibus está seguindo o caminho proposto, sendo que este sinal também é trafegado em paralelo para as outras paradas que estão próximas, garantido maior precisão nas informações e menor probabilidade de erro.

Os dispositivos *ZigBee* utilizados nas paradas de ônibus foram configurados como roteadores de rede e permanecem alimentados em conjunto com a fonte de energia do terminal de consulta, já os dispositivos instalados dentro do ônibus poderão estar configurados para operar em modo *sleep* cíclico, sendo programados como dispositivos finais, interligados a *gateways* de conexão com a central de controle. Permanecendo no modo *sleep* enquanto não está pertencendo a nenhuma rede, que inicialmente serve para economia de bateria, possui também a funcionalidade de o dispositivo informar automaticamente a rede sobre a sua comutação de *status* de operação. Desta forma, o dispositivo do ônibus será acordado (*wake-up*) sempre que este perceber que está entrando na área de cobertura de uma nova rede *ZigBee* originada em cada parada. Esta facilidade permite que o *ZigBee* ao entrar no modo ativo envie automaticamente a sua identificação e a *PAN ID* (identificação da rede) que o mesmo está inserido. A Fig. 4

demonstra a nova configuração de rede, onde as paradas de ônibus estabelecem uma conexão com as próximas subsequentes através da utilização de sua rede *mesh*.



**Fig. 4. Nova configuração da rede baseada na comunicação entre as paradas**

A potência utilizada pelos dispositivos *ZigBee* dependem basicamente da distância média, mínima e máxima entre as paradas, além da distância relativa do ônibus para as mesmas. No ensaio, que foi realizado em escala reduzida, optou-se por realizar os testes com potência mínima no *ZigBee* instalado no interior do ônibus e potência média nos dispositivos instalados nas paradas, assim como na central de controle, desta forma permitindo que o ônibus pudesse estabelecer uma rede apenas com a parada anterior, a atual, a próxima e a central de controle através do *gateway* própria. As paradas foram configuradas para que o sinal pudesse alcançar o ônibus em aproximação e mais as duas paradas mais próximas, enviando as informações para as paradas subsequentes fora de sua área de cobertura através das funcionalidades da rede *mesh* implementada. Desta forma os ensaios foram concluídos com sucesso e o *software* de controle está sendo implementado para incrementar a precisão na indicação dos tempos de espera de cada rota.

## 5. Conclusão

Neste artigo foi demonstrado o desenvolvimento de um sistema de automação para previsão de tempo médio de chegada de veículos de transporte público em paradas instrumentadas, informando principalmente as próximas rotas que irão passar nestas paradas e o tempo estimado através de uma ferramenta de captura de informações de condições de trânsito em tempo real, baseadas no próprio deslocamento deste ônibus na região e nos mesmos horários específicos.

As informações relevantes aos passageiros são transmitidas através da funcionalidade de uma rede de comunicações de dados adaptativa (*mesh*) formada por dispositivos *ZigBee* dispostos nos veículos e nas paradas de ônibus. Desta forma, os dados após serem processados são transferidos para terminais de consulta instalados nas próprias paradas e no interior dos ônibus, desta forma permitindo a programação e a escolha de uma rota mais adequada ao seu deslocamento.

Os primeiros ensaios realizados em escala reduzida demonstraram a viabilidade técnica do projeto, onde foram testadas diversas opções de configuração e rotas de deslocamento até a completa eliminação de problemas detectados. O projeto também considerou a viabilidade econômica da implantação como um impedimento de utilização, porém detectou que é possível alugar os terminais de consulta para expor

material publicitário intercalado com as informações, e desta forma financiar a implementação.

## Referências

- XBEE®/XBEE PRO® ZB RF MODULES (2012), ZigBee RF Modules by Digi Internacional. Disponível em <<http://www.digi.com>>. Acesso em 2013.
- PRODUTOS DIGI, Embedded Wireless and Wired Solutions. Disponível em: <<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/>> Acesso em setembro de 2013.
- ROGERCOM® Com. e Serv. de Informática LTDA (2012). - Disponível em <<https://www.rogercom.com>>. Acesso em 2013.
- SALEIRO, Mario; Ey, Emanuel. ZigBee – Uma abordagem prática. Universidade de Algarve, Portugal. Acesso em 2013.  
[http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao\\_ao\\_ZigBee\\_-\\_por\\_msaleiro.pdf](http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_ZigBee_-_por_msaleiro.pdf)
- MYSQL – Oficial Website disponível em: <<http://www.mysql.com/>> Acesso em 2013.
- ZIGBEE Alliance. <<http://www.zigbee.org>> Acesso em 2013.