

## ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA TELEMÉTRICO RAILBEE® PARA MONITORAMENTO ESTRATÉGICO DE TRENS DO METRÔ DO RECIFE

### STUDIES AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN THE IMPLEMENTATION OF THE RAILBEE® TELEMETRIC SYSTEM FOR STRATEGIC MONITORING OF THE SUBWAY TRAINS IN RECIFE

**ARAÚJO, Rômulo César Carvalho de**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco;  
romuloaraujo@recife.ifpe.edu.br

**PAIVA, Davi Monteiro**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco; vico.paiva@gmail.com

**BARBOSA, Thiago de Almeida**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco; thiagoab9@gmail.com

### Resumo

Os métodos atuais empregados para a realização de monitoramento e manutenção em trens são baseados em inspeções periódicas, porém, possuem várias limitações e podem não ser suficientes para evitar alguns defeitos operacionais. Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar os resultados da implantação de uma tecnologia baseada em redes de sensores sem fios (RSSF) e sistemas embarcados, o RailBee®, para auxiliar de forma mais rápida e segura decisões de monitoramento e manutenção de tráfego. O RailBee® tem como base o ZigBee, um protocolo de comunicação padrão internacional que é o produto de pesquisas desenvolvidas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco e na Companhia Brasileira de Trens Urbanos - Recife. Nesse projeto foi possível analisar dados coletados de velocidade, aceleração, corrente do motor de tração, indicação da condição da cabine (frente/ré) e indicação das portas (abertas/fechadas) de forma instantânea. Esse processo possibilitou a identificação de problemas em tempo real, auxiliando os engenheiros, controladores de tráfego e técnicos, na realização de serviços direcionados e de prevenção, melhorando assim, a qualidade de vida da população que utiliza o metrô do Recife diariamente. O RailBee® é o reflexo de constantes avanços e construções coletivas com discentes através de ensino, pesquisa e extensão, além da preocupação com a qualidade do transporte público advinda de uma relação direta entre teoria e prática, com o desenvolvimento e implantação do RailBee®.

**Palavras-chave:** ZigBee. RailBee®. Sistema Telemétrico. RSSF.

## Abstract

The current methods to perform train monitoring and maintenance are based on periodic inspections. However, those methods have several limitations and may not be sufficient to prevent some operational defects. This article aims to present the outcomes of the technology based on wireless sensor networks (WSN) and embedded systems (RailBee<sup>®</sup>) implementation. RailBee<sup>®</sup> helps to ensure more quickly and safely traffic monitoring and maintenance decisions. RailBee<sup>®</sup> is based on ZigBee, an international standard communication protocol, and it is the product of a research developed at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco (IFPE) and the Brazilian Urban Train Company (CBTU) - Recife. In this project it was possible to analyze real time data, such as speed, acceleration, traction motor current, cab condition indications (forward / reverse), door indications (open / closed). This kind of real time data provides the identification of problems as soon as they happen, assisting engineers, traffic controllers and technicians to perform targeted and preventive services, improving the quality of life of the population that uses the Recife subway daily. This was a reflection of constant advances and collective constructions with students through teaching, research and extension. The concern with the quality of public transportation resulted from a direct relationship between theory and practice, with the development and implementation of RailBee<sup>®</sup>.

**KEYWORDS:** ZigBee. RailBee<sup>®</sup>. Telemetry System. WSN.

## 1 Introdução

A rede metroviária é de extrema importância para cidade do Recife, representando um dos meios de transporte mais utilizados pela população da região metropolitana. Atualmente o metrô do Recife chega a transportar cerca de 400 mil pessoas por dia (CBTU, 2018), tornando-se imprescindível a busca por melhorias no monitoramento e manutenção dos trens que, por consequência, trará ainda mais segurança e conforto para seus usuários.

Diante disso, o RailBee<sup>®</sup> propõe o desenvolvimento de uma nova tecnologia para a realização do monitoramento estratégico de trens urbanos baseado em redes de sensores sem fio (RSSF) e sistemas embarcados, focando na sistematização de conhecimento nas áreas de tecnologia, gestão de qualidade e administração de projetos. Essa tecnologia tem como base a educação profissional aplicada no aprendizado social e na inovação tecnológica, tudo isso aliado a uma pesquisa aplicada, extensão tecnológica e ensino profissional e ao financiamento do CNPq/SETEC – MEC – Extensão Tecnológica processo nº468657/2014-2.

O Sistema Telemétrico RailBee<sup>®</sup> utiliza a tecnologia ZigBee, baseada no padrão de comunicação internacional IEEE 802.15.4, tendo como principais características: baixo consumo, baixo custo, segurança e modularidade, ideal para atender às necessidades do projeto. O sistema é composto por quatro subsistemas: Estações Móveis, dispositivos de sensores remotos embarcados no trem; Estações

Roteadoras, repetidoras de sinais de radiofrequência; Estações Bases, conversores radiofrequência/ethernet; Estação Central, software que monitora, processa armazena e visualiza os dados em tempo real.

Trata-se de um sistema autônomo e dinâmico que trabalha com veículos rodoferroviários em malhas metroferroviárias de qualquer dimensão, utilizando a Linha Sul da Companhia Brasileira de Trens Urbanos/Metrô do Recife (CBTU/METROREC) como unidade piloto para desenvolvimento e implantação do sistema e coleta de dados para pesquisas, análises e produção de relatórios.

## **2 Fundamentação Teórica**

A necessidade de instalação de sistemas que possibilitem a transmissão de sinais e dados de automação e monitoramento industrial entre diversos pontos a distância - que em certos casos pode chegar a algumas dezenas de quilômetros - i pode tornar-se um problema, principalmente em áreas onde não há infraestrutura disponível e dificuldades para implantação, tais como altos custos, prazos de execução, dentre outros fatores.

Para Araújo (2009), o surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias para transmissão de dados via rádio tornou-se cada vez mais barato e popular, e ainda, com o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle de processos remotos, os mesmos vêm se tornando mais simples e econômicos, uma vez que diversos custos podem ser reduzidos ou mesmo eliminados, como o cabeamento e instalações.

O uso de um sistema de telemetria pode trazer inúmeros benefícios para as empresas que o utilizam. Como destaca Araújo (2009, p. 6), para uma empresa que necessite realizar o monitoramento de máquinas, um sistema telemétrico pode detectar defeitos de operação e indicar as razões do mau funcionamento, permitindo que sejam enviados os profissionais mais qualificados para solucionar problemas específicos de forma rápida e direcionada.

Segundo França (1997), telemetria é a transmissão, através de rede fixa ou sem fio, de dados provindos de múltiplas máquinas ou dispositivos remotos distribuídos sobre uma área geográfica de forma predeterminada, para uma central de monitoramento e controle. Em resumo, um sistema de telemetria é um sistema

que possibilita a aquisição de dados de equipamentos à distância, de forma remota.

O sistema de telemetria RailBee<sup>®</sup> capta sinais a partir de sensores e módulos de transmissão por sinais de rádiofrequência instalados no trem e na via do tráfego, formando uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF).

Basicamente, o protocolo ZigBee apresenta baixo consumo de energia comparado a outros protocolos de comunicação comumente utilizados, além de permitir a expansão de uma rede por meio de milhares de nós com velocidade de transmissão que chegam a milissegundos.

O Zigbee é uma das principais e mais conhecidas tecnologias para comunicação sem fio. Além de mobilidade, característica típica de dispositivos sem fio, o Zigbee também possibilita dispositivos móveis de tamanho e peso reduzido. Estas características, mais o baixo consumo de energia alcançado por dispositivos Zigbee, são essenciais em aplicações para as áreas de monitoramento remoto, controle e sensoriamento como, por exemplo, para as redes WSN (*Wireless Sensor Networks*). (BRONZATTI, p. XV, 2013).

Em uma rede ZigBee são identificados dois tipos de dispositivos: *Full Function Device* (FFD), Dispositivos de Funções Completas, e *Reduced Function Device* (RFD), Dispositivos de Funções Reduzidas. Numa topologia de rede ZigBee, os FFD podem assumir o papel de Coordenadores, Roteadores ou mesmo de um Dispositivo Final e podem se comunicar com quaisquer outros dispositivos da rede. Os RFD podem atuar somente como Dispositivos Finais e só se comunicam com os FFD.

O Coordenador (*Coordinator*) é responsável pela inicialização, distribuição de endereços, manutenção da rede e reconhecimento de todos os nós, entre outras funções, podendo servir como ponte entre várias outras redes ZigBee. O Roteador (*Router*) só pode ser implementado por intermédio de um dispositivo FFD. Tem as características de um nó normal na rede, mas também pode exercer a função de roteador intermediário entre nós sem precisar do Coordenador.

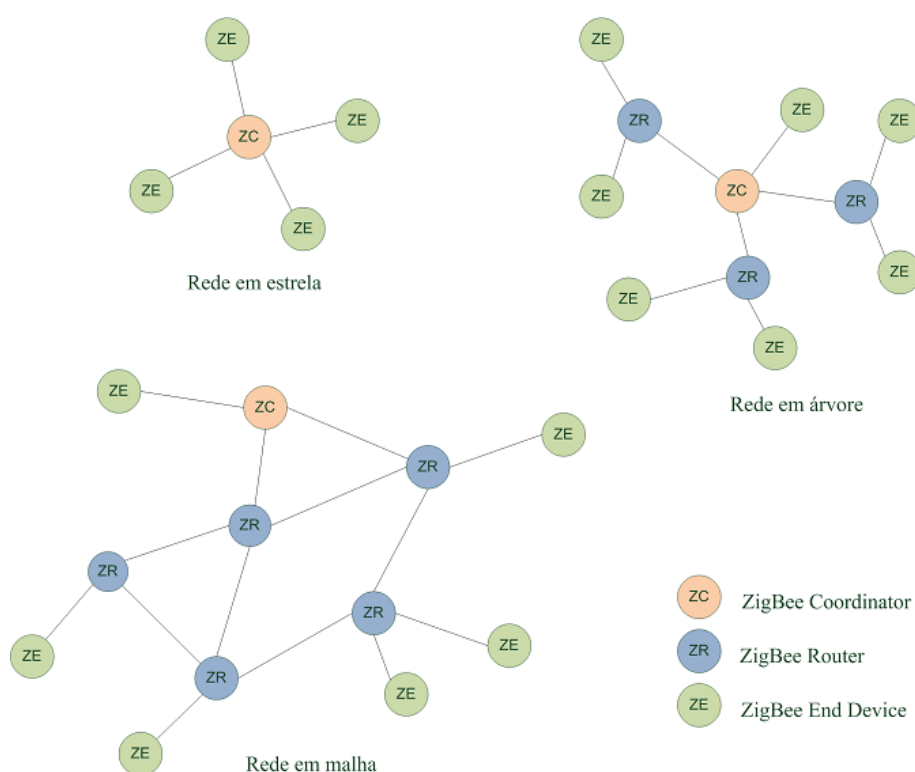
Por meio de um roteador, uma rede ZigBee é expandida e assim tem um maior alcance. O Dispositivo Final (*End Device*) é onde os atuadores ou sensores serão hospedados. Pode ser implementado utilizando-se um dos dispositivos FFD ou RFD. Uma rede ZigBee suporta três topologias de rede: estrela, malha e *cluster-árvore*, como mostra na figura 1.

Uma rede em estrela é formada por um nó coordenador e múltiplos nós finais. O coordenador é usado para organizar a rede e rotear as informações. Como sinaliza Cao *et al* (2008) os nós finais se comunicam com os outros por meio do nó

coordenador.

Uma rede em *cluster-árvore* é composta de múltiplas redes em estrela organizadas por um coordenador. Os nós finais não se comunicam apenas com o nó coordenador, mas também com cada nó FFD com função de roteador. Os nós roteadores não podem se comunicar diretamente com todos os outros roteadores, essa comunicação é feita via coordenador.

Figura 1 - Topologias de rede ZigBee



Fonte: Web.fe.up.pt

Uma rede em malha é uma rede que oferece alta confiabilidade. Um roteador em uma rede em malha, ao contrário de uma rede *cluster-árvore*, pode se comunicar com qualquer outro diretamente. Nessa topologia, a rede pode se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saída de dispositivos na rede. A rede se auto organiza para otimizar o tráfego de dados. Cao *et al* (2008) também destaca que, com vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós, esse tipo de rede pode abranger, em extensão, uma

ampla área geográfica.

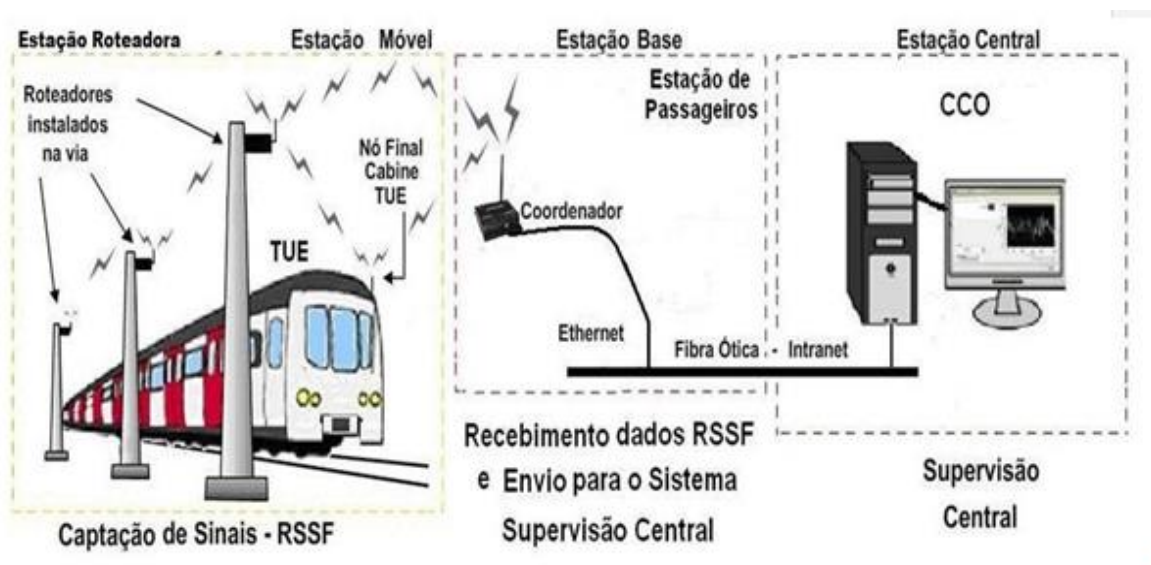
A rede em malha é o tipo de rede utilizado no Projeto RailBee®.

### 3 Metodologia

A metodologia é iniciada com os estudos e fundamentação teórica necessária para o entendimento do Sistema Telemétrico e seus componentes, essa etapa é de fundamental importância para formação e para base dos trabalhos realizados. A partir dos estudos foi colocado em prática o desenvolvimento da implantação do Sistema RailBee®, instalado para ensaios e testes na CBTU/METROREC – Linha Sul.

O RailBee® é formado por quatro subsistemas: Estações Móveis (EM), Estações Roteadoras (ER), Estações Base (EB) e Estação Central (EC). A figura 2 mostra um esquema de funcionamento dos quatro subsistemas do Sistema Telemétrico RailBee®.

Figura 2 - Sistema Telemétrico RailBee®



Fonte: ARAÚJO. PAIVA, BARBOSA (2019)

As Estações Móveis são módulos embarcados configurados com um dispositivo ZigBee - nó final - que ficam instalados no computador de bordo nas cabines dos TUEs (trens de unidade elétrica), responsáveis por captar as variáveis e

enviar para as Estações Base via radiofrequência (RF). Dependendo da distância esses dados podem ser enviados para a Estação Roteadora repetidora de sinal.

As Estações Roteadoras, dispositivos roteadores que ficam localizados nas vias entre as estações de passageiros, atuam como transceptores, recebendo da Estação Móvel (EM) e retransmitindo para a Estação Base (EB) os sinais das variáveis por radiofrequência.

As Estações Base, que são os dispositivos coordenadores, ficam localizadas nas plataformas de embarque/desembarque das estações de passageiros, recebem esses dados, que podem vir tanto da (EM) quanto da (ER), convertendo-os e os enviando para a (EC) por meio de uma rede intranet.

A Estação Central (EC) fica localizada no Centro de Controle Operacional (CCO), esse extrai os dados referentes às medidas obtidas e exibe em tempo real estas informações possibilitando ao controlador de tráfego ter as informações dos TUEs.

O protocolo ZigBee está embarcado com o módulo Xbee nos dispositivos que compõem as Estações Móveis, Roteadoras e Base, que estão sendo utilizados na captação, roteamento e processamento de dados, coletados durante o percurso dos trens na Linha Sul da CBTU/METROREC.

Todo o sistema foi estudado e desenvolvido, entretanto, para que fosse instalado, passou por algumas etapas. A primeira parte concreta é a fabricação do que foi previamente pensado, ela é feita com os instrumentos disponíveis pelo financiamento do CNPq e da infraestrutura disponível pelo IFPE, garantindo a qualidade no resultado final, que vai então para etapa de testes e simulação com o intuito da certificação do comportamento esperado e melhor entendimento de sua vida útil. A etapa final consiste na simulação e nos testes em campo, assim quando finalmente instalado o dispositivo ainda fica sob supervisão para garantir seu correto funcionamento.

Participam desse projeto bolsistas PIBEX e PIBIC do Grupo RailBee®, bem como alunos egressos e pesquisadores do IFPE Campus Recife.

#### **4 Resultados e Discussão**

O Sistema RailBee® realizou ensaios na Linha Sul da CBTU/METROREC, e através dos dados coletados é possível monitorar (figura 3) variáveis analógicas em

tempo real como: velocidade do veículo, estimativa de passageiros, aplicação de freios, corrente do motor de tração, e digitais como: indicação de cabines (frente ou ré) e portas (abertas ou fechadas).

Figura 3: Tela do software para monitoração dos dados

TUE	Velocidade	Estima.Passageiros		Freio	Corrente	Estação	TUE	Velocidade	Estima.Passageiros		Freio	Corrente	Estação
<REC CAJ>	(km/h)	Carro1	Carro4	(kN)	(A)	BASE	<REC CAJ>	(km/h)	Carro1	Carro4	(kN)	(A)	BASE
01							14						
02							15						
03							16						
04							17						
05							18						
06							19						
07							20						
08							21						
09							22						
10							23						
11							24						
12							25						
13							TESTE						

Fonte: Os autores

Assim, o sistema busca auxiliar engenheiros, técnicos e controladores de tráfego a tomarem medidas preditivas, preventivas e corretivas rápidas e seguras, visando uma gestão de qualidade e um serviço mais efetivo, evitando transtornos aos passageiros. Através de relatórios em tempo real, é possível detectar, por exemplo, a estimativa do número de passageiros e imediatamente realizar o deslocamento de mais trens caso necessário.

O RailBee® atualmente possui um pedido de patente do Sistema Telemétrico, um pedido de patente da Estação Roteadora (módulos fotovoltaicos), um registro de software da Estação Central e uma marca registrada. Encontra-se passíveis de proteção legal outras patentes e registro de software.

Além disso, o Grupo RailBee® participou de diversos eventos, dentre eles a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia - IFPE - *Campus Recife* - 2018, a 5ª Mostra Tecnológica realizado no Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação 2018 (CONNEPI - 2018), no qual o grupo foi agraciado com o prêmio de primeiro lugar, tornando-se Bicampeão da Mostra Tecnológica. Produziu, ainda, um



vídeo institucional do Grupo RailBee® para o edital proposto pelo CNPq, com o intuito de mostrar os ideais do grupo e a jornada de ensino, pesquisa e extensão.

## **5 Considerações Finais**

O sistema RailBee® busca estar em constante aprimoramento, sempre inovando com o avanço de tecnologias. Como perspectivas futuras, almeja a realização da Transferência de Tecnologia, a capacitação e o treinamento dos engenheiros, técnicos e controladores de tráfego para operação e manutenção do sistema, como também, o acréscimo de outros parâmetros a serem medidos, buscando sempre atender a novas funcionalidades de acordo com as necessidades dos operadores de tráfego.

O RailBee® possibilitou a construção de novos saberes sobre produção, construção e organização de trabalhos com foco em propostas científicas de impacto social entre os alunos, o reconhecimento de sua capacidade técnica entre revistas nacionais e internacionais, além de mostrar ser um projeto com capacidade de adequação em outros contextos de mobilização urbana, reafirmando seu caráter flexível e inovador. Desta forma, o projeto percorre uma trajetória que vai além dos construtos teóricos e práticos, mas que possibilita que os usuários do sistema de transportes públicos usufruam de segurança e conforto.

Atualmente, com a instalação do sistema e continuidade das pesquisas, estão sendo coletados dados de variáveis que influenciam no desempenho do trem, como: velocidade real, estimativa de passageiros, aplicação de freios, corrente do motor de tração, indicação de cabines e portas.

Com o encaminhamento e coleta constante, o RailBee® objetiva que sua tecnologia inovadora traga vantagens substanciais para a CBTU/METROREC e a população que utiliza seus serviços. Por meio da visualização e análise contínua dos dados coletados, adversidades serão identificadas em tempo real permitindo que as decisões sejam tomadas de forma mais rápida e segura visando melhorar em ações preditivas, preventivas e corretivas, a qualidade da gestão e dos serviços prestados pelo Metrô do Recife.

## Referências

ARAÚJO, R., C., C., **Sistema Telemétrico Dinâmico sem Fios Aplicado aos Veículos Rodoferroviários em Malhas Metroferroviárias**, Tese de doutorado - Universidade Federal da Paraíba, PPGEM, João Pessoa, PB, 2009.

BRONZATTI, L. F. C. Análise **sobre a tecnologia de rede sem fio Zigbee / IEEE 802.15.4**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo, 2013.

CAO L., JIANG W., **Zangh Z. Networked wireless Meter Reading System Based on ZigBee Technology**. em Proc. IEEE Control and Decision Conf. pp 3456, 2008.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS. **Sistemas CBTU – Recife**. 2018. Disponível em <<https://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/sistemas-cbtu/recife>>. Acesso em: 30 set 2019.

FRANÇA, G. A. T., **Estudo e especificação de um Sistema de Telemetria usando a tecnologia spread spectrum**, Campinas-SP, 1997.

Recebido em 19/05/2019.

Aprovado em 20/11/2019.

Publicado em 30/12/2019.