



Projeto Piloto de IoT para Cidades Inteligentes - Implantação de um sistema de sensoriamento da frota municipal

INATEL - INSTITUTO NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES
ICC - INATEL COMPETENCE CENTER

Santa Rita do Sapucaí
Julho de 2023

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Lista de Figuras | ii |
| Lista de Tabelas | iii |
| Acrônimos | iv |
| 1 Introdução | 1 |
| 2 Contexto do Projeto | 2 |
| 2.1 Informações sobre os municípios do projeto | 3 |
| 2.2 Parceiros Envolvidos no Sistema de Monitoramento da frota municipal | 5 |
| 3 Contexto do Monitoramento de frota | 6 |
| 3.1 Regulamentos para Monitoramento de frota | 6 |
| 3.2 Sistema de Monitoramento de frota inteligente | 6 |
| 3.3 Tecnologias | 7 |
| 4 Descrição da Solução de IoT testada | 10 |
| 5 Desafios de implementação | 13 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Santa Rita do Sapucaí/MG. Fonte: [10] | 4 |
| 2.2 | Caxambu/MG. Fonte: [12] | 4 |
| 2.3 | Piraí/RJ. Fonte: [14] | 5 |
| 3.1 | Topologia de rede de estrela com rede LTE. | 8 |
| 3.2 | Topologia de rede estrela estendida. | 8 |
| 4.1 | Tela Inicial. | 11 |
| 4.2 | Registros dos dados da frota. | 11 |
| 4.3 | Mapa com as localizações da frota. | 11 |
| 4.4 | Mapa do trajeto de um veículo. | 11 |
| 4.5 | Dados da velocidade. | 12 |
| 4.6 | Mapa das ocorrências de excesso de velocidade. | 12 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|---|
| 2.1 | Setores e Aplicações | 3 |
| 3.1 | Características dos protocolos de comunicação. | 9 |

Acrônimos

BNDES Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

FINATEL Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações

GSM *Global System for Mobile Communications*

GPS *Global System Positioning*

ISM *Industrial, Scientific, and Medical*

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Inatel Instituto Nacional de Telecomunicações

IoT *Internet of Things*

LGPD Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais

LoRa *Long Range*

LTE *Long Term Evolution*

MCTIC Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Capítulo 1

Introdução

De acordo com a Constituição Federal do Brasil, compete ao município “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local” [1]. Os transportes da rede pública municipal auxiliam na prestação desses serviços como, por exemplo, na saúde, educação, segurança, com a disponibilidade de ambulâncias, veículos escolares e a frota da Guarda Civil Municipal.

O gerenciamento da frota municipal é essencial para controlar o operacional, a logística, os custos, bem como o correto uso dos veículos. Nesse contexto, a utilização de dispositivos *Internet of Things* (IoT) permite a coleta de dados e o rastreamento dos veículos em tempo real, para otimizar o controle e a economia dos recursos públicos e auxiliar na segurança e prevenção de riscos, tanto do condutor quanto dos passageiros [2]. Além disso, a segurança dos dados é importante nesse sistema, sendo necessários algoritmos aprimorados de proteção contra ataques cibernéticos. Diante deste cenário, soluções de IoT possuem grande potencial de aplicação no setor de Mobilidade das cidades [3].

Capítulo 2

Contexto do Projeto

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), liderou um estudo denominado “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” e propôs um plano de ação para o desenvolvimento da Internet das Coisas no Brasil [4, 5]. Esse estudo foi dividido em 4 fases e cada uma dessas em objetivo e principais produtos. O produto 8A da terceira fase, nomeado “Relatório do plano de ação – Iniciativas e Projetos Mobilizadores”, cita que a adoção de IoT traz benefícios socioeconômicos para a sociedade, assim como, auxilia no cumprimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), abrangendo 43% desses objetivos [5].

Uma das verticais priorizadas no estudo é o ambiente de Cidades, que possui 4 objetivos estratégicos: mobilidade, segurança pública, eficiência energética e saneamento e inovação [5]. Dentre as ações para o cumprimento dessas metas está a implantação de um sistema de rastreamento da frota municipal, o qual pode ser integrado e interconectado ao sistema de videomonitoramento inteligente [3], criando assim um sistema integrado entre diferentes áreas, com gestão integrada e aplicações que auxiliam os setores social, econômico e ambiental, como apresentado na Tabela 2.1.

Aplicações reais do sistema de rastreamento da frota municipal já podem ser observadas em diversas cidades. O município de Retiroândia, na Bahia, implantou um sistema de monitoramento de frota nos veículos da Educação, Saúde, Assistência Social e Administração Pública. Os dispositivos utilizados possuem tecnologia GPS e diversos recursos como, por exemplo, localização, registro do caminho realizado e velocidade do veículo, assim como controle do condutor responsável durante o uso [6]. O resultado dessa implantação visa a maior segurança dos servidores e cidadãos que utilizam os veículos, além de “medir e avaliar os comportamentos de condução” [6].

Em 2022, o município de Santos, em São Paulo, também implementou um novo sistema de gerenciamento e localização da frota da Prefeitura, ampliando o controle dos veículos e viaturas ligados ao Centro de Operação e Controle. Os mais de 100 veículos da frota possuem tecnologia GPS e acompanhamento, em tempo real. O objetivo desse sistema visa maior controle das viaturas, melhorando e agilizando o atendimento das ocorrências, bem como otimizar a frota, colaborar com o controle do itinerário dos

Tabela 2.1: Setores e Aplicações

| Setor | Aplicação |
|-----------|---|
| Social | Monitoramento do tráfego; Semáforo inteligente; Estacionamento inteligente; Monitoramento de possíveis eventos críticos; Qualidade de visibilidade das vias; Segurança da população; Melhorar a interatividade com o cidadão. |
| Ambiental | Monitoramento meteorológico; Monitoramento e alertas para possíveis catástrofes; Monitoramento da poluição; Detecção de gases tóxicos; Crédito de Carbono. |
| Econômico | Alerta de acidente ou disparo de arma de fogo; Redução do consumo de energia elétrica; Redução dos custos de manutenção. |

veículos, remanejando aqueles ociosos para outra secretaria caso necessário [7].

É importante ressaltar que as soluções tecnológicas de IoT para Cidades Inteligentes são diversas, visto que, cada cidade possui diferentes desafios particulares. Com este intuito é preciso desenvolver, testar e avaliar as diferentes tecnologias disponíveis, em cenários diversificados, para verificar os impactos de cada projeto e conseguir elaborar guias para orientar a aplicação de IoT nas cidades.

Em 2018, o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), mantido pela Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações (FINATEL), enviou uma proposta de projeto piloto de IoT Cidades ao BNDES Pilotos IoT para apoio financeiro, com recursos não reembolsáveis. O referente projeto foi aceito e tem como objetivo implantar a telegestão na rede de iluminação inteligente e integrá-la com videomonitoramento para segurança pública [8], bem como realizar o monitoramento dos veículos da Administração Pública. As soluções tecnológicas serão testadas e avaliadas em três municípios, Santa Rita do Sapucaí/MG, Caxambu/MG e Piraí/RJ, entretanto, apenas na primeira cidade será implantado o sistema de rastreamento da frota municipal.

2.1 Informações sobre os municípios do projeto

O foco desse Projeto-Piloto é desenvolver soluções tecnológicas de IoT para cidades de pequeno e médio porte, ou seja, com menos de 100 mil habitantes. A implementação e avaliação da solução serão realizadas em 3 municípios brasileiros. As informações de cada local são apresentadas a seguir:

- **Santa Rita do Sapucaí/MG:**

- População estimada: 44.226 pessoas (2021) [9]

- **Piraí/RJ:**

- População estimada: 29.802 pessoas (2021) [19] [13]
- Área Territorial: 490,255 km² (2021) [13]
- Densidade demográfica: : 52,07 hab/km² (2010) [13]
- Mapa:

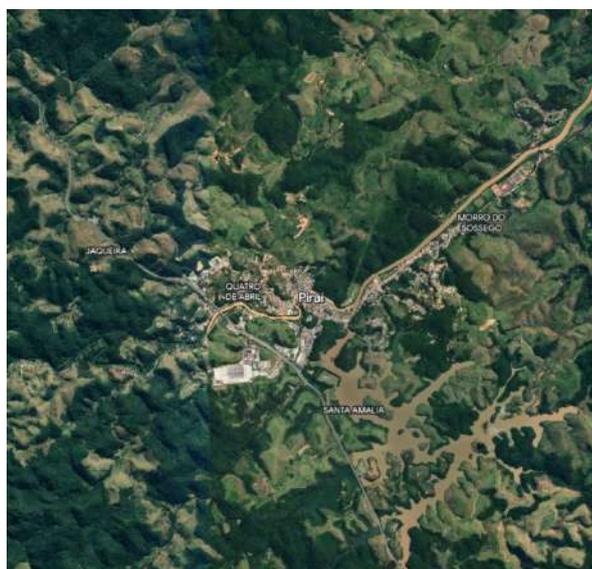


Figura 2.3: Piraí/RJ. Fonte: [14]

2.2 Parceiros Envolvidos no Sistema de Monitoramento da frota municipal

Para que o projeto de videomonitoramento seja implementado de forma eficiente, é fundamental a participação de diferentes parceiros que possam contribuir com recursos financeiros, tecnológicos e de gestão. Entre os parceiros desse projeto estão o BNDES, as prefeituras e municípios, as empresas PowerTec Rastreadores [15], TIM Celular S/A [16], e o Inatel. Cada um desses parceiros traz competências e habilidades específicas que são fundamentais para o sucesso do projeto de rastreamento da frota municipal.

Capítulo 3

Contexto do Monitoramento de frota

A quinta etapa do Projeto-Piloto de IoT Cidades é a implementação do sistema de sensoriamento da frota municipal, a qual será o objeto de estudo desse relatório. Na seção 3.1 são apresentados os regulamentos importantes para o desenvolvimento de projetos com sistema de monitoramento da frota. Na seção 3.2 é apresentado o Sistema de Monitoramento de frota municipal atual e o inteligente. Por fim, na seção 3.3 são descritas e comparadas as tecnologias disponíveis para a implementação do monitoramento.

3.1 Regulamentos para Monitoramento de frota

A seguir são citados os documentos principais sobre o contexto de rastreamento de frotas.

- **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988** [1];
- **Lei Nº 13.709, de 14 de agosto de 2018:** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) [17].

3.2 Sistema de Monitoramento de frota inteligente

Atualmente, a frota municipal é gerenciada sem o auxílio da tecnologia de IoT, em que a movimentação, manutenção e custos referentes aos veículos precisam ser definidos previamente ou durante um evento não planejado como, por exemplo, problemas mecânicos no veículo. Nesse contexto, a adoção de recursos tecnológicos e telemetria nas atividades gerenciais se torna uma alternativa para auxiliar no controle e prevenção dessas situações, otimizando os recursos públicos, agilizando o atendimento das ocorrências e reduzindo custos.

Para fins de exemplificação, suponha-se um cenário onde ocorreu uma atividade suspeita e a Guarda Municipal precisa ser acionada para atender a ocorrência. É gerado

um chamado para a viatura mais próxima ir até o local, contudo, as localizações desses veículos são conhecidas apenas após os agentes de segurança informarem suas posições, o que acarreta maior tempo de resposta da ocorrência. No cenário implementado o sistema de rastreamento da frota, essas posições já serão conhecidas previamente, permitindo um tempo de resposta menor assim como, poderá ser indicada a melhor rota até o local desejado. Além dessa situação, os transportes também estão sujeitos a apresentarem problemas mecânicos no dia a dia, mesmo com as revisões realizadas corretamente, gerando gastos extras.

Baseado nisso, a implantação de um sistema de sensoriamento de frota, em tempo real, permite conhecer informações importantes sobre o estado e a posição geográfica dos veículos, em que os sensores instalados na frota utilizam o Sistema de Posicionamento Global (do inglês, *Global System Positioning* (GPS)) e através de uma rede de comunicação transmitem os dados coletados para a nuvem ou uma central de monitoramento para serem tratados e gerarem as informações desejadas, as quais serão apresentadas em um *software* de gerenciamento para o usuário. Dessa maneira, através da análise e correlação dos dados, é possível monitorar a frota, gerar relatórios, controlar manutenções, combustível, velocidade, assim como receber alertas. Outro ponto relevante é que a utilização do monitoramento remoto de frota permite que desvios no uso dos recursos públicos possam ocorrer, minimizando pequenas apropriações do aparelho público para atividades para as quais eles não foram destinados. Ressalta-se que, a segurança do acesso e dos dados são importantes para esse sistema e devem estar em conformidade com as regras da LGPD assim como, utilizar *softwares* de proteção para evitar invasões e ataques cibernéticos.

3.3 Tecnologias

No sistema de monitoramento de frota e telemetria, como apresentado na seção anterior, são utilizados sensores conectados a uma rede de comunicação para a transmissão dos dados. No mercado há equipamentos de IoT, tanto para rastreamento de frota empresarial quanto para frota municipal, que utilizam diferentes redes de comunicação de acordo com a aplicação do projeto.

- **NB-IoT:** utiliza rede LTE, por isso, não requer *gateways* e é ideal para aplicações que exigem uma grande quantidade de transmissão dados, conexão confiável, longa duração da bateria e integração com a infraestrutura existente. No entanto, tem largura de banda limitada, preço elevado e tempo de resposta longo [18]. Sua topologia de rede é a estrela [19], como ilustrado na Figura 3.1.

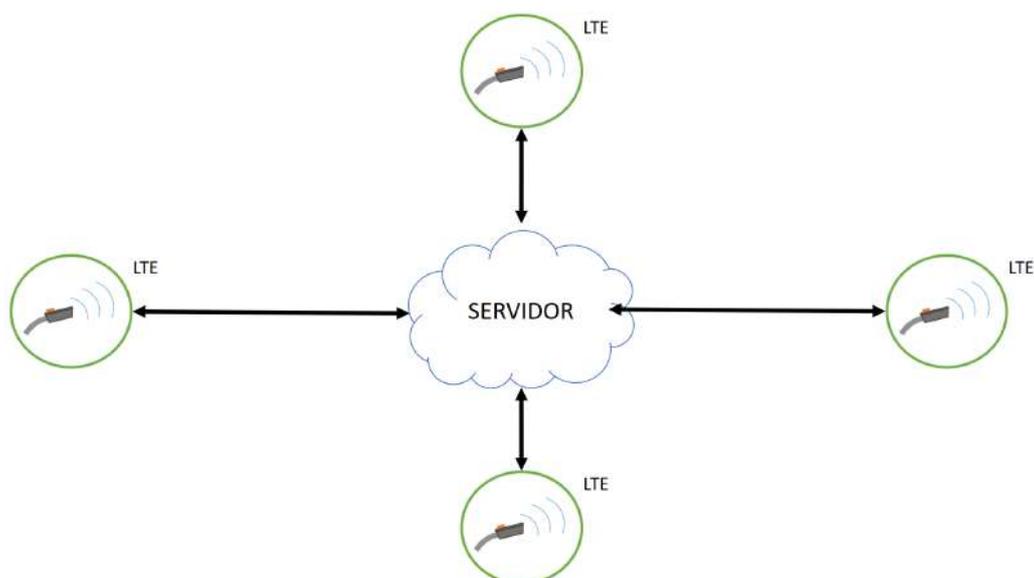


Figura 3.1: Topologia de rede de estrela com rede LTE.

- **LoRaWAN:** é um protocolo de comunicação para rede *Long Range* (LoRa), o qual permite a transmissão de dados a longas distâncias com baixo custo e longa duração da bateria. É fácil de implementar e integrar com outras tecnologias sem fio, mas sua largura de banda é limitada e pode ser afetado por interferências de outras redes sem fio. Requer *gateways* para intermediar as comunicações entre dispositivos [20]. Sua topologia de rede é a estrela estendida [21], como ilustrado na figura 3.2.

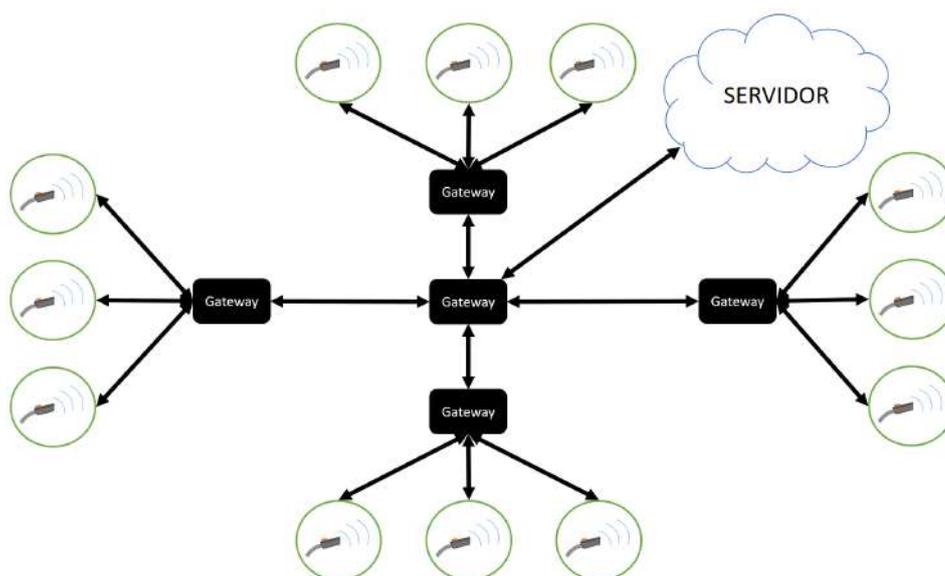


Figura 3.2: Topologia de rede estrela estendida.

A comparação entre as duas tecnologias é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Características dos protocolos de comunicação.

| | NB-IoT | LoRaWan |
|----------------------------------|---|--------------------------------|
| Frequência | GSM/LTE Band | ISM-Band |
| Velocidade de transmissão | 20-60 kbps | 30-50 kbps |
| Distância de transmissão | 15 km | Urbano: 3-5 km Rural: 15 km |
| Melhor para | Dispositivos estáticos | Todos os dispositivos |
| Consumo | Baixo | Baixo |
| Custo | Alto | Médio |
| Observações | Adequado para grandes quantidades de dados. | |

Capítulo 4

Descrição da Solução de IoT testada

Nesta seção é descrita a solução tecnológica de IoT proposta pelo Inatel para a implementação do sistema de monitoramento da frota municipal. Esse sistema será implementado apenas no município de Santa Rita do Sapucaí, apresentado na seção 2.1.

A etapa inicial do processo de implementação do monitoramento da frota é a instalação dos rastreadores veiculares na frota municipal. Buscando utilizar soluções já existentes no mercado para a viabilidade econômica da solução, a empresa parceira PowerTec Rastreadores se tornou a responsável pelo fornecimento dos equipamentos e *software* de gerenciamento para o sistema e a TIM Celular S/A responsável pela conectividade.

Na cidade serão instalados 140 rastreadores veiculares na frota municipal, do modelo GTK-110 4G da GeTrack, em rede de comunicação NB-IoT. Esses dispositivos IoT realizam o sensoriamento, em tempo real, e utilizam a tecnologia GPS para determinar a posição geográfica dos veículos, além de coletar dados desses para transmiti-los para o processamento em nuvem. Contudo, quando não há conexão com a rede, conseguem armazenar os dados em uma pequena memória interna até conseguir se conectar novamente. Ressalta-se que, há um limite de tempo para esses dados permanecerem armazenados internamente, porque quando a memória está totalmente utilizada, os dados mais antigos são sobrescritos pelos novos dados e além disso, como alternativa à rede NB-IoT, em regiões de sombra, o equipamento consegue se conectar em redes dos tipos CAT-M1, 2G e GNSS.

Alguns dos dados coletados dos veículos são: tipo e situação da ignição, velocidade, trajetos, paradas, manutenção, latitude, longitude, local, estado, deslocamento, entre outras. Em seguida, as informações são apresentadas ao usuário através da interface gráfica do software também da GeTrack. No sistema de gerenciamento, cada veículo possui uma identificação única ao ser cadastrado e assim, conseguir acessar as informações da telemetria. A tela inicial é mostrada na Figura 4.1, onde pode-se ter mais informações gerais sobre a quantidade de veículos com rastreadores instalados e quantos desses estão ligados e desligados, além dos mapas de localização e trajetos apresentados, respectivamente, nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4.



Figura 4.1: Tela Inicial.

| Motorista | Ign | Tipo | Data | Data GPS | km/h | Estado | Latitude | Longitude |
|---------------|-----|-------------------|---------------------|---------------------|------|--------|------------|------------|
| Sem Motorista | | Ignição desligada | 29/06/2023 09:49:46 | 29/06/2023 09:49:42 | 0 | | -22.225738 | -45.719469 |
| Sem Motorista | | Periódico normal | 29/06/2023 09:49:30 | 29/06/2023 09:49:25 | 12 | | -22.2258 | -45.719388 |
| Sem Motorista | | Periódico normal | 29/06/2023 09:48:28 | 29/06/2023 09:48:23 | 0 | | -22.225677 | -45.719708 |
| Sem Motorista | | Periódico normal | 29/06/2023 09:47:27 | 29/06/2023 09:47:21 | 0 | | -22.225677 | -45.719708 |

Figura 4.2: Registros dos dados da frota.



Figura 4.3: Mapa com as localizações da frota.



Figura 4.4: Mapa do trajeto de um veículo.

Na aba Relatório são gerados relatórios sobre os deslocamento e paradas, acessos, falhas de comunicação, velocidades, bem como verificar o mapa onde aconteceram as ocorrências de excesso de velocidade dos veículos, como apresentado nas Figuras 4.5 e 4.6.

| Motorista | Data/hora | Latitude | Longitude | km/h |
|---------------|---------------------|-----------|------------|------|
| Sem motorista | 06/06/2023 13:16:58 | -22.29135 | -45.659477 | 101 |
| Sem motorista | 22/06/2023 10:41:20 | -22.25605 | -45.73895 | 106 |

Figura 4.5: Dados da velocidade.



Figura 4.6: Mapa das ocorrências de excesso de velocidade.

Na aba de Cadastros, são apresentados os subclientes e os respectivos usuários. Na aba Perímetros são gerenciados a categoria, ponto, cerca e rotas. Na aba Manutenção, é possível verificar os itens de manutenção como, por exemplo, air bag, correia, filtros, freio e faróis, quando estas foram ou serão realizadas, histórico de manutenção e abastecimento. Por fim, na aba Monitoramento são apresentados a listagem de ocorrência e gerenciamento da telemetria.

Capítulo 5

Desafios de implementação

A implementação do sistema de monitoramento da frota inteligente é uma tarefa que requer planejamento para atingir os resultados esperados. É preciso considerar os desafios técnicos, operacionais, regulatórios e de expectativas da população, tais como:

- **Privacidade e segurança dos dados:** os dados coletados pelo sistema devem ser tratados, armazenados e analisados de acordo com as normas de segurança de dados. Dessa maneira, é preciso tomar medidas de segurança para proteger os dados coletados e o sistema de potenciais ameaças e invasões;
- **Custo:** a implementação de uma infraestrutura pode ter custo elevado, dependendo dos equipamentos escolhidos, assim como, qual o tipo de estrutura de conexão que será utilizado entre estes;
- **Operação, manutenção e suporte:** a operação de um sistema inteligente requer capacitação especializada dos profissionais para que o sistema funcione corretamente, assim como, seja possível a manutenção e suporte contínuos para evitar problemas de segurança.

Referências Bibliográficas

- [1] (1988) CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. [Online]. Available: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- [2] PowerTec Rastreadores. (2021) Como a implementação de um sistema pode melhorar sua Gestão de Frotas? [Online]. Available: <https://powertecrastreadores.com.br/blog/2021/09/23/como-a-implementacao-de-um-sistema-pode-melhorar-sua-gestao-de-frotas/>
- [3] (2017) Produto 7A: Aprofundamento de Verticais - Cidades. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/776017fa-7c4a-43db-908f-c054639f1b88/relatorio-aprofundamento+das+verticais-cidades-produto-7A.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m3rPg5Q>
- [4] (2018) Produto 9a: Relatório Final do Estudo. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/d22e7598-55f5-4ed5-b9e5-543d1e5c6dec/produto-9A-relatorio-final-estudo-de-iot.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m5WVld>
- [5] (2017) Produto 8: Relatório do Plano de Ação. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/269bc780-8cdb-4b9b-a297-53955103d4c5/relatorio-final-plano-de-acao-produto-8-alterado.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m0jDUok>
- [6] (2022) MUNICÍPIO DE RETIROLÂNDIA IMPLANTA SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FROTA. [Online]. Available: <https://retirolandia.ba.gov.br/municipio-de-retirolandia-implanta-sistema-de-monitoramento-de-frota/>
- [7] (2022) Monitoramento da frota de Santos ganha novo sistema e se integra ao Centro de Controle Operacional. [Online]. Available: <https://www.santos.sp.gov.br/?q=noticia/monitoramento-da-frota-de-santos-ganha-novo-sistema-e-se-integra-ao-centro-de-controle-oper>
- [8] BNDES. BNDES Pilotos IoT - Internet das Coisas. [Online]. Available: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/>

inovacao/internet-das-coisas/bndes-projetos-piloto-internet-das-coisas/
bndes-pilotos-iot-internet-das-coisas

- [9] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/santa-rita-do-sapucaia.html>
- [10] Google. (2022) *Google Earth*. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/@-22.2481203,-45.69771196,891.26221225a,12999.80446118d,35y,0h,0t,0r>
- [11] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/caxambu.html>
- [12] Google. (2021) *Google Earth*. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/search/Caxambu,+MG/@-21.98459963,-44.93253246,930.91344124a,12991.18165254d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCTA3-ABtNTbAEU85juCYSTbAGQzJqvTm00bAIUXBiEu23kbA>
- [13] IBGE. Cidades e Estados. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/pirai.html>
- [14] Google. *Google Earth*. [Online]. Available: https://earth.google.com/web/search/Pira%C3%AD,+RJ/@-22.62736872,-43.90356159,368.07216204a,17946.77045051d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCVd5Sp7x8TXAEY69TAcpBjbAGcmUnln1cUbAIVWcPK_FfEbA
- [15] PowerTec Rastreadores. PowerTec Rastreadores. [Online]. Available: <https://powertecrastreadores.com.br/index.html#hero>
- [16] TIM. TIM. [Online]. Available: <https://www.tim.com.br/>
- [17] (2018) LEI N^o 13.709, DE 14 DE AGOSTO DE 2018. [Online]. Available: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm
- [18] A. Ukovich. (2022) *NB-IoT Explained: What Is It, and How Does It Work?* [Online]. Available: <https://www.telit.com/blog/nb-iot-new-cellular-standard-means-business/#:~:text=NB-IoT%20is%20a%20Low%20Power%20Wide%20Area%20Network,and%20businesses%20while%20expending%20low%20amounts%20of%20energy.>
- [19] Wi-SUN Alliance. (2017) *Comparing IoT Networks at a Glance*. [Online]. Available: https://www.wi-sun.org/wp-content/uploads/Wi-SUN-Alliance-Comparing-IoT_Networks-r1.pdf
- [20] The Things Network. Lorawan®. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/modulation-data-rate/>

- [21] LoRa Alliance. *What is LoRaWAN® Specification*. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>