

## Análise do ciclo de vida de dispositivos inteligentes no município de Campos dos Goytacazes, RJ

### *Life cycle analysis of smart devices in the municipality of Campos dos Goytacazes, RJ*

### *Análisis del ciclo de vida de dispositivos inteligentes en el municipio de Campos dos Goytacazes, RJ*

#### Resumo

A utilização de dispositivos inteligentes para a coleta de dados de mobilidade urbana está se tornando cada vez mais comum nas grandes metrópoles do Brasil. A ideia da inserção desses dispositivos para coletar dados é inovadora, mas traz consigo alguns pontos pertinentes e que devem ser analisados com cautela. No estudo de caso realizado no município de Campos dos Goytacazes, é realizada uma análise dos dispositivos instalados em veículos pela cidade. Dessa maneira, é necessário que haja uma avaliação dos aspectos ambientais que estão atrelados à utilização desses dispositivos, como uma maneira de coleta de dados para o desenvolvimento de pesquisas, a fim de tornar a coleta e análise de dados mais eficientes e ambientalmente saudáveis. Assim, a realização de uma análise do ciclo de vida (ACV) de dispositivos inteligentes traz consigo um debate inerente da responsabilidade de autoridades, em relação ao uso de dispositivos eletrônicos, assim como o descarte dos mesmos. A ACV busca identificar se o tempo de vida útil de dispositivos inteligentes se sobrepõe à capacidade que eles possuem de captar e transmitir tais dados esperados. Assim sendo, foram explorados conceitos tais como *Internet of Things*, Tecnologia LoRa e *Smart Cities*, a fim de aprofundar o debate sobre ciclo de vida de dispositivos e ponderar a importância de um equilíbrio ambiental no debate sobre dados de mobilidade. Com alguns dos resultados obtidos, é possível identificar que 68% dos dispositivos analisados não estavam em pleno funcionamento, o que pode ser explicado pelo mau funcionamento das tomadas veiculares, bem como pelo desligamento proposital dos dispositivos pelos motoristas.

**Palavras-chave:** mobilidade inteligente; coleta de dados; ciclo de vida; dispositivos inteligentes.

#### Abstract

*Using smart devices to collect urban mobility data is becoming increasingly common in Brazil's major cities. The idea of inserting these devices to collect data is innovative, but it brings up some pertinent points that should be analyzed cautiously. In the case study made in the Municipality of Campos dos Goytacazes, an analysis is made of the devices installed in vehicles around the city. Therefore, it is necessary to assess the environmental aspects linked to the use of these devices as a way of collecting data for research development to make data collection and analysis more efficient and environmentally sound. Thus, carrying out a life cycle analysis (LCA) of smart devices brings an inherent debate about the authorities' responsibility regarding electronic device use and disposal. LCA seeks to identify whether the useful life of smart devices overlaps with their ability to capture and transmit such expected data. Therefore, concepts such as the Internet of Things, LoRa Technology, and Smart Cities were explored to deepen the debate on the life cycle of devices and consider the importance of an environmental balance in mobility data discussion. Some of the results show that 68% of the devices analyzed were not*

**Amanda de Souza Dias**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
amanda.dias@pet.coppe.ufrj.br



**Matheus Henrique de Sousa Oliveira**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
matheus@pet.coppe.ufrj.br



*fully functional, which can be explained by the malfunctioning of the vehicle sockets and the purposeful disconnection of the devices by drivers.*

**Keywords:** *smart mobility; data collection; life cycle; smart devices.*

### **Resumen**

*La utilización de dispositivos inteligentes para la recogida de datos de movilidad urbana está poniéndose cada día más común en las grandes metrópolis de Brasil. La idea de inserción de estos dispositivos para recoger datos es innovadora, pero trae algunos puntos pertinentes y que deben ser analizados con cuidado. En el estudio de caso realizado en el municipio de Campos dos Goytacazes, es realizado un análisis de los dispositivos que fueron instalados en vehículos por la ciudad. De esta manera, es necesario que haya una evaluación de los aspectos ambientales que están vinculados a la utilización de estos dispositivos como una manera de recoger datos para el desarrollo de investigaciones, con el fin de volver la recogida y análisis de datos más eficientes y ambientalmente saludables. Así, la realización de un análisis del ciclo de vida (ACV) de dispositivos inteligentes trae un debate inherente de la responsabilidad de autoridades con relación al uso de dispositivos electrónicos, así como la eliminación de estos. El ACV busca identificar si el tiempo de vida útil de dispositivos inteligentes se sobrepone a la capacidad que ellos poseen de captar y transmitir tales datos esperados. Siendo así, fueron explorados conceptos tales como Internet of Things, Tecnología LoRa y Smart Cities, con el fin de profundizar el debate sobre ciclos de vida de dispositivos y ponderar la importancia de un equilibrio ambiental en el debate sobre datos de movilidad. Como algunos de los resultados obtenidos, es posible identificar que 68% de los dispositivos analizados no estaban en pleno funcionamiento, que puede ser explicado por el mal funcionamiento de los enchufes vehiculares y también por el desligamiento intencional de los dispositivos por los conductores.*

**Palabras clave:** *movilidad inteligente; recogida de datos; ciclo de vida; dispositivos inteligentes.*

## **1 Introdução**

Atualmente os debates sobre um bom desenvolvimento das cidades e do uso da tecnologia para o aprimoramento da mobilidade urbana dos cidadãos têm sido intensos. Adjacente a isso, o uso de tecnologias é primordial para aperfeiçoar e até melhor desenvolver processos para uma mobilidade urbana mais sustentável e tecnológica, que busca priorizar aspectos sociais, ambientais e financeiros em uma mesma proporção, trazendo maior bem-estar para a sociedade e melhores resultados para pesquisas. A busca por dados de mobilidade tem se tornado crescente entre as cidades. Desse modo, diversas entidades buscam por esses dados com o intuito de tornar a mobilidade urbana mais inteligente (Bürstlein; López; Farooq, 2021, p. 3).

A utilização de dados pode otimizar a potencialidade dos governos e pesquisadores, na qual podem contribuir para uma mobilidade humana mais inteligente, confiável, segura e orientada para a demanda (Bürstlein; López; Farooq, 2021), contribuindo para melhorias ambientais e sociais sob a ótica da mobilidade. Desse modo, é importante ressaltar como essas melhorias urbanas devem estar alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), pois o mesmo busca que a sociedade seja desenvolvida e que todas as partes da população possam participar dessas mudanças. Alinhado aos interesses de uma cidade melhor desenvolvida, a escolha por tecnologias que funcionem a um custo ambiental e financeiro menor é sempre uma opção melhor observada.

A utilização de dispositivos inteligentes para coleta de dados de mobilidade urbana é primordial para que haja interação entre dados e cidades. A utilização em tempo real desses dados otimiza os resultados e torna as cidades mais inteligentes. O debate sobre como tornar uma cidade mais inteligente, a partir da utilização de dispositivos inteligentes, abrange uma necessidade de integrar infraestrutura e conectividade inteligente (Biyik *et al*, 2021).

Entretanto, é necessário que a utilização desses dispositivos seja acompanhada de estudos a respeito de sua viabilidade tanto econômica – como custos financeiros inerentes – quanto ambiental – com os custos ecológicos da utilização desses dispositivos. Para isso, é necessário que haja uma análise do ciclo de vida

desses dispositivos, buscando entender sua viabilidade energética e o quanto isso impacta na sociedade. Biyik *et al.* (2021) assumem que os segmentos que mais se destacam no âmbito da mobilidade urbana seriam: os sistemas de transportes inteligentes, dados abertos e análise desses dados. Tais segmentos possuem um papel crucial em qualquer análise que venha a ser feita nessa área.

Destarte, este artigo está sendo escrito em decorrência de um estudo que está sendo realizado na cidade de Campos dos Goytacazes, situada na região noroeste do estado do Rio de Janeiro. A coleta de dados de mobilidade urbana é feita através de dispositivos inteligentes, a fim de melhorar a mobilidade e estudos que visam auxiliar no desenvolvimento das cidades. Nesse estudo, será necessário um adensamento em relação ao município, buscando informações geográficas, climáticas, econômicas e ambientais da cidade, para que sejam implementadas as melhores soluções.

O uso de tecnologia, com o intuito de facilitar a coleta de dados e análise deles, torna a sociedade mais conectada, sustentável e inclusiva. O uso de IoT (*Internet of Things*) pode transformar a forma de vivência, sendo o seu uso para o desenvolvimento da mobilidade um fator que agrega valor ao uso de dados abertos, podendo otimizar o planejamento urbano e a escolha por dados que maximizem o bem-estar de toda sociedade. A IoT possui um papel significativo para a implementação de dispositivos desse tipo, pois possui o potencial de reduzir o consumo de energia em até 30% (Ding; Tukker; Ward, 2023), fato este que pode influenciar no ciclo de vida desses dispositivos. Dessa forma, essa busca por uma sociedade mais tecnológica, que diariamente colete dados de tudo ao redor dos mesmos, tornará as cidades mais inteligentes e incluirá todos os setores diretos e indiretos, incentivando o uso de dados abertos e acessíveis.

Para além desse debate sobre tecnologias e suas utilidades para melhor desenvolver a mobilidade, é necessário que haja um estudo sobre a viabilidade desses dispositivos. Logo, uma análise do ciclo de vida se torna importante à medida que ela pode agregar determinados pontos críticos na análise, tais quais: a eficiência energética e a durabilidade desses dispositivos, que pode explicar fatores ambientais e econômicos.

Neste estudo, a fim de colher dados de mobilidade, foram instalados dispositivos de coleta de dados, em tempo real, no transporte público na cidade de Campos dos Goytacazes, tanto em ônibus quanto em vans. Foram instaladas seis antenas LoRa, com 130 dispositivos inteligentes conectados em um carregador veicular, dentro de uma caixa com cabo para conexão USB, tanto em ônibus quanto em vans. Essas caixas foram fixadas no painel, a fim de analisar imperfeições dos pavimentos, como buracos, lombadas, entre outros.

Para esse debate, é necessário analisar os impactos ambientais que esses dispositivos causam, analisando o ciclo de vida útil de cada um deles e sua eficiência energética. Desse modo, será introduzido ao debate o conceito de *Internet of Things* (IoT) e LoRa, numa busca por mais conectividade e inteligência para as cidades. Dessa maneira, com o intuito de demonstrar o problema que será discutido neste trabalho, a próxima seção busca aprofundar conceitos pertinentes ao uso de dispositivos inteligentes.

## **2 Principais conceitos interligados a dispositivos inteligentes**

No Brasil, a inserção de dispositivos inteligentes traz a tona um debate pertinente em relação ao desenvolvimento urbano, como melhoria na expansão das metrópoles, e também para o desenvolvimento da pesquisa brasileira. O uso de novas tecnologias pode agregar, inovar e trazer mais embasamento teórico para análises de mobilidade urbana, oferecendo maior bem-estar para os usuários de transporte.

Biyik *et al.* (2021) afirmam que novas tecnologias possuem o poder de tornar as cidades mais conectadas entre si, entretanto, ainda há lacunas a serem preenchidas em relação ao uso de dispositivos inteligentes, pois os mesmos podem impactar o meio ambiente. Dessa maneira, é necessário que haja um debate em relação ao tempo de vida útil desses dispositivos. Assim, faz-se necessário analisar se o tempo de vida útil dos dispositivos instalados na cidade de Campos dos Goytacazes é viável, dado o retorno que ele levará para a mesma em termos de dados e tecnologias. A partir disso, a conexão de tecnologia, cidades inteligentes e dispositivos eletrônicos são conceitos que podem estar associados à *Internet of Things* (IoT), permitindo um entendimento mais aprofundado sobre o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos.

### **2.1 Internet of Things (IoT)**

O conceito de IoT é relativamente novo no âmbito tecnológico e possibilita a conexão e compartilhamento de informações sem a necessidade de uma intervenção humana (Hemmati; Rahmani, 2022). Esse conceito foi introduzido em 1999 numa pesquisa relacionada a etiquetas eletrônicas, em uma cadeia de produção (Ashton, 2009) e, com o passar do tempo e avanço da microeletrônica, foi se tornando possível o uso de sensores, tornando os objetos cada vez mais conectados e inteligentes (Leite; Martins; Ursini, 2017, p. 2).

O uso de IoT e os avanços tecnológicos dos últimos anos permitem automatizar uma gama maior de novas funções, sem que seja necessário que a inteligência humana opere tal equipamento diretamente. A arquitetura de uma tecnologia IoT pode ser identificada em quatro camadas principais: conectividade de sensores e redes; *gateways* e redes; serviços de gerenciamento e aplicações. O seu uso pode ter aplicação na área ambiental, energética, na área da saúde e também na área de transporte e logística.

A partir disso, a IoT juntamente com a inteligência artificial e a computação em nuvem podem mudar o futuro da coleta e análise de dados, trazendo vertentes que impulsionam produtos e serviços, melhorando a qualidade de vida humana através de um avanço na mobilidade urbana. Turjman e Abujubbeh (2019) indicam que os avanços em IoT oferecem melhores soluções para o aprimoramento na gerência de tecnologias, tornando a automação de serviços e produtos uma nova realidade, pois é uma tecnologia que tem se tornado influente no mundo atual.

A estrutura do sistema IoT pode ser observada de acordo com uma estrutura que busca indicar um sistema que age de maneira autônoma, pois consiste em um grupo de sensores que podem interagir com o ambiente na qual ele está operando. O ambiente físico está relacionado a uma tendência de conexão de computadores ao mundo real, possibilitando reconhecer, rastrear, coletar dados e transmiti-los a uma finalidade específica. Dentro desse ambiente físico, é necessário que haja um sistema de *hardware* que consiga sensoriar e entender dados menos perceptíveis em tempo real.

A partir disso, é possível observar diversas aplicações do uso da IoT. No entanto, para este trabalho, a mais importante será a aplicação de *Smart Cities*, na qual há uma troca de informações entre diversos objetos dentro da cidade: semáforos, carros, celulares, painéis, entre outros (Leite; Martins; Ursini, 2017, p. 5).

## 2.2 Smart Cities

Inerente ao uso da IoT, as *Smart Cities* são extremamente essenciais para a real aplicação de novas tecnologias. As cidades inteligentes estão cada vez mais presente em estudos que relacionam dados, tecnologias e usuários. As cidades inteligentes podem ser definidas como sendo aquelas que tornam acessíveis, sustentáveis e inclusivas, integrando a visão tecnocêntrica da sustentabilidade ambiental, social e urbana.

Caia *et al.* (2023, p.1) assumem que o surgimento das cidades inteligentes é uma solução para o planejamento urbano, apesar de ser pouco explorado o fato de como tais práticas podem trazer resultados de sustentabilidade. Essas cidades são percebidas como saudáveis e inovadoras, permitindo o alcance do uso de novas tecnologias.

O conceito de cidades inteligentes está associado aos resultados que as cidades conseguem propagar em níveis de sustentabilidade, integrando Estado e população. É possível elencar quatro categorias para o conceito de cidades inteligentes: 1) aquela que é baseada na tecnologia; 2) aquela que se baseia na economia inteligente ou mobilidade inteligente; 3) aquela que consiste em um sistema integrado; e 4) aquela que enfatiza o uso de dados, destacando o compartilhamento dos mesmos (Caia *et al.*, 2023, p. 2).

A definição de cidades inteligentes também pode estar atrelada aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que possuem metas como: cidades e comunidades sustentáveis; indústria, inovação e infraestrutura. Uma cidade que possui maior envolvimento em atividades inteligentes de otimização das metas do ODS possui melhores resultados globais de sustentabilidade (Caia *et al.*, 2023, p.4). Isso se deve à associação de sustentabilidade econômica com o tamanho da população, como uma maneira de engajar a utilização e interesse pelo uso de tecnologias.

## 2.3 Tecnologia LoRa

Relacionado às cidades inteligentes e uso de tecnologias, é possível discorrer sobre a tecnologia LoRa, que é uma dessas tecnologias inovadoras. A tecnologia LoRa permite a transmissão de informação por vários quilômetros, em um nó de origem a um *gateway* (Osorio *et al.*, 2022, p. 85). Essa tecnologia é uma tecnologia de *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), baseada na modulação *Chirp Spread Spectrum*, que podem ser utilizadas para realizar a medição inteligente em cidades, pois, nessa aplicação, os nós podem estar há muitos metros de distância de um determinado *gateway*, tendo obstáculos. Nesses casos, essa tecnologia pode alcançar longas distâncias, tendo a capacidade de negociar uma sensibilidade do sinal (Triantafyllou; Zorbas; Sarigiannidis, 2022).

Associado a um desenvolvimento rápido, a implementação de tecnologia do tipo LoRa, nas grandes cidades do país, pode permitir avanços inimagináveis na busca por maior conectividade e captação de dados. Quando a ideia de uma pesquisa é distribuir sensores em uma área muito ampla, a melhor solução para a coleta de dados é a configuração de *gateways* LoRa que sejam eficientes para coletar os dados e encaminhá-los (Mari; Gabillon, 2023)

Osorio *et al.* (2022, p. 3) indicam que há duas estratégias de roteamento da tecnologia LoRa: o protocolo de árvores; e algoritmos de malha. O protocolo de árvore sugere que cada nó encaminhe informações a partir de uma rota específica, em direção ao *gateway*. Por outro lado, os algoritmos de malha permitem que os nós se conectem sem que haja hierarquias entre eles.

Há inúmeras abordagens para o uso de protocolos em árvore. Uma primeira abordagem está relacionada ao uso de nós, que enviam apenas suas próprias informações, e nós de roteamento encaminhando dados de outros nós. Outra abordagem indica que o protocolo envia informações apenas para o *gateway*, selecionando a rota com menor número de saltos. Para o uso de protocolos de malha, a primeira abordagem associa que o protocolo coordene as janelas de transmissão e recepção, usando sinais enviados do *gateway*. Desse modo, observado os conceitos pertinentes à tecnologia de dados, a metodologia que será aplicada neste trabalho visa orientar para a viabilidade ambiental de um determinado dispositivo inteligente.

### 3 Metodologia

Neste trabalho, para uma melhor aplicação dos dados que serão retirados do projeto que está sendo desenvolvido no município de Campos dos Goytacazes, será realizada uma análise do ciclo de vida (ACV) dos dispositivos que estão sendo utilizados nesse projeto.

Depois de realizado um levantamento teórico sobre os principais conceitos pertinentes ao tema, será realizado uma ACV, na qual será o ciclo de vida desse produto, mediante às informações obtidas na triagem dos dispositivos, aprofundando cada uma de suas fases, assim como suas características. A ACV é um método quantitativo que busca avaliar os impactos ambientais, em detrimento do uso de recursos e emissões de um produto ou serviço no meio ambiente, ao longo de toda sua vida: desde a extração de matérias-primas até o fim da vida (Sanyé-Mengual; Sala, 2022, p. 2).

As aplicações de uma ACV podem se demonstrar bastantes significativas, mas são totalmente dependentes da interpretação que os seus resultados podem gerar. Isso demonstra que é necessário um trabalho detalhado e minucioso, dado que uma interpretação discrepante dos resultados pode gerar um problema na categorização do impacto daquele produto ou serviço no meio ambiente (Tavares, 2006, p.46). Dessa maneira, a aplicação de uma análise do ciclo de vida é de suma importância, no que tange o desenvolvimento do próprio país, contribuindo para a aplicação prática dessa análise, aumentando a disponibilidade de dados e, conseqüentemente, aumentando a quantidade de estudos pertinentes àquele tema (UNEP, 2020, p.3). Além disso, a capacidade local pode ser desenvolvida na mesma proporção que haja estudos decorrentes de uma ACV, visto que sua aplicação busca reduzir o consumo de recursos e encargos ambientais associados a produtos e serviços (SETAC, 2022).

A partir disso, a norma ISO 14040:2006 estabelece essa metodologia como tendo uma estrutura de quatro fases: a primeira fase é a definição de objetivo e escopo; a segunda fase é a análise de inventário; a terceira fase é a avaliação de impactos; e a quarta fase é a interpretação de resultados. Todas essas etapas precisam ser detalhadas, condicionando o motivo para a realização do estudo com as aplicações que serão pretendidas realizar.

A primeira etapa é a definição de objetivo de uma ACV, que declara a aplicação pretendida, assim como as razões para a execução do estudo, o público-alvo e se há a intenção de utilizar os resultados da análise em alguma comparação. Já o escopo busca descrever o sistema do produto que está a ser estudado, assim como as funções desse sistema, a unidade funcional, a fronteira do sistema, os procedimentos de alocação, os requisitos iniciais em relação aos dados, o tipo de análise que será aplicado, bem como o formato do relatório

para a declaração do estudo. Nessa fase, é importante definir a unidade funcional que busca ser estudada, analisando-se todas as demais etapas e a viabilidade da ACV, ou seja, a avaliação, assim como a interpretação, limitação dessa metodologia, também é observada na primeira etapa.

A etapa de análise de inventário consiste em realizar um inventário sobre os dados de entrada e saída que estão associados ao sistema, envolvendo a coleta de dados que são necessários para o alcance dos objetivos do estudo. Nesta etapa, quantifica-se o uso de recursos primários e secundários, assim como as emissões geradas (Tavares, 2006, p. 50). Na medida em que novos dados são inseridos na análise, novos requisitos e limitações podem ser identificados. Isso pode desencadear em mudanças no procedimento de coleta de dados. Nessa etapa, realizam-se a coleta e quantificação das variáveis, que estão relacionadas no processo de ciclo de tal produto ou processo (Seo; Kullay, 2006, p. 4). O processo para a realização dessa etapa considera os seguintes aspectos: coleta de dados, definição dos limites do sistema utilizado e determinação dos cálculos. Após os cálculos, faz-se necessário uma base para comparação entre sistemas.

Dentro da etapa de análise de inventário, é necessária atenção na coleta de dados, que consiste nessa entrada e saída de dados, assim como na percepção de resíduos e outros aspectos ambientais. Salienta-se que seja uma ação que também aconteça no cálculo com esses dados, visando validação, correlação dos dados aos fluxos que serão pertinentes no estudo, assim como o cálculo dos fluxos energéticos e alocação de fluxos e liberações.

A terceira etapa é a avaliação de impacto que consiste em analisar a significância dos potenciais impactos ambientais, utilizando o impacto de ciclo de vida (ICV), que associa os dados de inventário com as categorias de impacto específicas. Essa etapa converte os resultados que são colhidos no inventário para um determinado tipo de impacto, podendo incluir uma análise crítica do objeto e escopo, determinando se os objetivos iniciais foram atingidos, buscando avaliar se os mesmos podem ou não serem alcançados.

Essa etapa consiste em identificar as preocupações ambientais mais pertinentes que o estudo julga importante, ou seja, seleciona e define as categorias de impacto. Em seguida, é realizada uma classificação dos dados obtidos no inventário, atribuindo pesos para a computação dos resultados, na qual eles são agrupados nas categorias definidas anteriormente, envolvendo valores culturais e políticos (Tavares, 2006, p. 51). Por fim, é necessário caracterizar esses aspectos ambientais, podendo comparar o potencial dos impactos do produto em análise (Seo; Kullay, 2006, p. 5).

A última etapa é a interpretação do ciclo de vida, que remete a todas as fases e em quais pontos elas conseguiram chegar. A interpretação busca que haja uma reflexão dos resultados obtidos até o presente momento, e também podem concluir e recomendar decisões futuras, consistentes com os objetivos definidos anteriormente. Essa fase pode também gerar uma análise crítica em relação ao escopo da ACV e contribuir para a tomada de decisões. Essa etapa considera a identificação dos pontos ambientais mais significativos relacionando os dados obtidos no inventário. Em seguida a avaliação passa por um processo de validação da integridade dessa análise, e, por fim, a sensibilidade e consistência da ACV são consideradas, juntamente com as conclusões que foram desenvolvidas em relação às questões ambientais pertinentes (Seo; Kullay, 2006, p. 5).

Do mesmo modo, na realização de uma ACV é necessário que seja definido uma unidade funcional para quantificar o produto que será estudado, definindo os fluxos de referência para cada entrada e saída do método (Bandekar *et al.*, 2022, p. 2). Após definida a unidade funcional, é necessário estabelecer os limites do sistema da ACV, definindo qual será a fronteira desse processo, a fim de identificar quais processos do ciclo de vida de tal produto serão incluídos ou excluídos da análise. Nesse trabalho a fronteira será estabelecida de acordo com o conceito *cradle-to-grave*, visto que não há interesse em aplicações mais profundas relacionadas à economia circular e logística reversa no processo pós-uso do produto.

#### 4 Estudo de caso e aplicações

O estudo de caso está sendo realizado na cidade de Campos dos Goytacazes como um projeto piloto que busca, através de dispositivos inteligentes conectados via LoRa, coletar amostras de acelerômetro e giroscópio presentes nos dispositivos, sendo, assim, possível capturar movimentos dos dispositivos. A instalação ocorreu em janeiro de 2023 no município citado, sendo instalados 150 dispositivos, com voltagem de 12 a 24 v em corrente contínua, podendo chegar a 48 v, em ônibus e vans. Esses dispositivos são *gateways* de LoRa que rodam em tempo real e são instalados na parte elétrica dos automóveis. Esses dispositivos foram configurados e, mediante a isso, possuem a durabilidade de aproximadamente 24 horas, pois demandam muita energia.

## 4.1 Processos de Instalação

O processo de instalação dispôs de alguns desafios intangíveis, pois, por ter sido de uma aceitação voluntária por parte das empresas de ônibus e dos motoristas de vans, houve alguns casos de descrédito nesse estudo. O fator humano, então, gerou determinadas dificuldades nessa etapa, já que a receptividade negativa de determinados motoristas impactou nesse processo de instalação e também na operacionalização, pois os motoristas obtinham de um grau de intervenção alto, ou seja, eles conseguiam desligar os dispositivos e, assim, nenhum dado ser coletado. O caráter voluntário dessa pesquisa por parte das empresas de ônibus e dos motoristas foi desafiador pela falta de infraestrutura e também de planejamento (não encontrarem ônibus e vans). Dessa maneira, o projeto buscou simplificar ao máximo esse processo, para que não houvesse reclamação dos agentes principais (motoristas). Através desse processo, foi possível identificar as empresas como parceiras, trazendo o caráter de pesquisa para o estudo.

Foram instalados rastreadores GNSS, com análise de movimento embarcada (Phyll Tracker), e carregadores veiculares 12-24V, com USB 5V. A escolha desses dispositivos visou possibilitar a instalação em vans sem a necessidade de intervenções em oficinas mecânicas. Logo, as instalações ocorreram durante os intervalos de paradas das vans em seus pontos finais, o mesmo procedimento tendo sido adotado para os ônibus. Esses carregadores veiculares possuem tomada USB adicional, o que permite o carregamento de dispositivos externos, de forma a garantir o principal uso da tomada (Relatório Técnico, 2023).

Após a instalação, os dispositivos ficaram em etapa de observação e, a partir disso, observou-se que, em média, cerca de 56 dispositivos continuavam ligados, demonstrando uma queda de quase 50% dos dispositivos que foram instalados inicialmente. Isso pode ser explicado por algumas falhas que foram observadas nessa etapa, que deve ser explorada a fim de entender os respectivos motivos das falhas e de que forma afetam na durabilidade dos dispositivos. Durante a remoção dos *gateways*, constatou-se o desgaste nas fontes de alimentação, com presença de derretimento do plástico da carcaça, resultando na interrupção do funcionamento, ou, alternativamente, por problemas no posicionamento inadequado das tomadas, que se encontravam frouxas.

### 4.1.1 Instalação em Vans

Como já mencionado, o caráter voluntário desse projeto selecionou permissionários de vans para a participação, envolvendo a qualidade do pavimento das ruas da cidade, tendo como parceiro local o Instituto Municipal de Trânsito e Transportes (IMTT), tendo sido possível um apoio na instalação dos equipamentos. Nesse processo da instalação nas vans, foi priorizado aquelas que possuíam tomada veicular 12Vcc em bom estado de conservação e funcionamento. Em algumas situações, os veículos estavam com as tomadas veiculares, tipo isqueiro, com mau contato ou desativadas, o que prejudicou a instalação. A instalação buscou o posicionamento da caixa do equipamento em local central do painel, como consta na Figura 1, sem que causasse impacto às operações do veículo.

**Figura 1 – Posição dos dispositivos em vans**



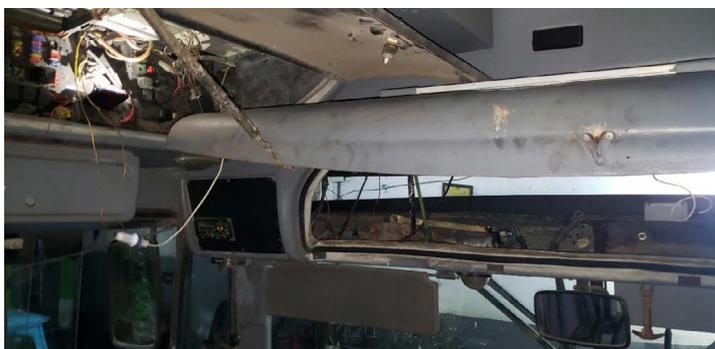
Fonte: Relatório Mob 4.0

Após esse processo de instalação, foi necessário realizar a verificação do posicionamento das placas no interior das caixas, a fim de garantir o correto posicionamento dos eixos, atendendo às necessidades do projeto para a coleta dos dados necessários: buracos, lombadas, travessias elevadas, conversões bruscas à direita e à esquerda, entre outros.

#### 4.1.2 Instalações em Ônibus

No caso dos ônibus, foram selecionadas empresas voluntárias para a participação do estudo. Nos ônibus foram utilizadas conexões elétricas disponíveis em 12Vcc sendo o carregador veicular acoplado por meio de fios com saídas USB que alimentam os equipamentos. Um desafio da instalação em ônibus foi a ausência de tomadas veiculares em muitos veículos, levando a interligação elétrica ao sistema do ônibus por meio de fios. Os dispositivos foram instalados em posição central do letreiro ou no interior do compartimento da caixa de fusíveis e barramento elétrico, como pode ser observado nas Figura 2 e Figura 3, sem que causasse impactos às operações dos veículos.

**Figura 2 – Instalação na caixa elétrica de fusíveis**



Fonte: Relatório Mob 4.0

**Figura 3 – Instalação na área do letreiro do ônibus**



Fonte: Relatório Mob 4.0

#### 4.1.3 Aplicação prática

No processo de análise prática dos dispositivos que estavam instalados no município de Campos dos Goytacazes, foi realizada uma pré-análise em 21 dispositivos que foram retirados e coletados, permanecendo na Universidade Federal do Rio de Janeiro para que fosse realizada a análise.

O processo de análise buscou identificar a integridade física dos dispositivos, a fim de observar alguns parâmetros predefinidos, que foram: condições física da bateria, condições física da antena LoRa, se o dispositivo emitia dados para o serial e se, a partir do envio de dados para o serial, o dispositivo estava em funcionamento, o que pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Triagem dos Dados

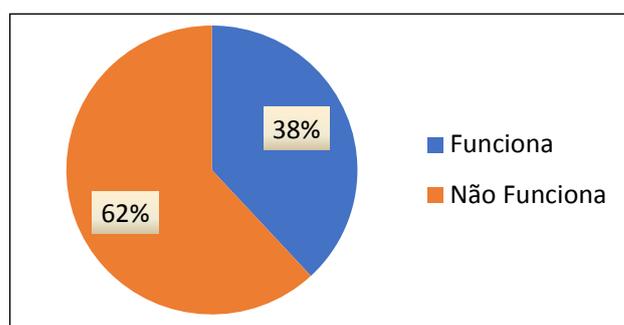
Dispositivo	Bateria Estufada?	Antena Lora?	Serial	Funciona?	Data de envio de dados	Carregador
PT-00000113	Não	Ok	Ok	Sim	15/11/2023	USB
PT-00000155	Não	Ok	Ok	Sim	15/11/2023	USB
PT-00000158	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	USB
PT-00000114	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	USB
PT-00000240	Não	Ok	Ok	Sim	Não instalado – contagem de pessoas	USB
PT-00000193	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	USB
PT-00000210	Não	Ok	Ok	Sim	15/11/2023	USB
PT-00000142	Não	Ok	Ok	Sim	15/11/2023	USB
PT-00000165	Não	Ok	Ok	Sim	28/11/2023	USB
PT-00000150	Não	Ok	Ok	Sim	24/05/2023	USB
PT-00000175	Não	Ok	Não	Não	15/11/2023	Carregador veicular
PT-00000158	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	Carregador veicular
PT-00000199	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	Carregador veicular
PT-00000201	Não	Ok	Não	Não	15/11/2023	USB
PT-00000217	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	Carregador veicular
PT-00000130	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	Carregador veicular
PT-00000195	Não	Ok	Não	Não	Nunca visto	-
PT-00000235	Não	Ok	Não	Não	Não encontrado	-
PT-00000138	Não	Ok	Ok	Não	Nunca visto	Carregador veicular
PT-00000241	Não	Ok	Não	Não	Não encontrado	-
PT-00000200	Não	Ok	Ok	Sim	Instalado na COPPE	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A partir da análise física desses dispositivos, é possível que haja uma interação com os dados colhidos em tempo real na plataforma utilizada. Dessa maneira, é possível buscar determinados fatores para aqueles dispositivos que não funcionam mais ou, então, identificar se, em algum momento, esses dispositivos funcionaram.

De acordo com a Tabela 1, é possível identificar que dos 21 dispositivos analisados, apenas oito estavam em perfeito funcionamento. Dessa maneira, mais de 60% dos dispositivos estavam com alguma falha, como é possível observar na Figura 4. É interessante notar, por sua vez, que de todos os dispositivos, que não estão mais funcionando, apresentam a antena LoRa acoplada no dispositivo.

Figura 4 – Funcionalidade dos dispositivos

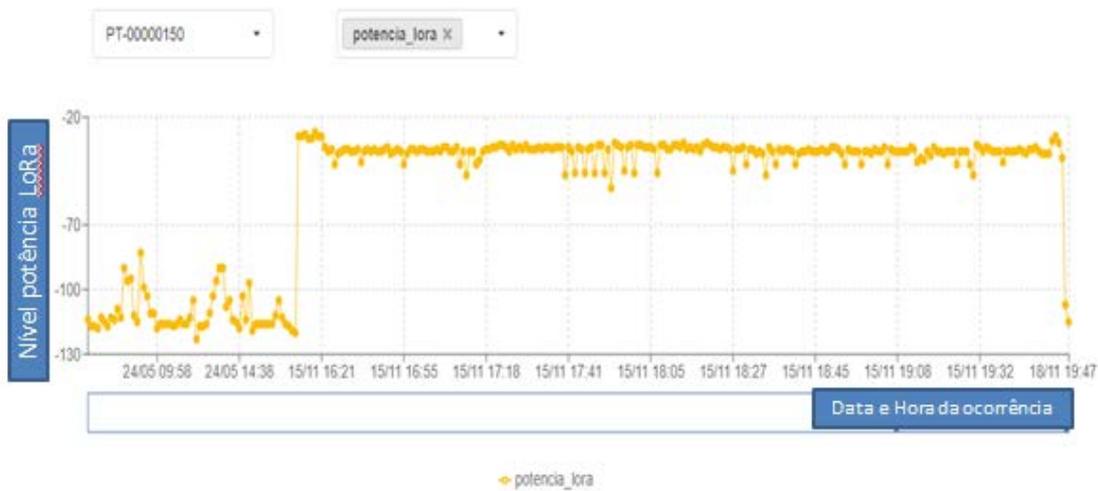


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Dos dispositivos que estão funcionando, é possível analisar cada um pessoalmente, a fim de identificar a contagem de pacotes LoRa recebidos por cada um, ao longo do tempo que estiveram instalados nos veículos. Dessa maneira, foram observados que cada um desses dispositivos (PT-00000113; PT-00000155; PT-00000240; PT-00000210; PT-00000142; PT-00000165; PT-00000150; PT-00000200) possuíam uma potência LoRa identificada. O dispositivo que mais obteve contagem de envios de dados foi o PT-00000150, com a contagem de 1709 envios.

Na Figura 5, observa-se que esse dispositivo possuiu uma variação de potência LoRa ao longo dos dias em que esteve instalado, sendo a primeira captação de dados no dia 22 de março de 2023, e no dia 18 de novembro de 2023 a data do último envio de dados. Essa variação de potência LoRa pode ser explicada através da disponibilidade da rede LoRaWAN ou até mesmo pelo desligamento proposital dos usuários de vans ou de eletricitistas de ônibus, no qual faz com que haja uma perda de sensibilidade de dados.

**Figura 5 – Potência LoRa para dispositivo PT-00000150**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Por outro lado, o dispositivo que menos obteve dados foi o PT-00000240, com registro de apenas seis envios de dados em apenas um dia, em 04 de maio de 2023. Como são poucos dados de envio, é possível observar toda a variação de potência através da Figura 6.

**Figura 6 – Potência LoRa para dispositivo PT-00000240**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o relatório do Mob 4.0 (2023), esse processo de instalação dos dispositivos buscou simplificar a colocação dos equipamentos nos veículos voluntários para o estudo. Há, entretanto, diversos desafios que foram encontrados nesse processo. Entre muitos deles, estão:

- i. Busca aleatória das vans disponíveis, sem um planejamento direcionado, influenciando em maior tempo destinado a realizar essas buscas;
- ii. Desligamento proposital dos equipamentos validados pelos próprios motoristas, evidenciando uma desconfiança no projeto e/ou dificuldades de carregamento lento em equipamentos que utilizavam a porta USB adicional;
- iii. Dificuldade com conectividade celular para atualização dos equipamentos pelo ar;
- iv. Dificuldade em localizar os veículos, pois alguns não se encontravam nas garagens ou pernoitavam na casa dos motoristas;
- v. Resistência de uma parcela à instalação dos equipamentos;
- vi. Tomadas veiculares em mau estado de funcionamento; e
- vii. Trabalho em área pública sem uma área dedicada à reserva de ferramentas e equipamentos.

Desse modo, observou-se que, em muitos casos, as fontes queimaram e a suspeita era de um problema na questão elétrica. Entretanto, foi evidenciado que algumas empresas as fontes queimaram mais do que outras. Além disso, o impacto natural dos veículos ocasiona algum tipo de impacto nos dispositivos inteligentes, mesmo que tenham amortecimento, o que demonstra outro motivo de diminuição da vida útil desses aparelhos. Outro aspecto observado ao longo do estudo foi a alta receptividade dos voluntários em relação à identificação de falhas e imperfeições no pavimento das vias urbanas. Ainda, demonstraram curiosidade sobre o processo de coleta e envio dos dados envolvidos na pesquisa.

Dessa maneira, a avaliação da amostra dos dispositivos coletados no estudo em Campos dos Goytacazes demonstrou que há uma deficiência na alocação de dados pertinentes à mobilidade urbana, ocasionando perda de informações importantes e de agrupamento de demais informações. Desse modo, torna-se imprescindível que estudos futuros realizem uma ampla análise de todos os dispositivos instalados e desinstalados no município, a fim de consolidar os dados de maneira mais concreta e possibilitar a identificação e avaliação de eventuais vieses menores.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASHTON, K. That 'internet of things' thing. **RFID Journal**, [s. l.], v. 22, n. 7, p. 97-114, jun. 2009.
- BANDEKAR, P.; PUTMAN, B.; THOMA, G.; MATLOCK, M. Cradle-to-grave life cycle assessment of production and consumption of pulses in the United States. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 302, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114062>
- BIYIK, C.; ABARESHI, A.; PAZ, A.; RUIZ, R. A.; BATTARRA, R.; ROGERS, C. D. F.; LIZARRAGA, C. Smart Mobility Adoption: a review of the literature. **Journal of Open Innovation: technology, market and complexity**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 1-20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/joitmc7020146>
- BÜRSTLEIN, J.; LÓPEZ, D.; FAROOQ, B. Exploring first-mile on-demand transit solutions for North American suburbia: a case study of Markham, Canada. **Transportation Research Part A: policy and practice**, [s. l.], v. 153, p. 261-283, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.08.018>
- CAIA, M.; KASSENS, E.; ZHAO, Z.; COLBRY, D. Are smart cities more sustainable? Na exploratory study of 103 U.S. cities. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 416, p.1-7, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137986>

- DING, S.; TUKKER, A.; WARD, H. Opportunities and risks of internet of things (IoT) technologies for circular business models: a literature review. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 336, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117662>.
- HEMMATI, A.; RAHMANI, A. A internet das aplicações de coisas autônomas: uma taxonomia, tecnologias e direções futuras. **Internet of Things**, v. 20, 2022.
- LEITE, J. R. E.; MARTINS, P. S.; URSINI, E. L. A internet das coisas (IoT): Tecnologias e aplicações. **Brazilian Technology Symposium**, [s. l.], v.1, p.1-6, 2017.
- MARI, J-M.; GABILLON, A. The MauMe network - A LoRa multi-hop collaborative protocol and low-cost implementation example. **Computer standards & interfaces**, [s. l.], v. 86, p.1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2023.103733>
- MOB 4.0. RL-004-2821-000-PH-001. **Relatório Técnico – Instalação sensores LoRa Projeto Mob 4.0 – Campos dos Goytacazes**. Disponível em: <https://www.redemob.com.br/>. Acesso em: fev/2024
- OSORIO, A.; CALLE, M.; SOTO, J.; BECERRA, J. Routing in LoRa for smart cities: a gossip study. **Future generation computer systems**, [s. l.], v. 136, p. 84-92, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.05.028>
- SANYÉ-MENGUAL, E.; SALA, S. Life cycle assessment support to environmental ambitions of EU policies and the sustainable development goals. **Society of Environmental Toxicology and Chemistry**, [s. l.], v. 18, n.5, p. 1221-1232, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.4586>
- SEO, E. S. M.; KULLAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **InterfaceHS - Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-23, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/5277>. Acesso em: 11 fev. 2024.
- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. Life Cycle Assessment. **SETAC**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.setac.org/explore-science/methods-and-approaches/life-cycle-assessment.html>. Acessado em: 14 fev. 2024.
- TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89528>. Acesso em: 11 fev. 2024.
- TRIANAFYLLOU, A.; ZORBAS, D.; SARIGIANNIDIS, P. Time-slotted LoRa MAC with variable payload support. **Computer Communications**, [s. l.], v. 193, p. 146-154, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.06.043>
- TURJMAN, F. A.; ABUJUBBEH, M. IoT-enabled smart grid via SM: an overview. **Future generation computer system**, [s. l.], v. 96, p. 579-590, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.012>
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Roadmap for National LCA database development: guidance and recommendations from around the world**. Paris: UNEP, 2020. Disponível em: [https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2020/06/INT\\_UNEP\\_LCA-Dev\\_June-10\\_sml.pdf](https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2020/06/INT_UNEP_LCA-Dev_June-10_sml.pdf). Acesso em: 14 fev. 2024.

## Sobre os autores

---

### **Amanda de Souza Dias**

Economista pela Universidade Federal Fluminense, Mestranda em Engenharia de Transportes e Pesquisadora na área de dados e mobilidade urbana

### **Matheus Henrique de Sousa Oliveira**

Bio: Dr. Engenharia de transportes. Reconheço que a minha pesquisa começa a partir da combinação da área de novas tecnologias de transporte (MaaS) com os modelos de regulamentação, concessão, operação e financiamento inteligentes de transportes. A partir da combinação de métodos colaborativos e participativos de coleta de dados, ferramentas de análise de dados, os modelos organizacionais da indústria 4.0 no setor de transportes e, finalmente, com a teoria econômica da regulamentação dos mercados, esta linha de pesquisa procura compreender como gerar valor público para a oferta de um sistema de transporte em uma Cidade Inteligente. Dentro desse conceito, estão as iniciativas do Hub de Inovação Tecnológica em Transportes e do Ubuntu\_labe que buscam alinhar o tripé Pesquisa, Ensino e Extensão ao redesenho do pensamento científico, do planejamento de transportes e responsabilidade cidadã através do empoderamento do indivíduo na cidade, na expansão do acesso à cidadania (e.g. e-governo, decisão coletiva) e na valorização de saberes científicos, tradicionais e experienciais. Por fim, também dedico parte dos meus esforços de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento de processos criativos de aprendizado baseado em projetos coletivos que busquem o desenvolvimento das habilidades fundamentais (e.g. decisão, liderança, empatia, feedback). Em um futuro dominado pela inteligência artificial, esta pesquisa compreende que o papel da universidade também deve valorizar estas ferramentas como essenciais para a formação de pessoas e o desenvolvimento social das nossas cidades. Este artigo foi desenvolvido a partir do projeto Mob4.0: Hub de planejamento inteligente da mobilidade do estado do Rio de Janeiro financiado pela FAPERJ.

---

### **Como citar:**

DIAS, Amanda de Souza; OLIVEIRA, Matheus Henrique de Sousa. Análise do ciclo de vida de dispositivos inteligentes no município de Campos dos Goyatacazes, RJ. **Rev. Technol.**, Fortaleza, v. 45, p. 1-13, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2024.15022>

**Aceito em:** 18/03/24

**Avaliado em:** 04/06/24