

DA COLETA MANUAL À TELEMETRIA AUTOMÁTICA: INTEGRAÇÃO DE OBD-II EM APLICATIVOS DE GESTÃO DE FROTAS

Luis Henrique Steinhaus Sauthier¹, Gabriel Link Mairesse², Vinícius Meyer³

Resumo: A gestão de frotas é um fator determinante para a eficiência operacional tanto para empresas quanto para motoristas autônomos, uma vez que custos relacionados a combustível, manutenção e tempo de inatividade impactam diretamente a operação. Tradicionalmente, a coleta de informações era realizada de forma manual, apresentando limitações quanto à confiabilidade, à padronização e ao tempo de resposta. Nesse contexto, a utilização do padrão On-Board Diagnostics II (OBD-II), associado a aplicativos móveis e à Internet das Coisas (IoT), desponta como alternativa promissora para automatizar a coleta e a análise de dados veiculares. Este artigo combina uma revisão da literatura com o desenvolvimento de uma prova de conceito, avaliada de forma exploratória em ambiente simulado. Como complemento à revisão, é apresentada uma arquitetura conceitual de prova de conceito que integra OBD-II, aplicativo móvel, mensageria MQTT e backend em nuvem, com o objetivo de ilustrar abordagens recorrentes identificadas na literatura. Foram analisados trabalhos que exploram arquiteturas de integração entre OBD-II, smartphones e plataformas em nuvem, além de protótipos voltados ao consumo de combustível e ao monitoramento remoto. A verificação funcional da arquitetura proposta foi realizada de forma exploratória, em ambiente controlado e por meio de simulação, permitindo observar a consistência do conjunto de dados simulado e estatísticas descritivas dos parâmetros gerados. Os resultados devem ser interpretados como evidências preliminares, apontando potencial para reduzir esforço manual e apoiar manutenção e gestão orientadas por dados,

-
- 1 Estudante de Engenharia de Software, Univates. Contato: luis.sauthier@universo.univates.br;
 - 2 Estudante de Engenharia de Software, Univates. Contato: gabriel.mairesse@universo.univates.br;
 - 3 Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC) na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) e Mestre em Computação Aplicada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). É Graduado em Engenharia da Computação pela Universidade do Vale do Taquari (Univates). Atualmente, é Professor nos cursos de Engenharia e Sistemas de Informação da Univates. Contato: vinimeyer@univates.br.

ao mesmo tempo em que destacam requisitos críticos para implantação real, como segurança, privacidade (LGPD), confiabilidade e conectividade.

Palavras-chave: Gestão de frotas; Telemetria veicular; OBD-II; Aplicativos móveis; Internet das Coisas; MQTT.

FROM MANUAL DATA COLLECTION TO AUTOMATIC TELEMETRY: INTEGRATING OBD-II INTO FLEET MANAGEMENT APPLICATIONS

Abstract: Fleet management is a determining factor for operational efficiency for both companies and independent drivers, as costs related to fuel consumption, maintenance, and vehicle downtime directly impact operations. Traditionally, data collection has been performed manually, presenting limitations in terms of reliability, standardization, and response time. In this context, the use of the On-Board Diagnostics II (OBD-II) standard, combined with mobile applications and the Internet of Things (IoT), emerges as a promising alternative for automating the collection and analysis of vehicle data. This article combines a literature review with a proof-of-concept evaluated through simulation. As a complement to the review, a conceptual proof-of-concept architecture is presented, integrating OBD-II, a mobile application, MQTT messaging, and a cloud-based backend, with the purpose of illustrating recurrent approaches identified in the literature. Studies exploring integration architectures between OBD-II, smartphones, and cloud platforms, as well as prototypes focused on fuel consumption and remote monitoring, were analyzed. An exploratory functional verification of the proposed architecture was conducted in a controlled environment through simulation, enabling the observation of simulated dataset consistency and descriptive statistics of the generated parameters. The findings should be interpreted as preliminary evidence, indicating potential to reduce manual effort and support data-driven maintenance and management, while also highlighting critical requirements for real-world deployment, such as security, privacy (data protection regulations), reliability, and connectivity.

Keywords: Fleet management; Vehicle telemetry; OBD-II; Mobile applications; Internet of Things; MQTT.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de frotas representa um dos pilares da eficiência operacional em empresas de transporte e também para motoristas autônomos. Os custos relacionados ao consumo de combustível, manutenção corretiva, tempo de inatividade e falhas operacionais impactam diretamente a competitividade e a sustentabilidade financeira das organizações.

Tradicionalmente, a coleta de informações sobre o desempenho da frota era realizada de forma manual, por meio de relatórios de motoristas e registros administrativos. Embora amplamente utilizada, essa prática apresenta limitações evidentes, como a suscetibilidade a erros humanos, a falta de precisão e a demora no acesso às informações (Almeida, 2017).

Com os avanços tecnológicos, surgiram soluções de telemetria veicular que permitem a coleta automática de dados em tempo real, integrando veículos a plataformas digitais de monitoramento. Nesse contexto, destaca-se o papel do On-Board Diagnostics II (OBD-II), um padrão internacional de diagnóstico embarcado que possibilita acessar parâmetros críticos do veículo, como velocidade, consumo de combustível, rotação do motor e códigos de falhas (Divinagracia, 2025).

A integração de dispositivos OBD-II a aplicativos móveis e plataformas em nuvem potencializa a análise e o acompanhamento da frota, permitindo potencialmente reduzir custos, apoiar a otimização de processos logísticos, favorecer a manutenção preventiva e contribuir para maior segurança operacional (Azevedo, 2023; Cará, 2021).

O presente artigo busca investigar como a adoção de soluções de telemetria baseadas em OBD-II pode apoiar a transição da coleta manual para a coleta automatizada de dados em sistemas de gestão de frotas, respondendo à questão de pesquisa: *como a integração de dispositivos OBD-II em aplicativos de gestão de frotas pode melhorar a eficiência operacional e reduzir custos em comparação com métodos manuais?*

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo consolida os fundamentos conceituais e técnicos que sustentam a transição da coleta manual para a telemetria automatizada em gestão de frotas. Além de caracterizar telemetria veicular e a interface OBD-II, são discutidas dimensões de eficiência operacional relevantes ao contexto de frotas e os mecanismos pelos quais a automação pode impactar custos, disponibilidade e manutenção.

Por fim, são apresentados requisitos críticos para implantação real – segurança, privacidade/conformidade (LGPD) e confiabilidade/conectividade – e estudos correlatos que embasam a arquitetura adotada neste trabalho.

2.1 Telemetria e gestão de frotas

A gestão de frotas é um elemento essencial para a eficiência operacional em empresas de transporte e para motoristas autônomos, pois custos relacionados a combustível, manutenção e tempo de inatividade impactam diretamente a competitividade e a sustentabilidade financeira. Tradicionalmente, a coleta de informações sobre o desempenho da frota era realizada de forma manual, por meio de relatórios de motoristas e registros administrativos, o que tornava o processo suscetível a erros humanos e atrasos na tomada de decisão (Almeida, 2017).

Com o avanço da tecnologia, surgiram soluções de telemetria veicular que permitem a coleta automática e em tempo real de dados do veículo e do contexto de uso. A telemetria, entendida como o monitoramento remoto de

parâmetros operacionais e eventos, possibilita integrar veículos a plataformas digitais, promovendo rastreabilidade, padronização de registros e suporte à gestão orientada por dados (Gomes, 2022).

2.2 Eficiência operacional em frotas: dimensões e variáveis analíticas

Para reduzir a ambiguidade associada ao conceito de eficiência operacional em sistemas de gestão de frotas, a literatura de gestão operacional e de telemetria veicular tende a tratá-lo como um constructo multidimensional. Nesse contexto, eficiência não se limita à redução de custos, mas envolve a forma como recursos, tempo e informações são utilizados ao longo da operação (Almeida, 2017; Gomes, 2022).

No presente estudo, a eficiência operacional é compreendida a partir da relação entre custos operacionais, disponibilidade dos veículos, confiabilidade das informações coletadas e tempestividade no acesso aos dados necessários à tomada de decisão. Essas dimensões permitem analisar o impacto da automação não apenas sob a ótica econômica, mas também sob aspectos operacionais e informacionais.

A adoção de soluções de telemetria automatizada atua sobre essas dimensões por meio de diferentes mecanismos. A substituição de registros manuais por leituras instrumentadas reduz a ocorrência de erros e inconsistências nos dados, ao mesmo tempo em que amplia a rastreabilidade das informações operacionais.

Além disso, a coleta contínua de parâmetros veiculares favorece o planejamento de manutenção com base em evidências, possibilitando a antecipação de eventos de falha e a redução de períodos de indisponibilidade. De forma complementar, o monitoramento de padrões de condução e consumo permite identificar comportamentos ineficientes, com impacto potencial na redução de custos operacionais.

Em conjunto, esses fatores contribuem para a diminuição do tempo de resposta a eventos críticos e para a melhoria da eficiência global da frota, conforme apontado por estudos recentes sobre a integração entre OBD-II, Internet das Coisas e plataformas digitais de gestão (Azevedo, 2023; Cará, 2021).

2.3 OBD-II: padrão, diagnóstico embarcado e integração com sistemas digitais

O On-Board Diagnostics II (OBD-II) é um conjunto de especificações para diagnóstico embarcado que padroniza acesso a informações de funcionamento do veículo, como parâmetros de sensores, estados de operação e códigos de falha (DTCs). Na prática, a leitura é realizada via conector diagnóstico e comandos padronizados de serviço/PIDs, permitindo observar variáveis como velocidade, rotação do motor (RPM), temperatura e eventos de falha (Divinagracia, 2025).

Para reforçar a base primária e normativa do tema, destaca-se que o ecossistema OBD-II se apoia em normas técnicas amplamente adotadas na indústria automotiva, responsáveis por definir os serviços de diagnóstico e os parâmetros veiculares acessíveis. Entre essas normas destacam-se a SAE J1979 e a série ISO 15031, que estabelecem requisitos de diagnóstico e comunicação entre o veículo e equipamentos externos.

Em arquiteturas de telemetria, adaptadores como os baseados em ELM327 viabilizam a conexão da porta OBD-II com smartphones ou gateways dedicados, por interfaces sem fio (Bluetooth/Wi-Fi) e posterior envio a plataformas de *backend* para armazenamento e análise (Azevedo, 2023; Cará, 2021).

2.4 IoT, mensageria MQTT e aplicativos móveis na telemetria

A convergência entre OBD-II e IoT ampliou a telemetria para um ecossistema conectado, no qual dados coletados no veículo passam a alimentar aplicações de monitoramento e análise. Protocolos leves como o MQTT foram desenhados para cenários com restrição de recursos e conectividade variável, favorecendo comunicação assíncrona e modelos *publish/subscribe* em aplicações de IoT (OASIS, 2019; Cará, 2021).

Nesse contexto, aplicativos móveis desempenham papel relevante ao oferecer interface de visualização, alertas e relatórios. A forma de apresentação – dashboards, listas de eventos, filtros e gráficos – influencia adoção e efetividade do uso dos dados na rotina operacional, especialmente quando há necessidade de ação rápida pelo gestor (Signoretti, 2018).

2.5 Pesquisas e estudos relacionados

Diversos estudos têm explorado a integração entre OBD-II, IoT e aplicativos móveis. Azevedo (2023) propôs arquitetura de veículos conectados combinando OBD-II, GPS e sensores do smartphone, ampliando a riqueza de análise. Cará (2021) desenvolveu um gateway embarcado que traduz dados OBD-II para MQTT, evidenciando viabilidade de transmissão para plataformas IoT. Almeida (2017) avaliou estimativas de consumo a partir de dados OBD-II, enquanto Jenkins *et al.* (2004) discutiram monitoramento veicular via redes sem fio, contribuindo para bases do monitoramento remoto. Gomes (2022) apresenta revisão sobre telemetria veicular, consolidando conceitos e arquiteturas de sistemas conectados.

Em conjunto, esses trabalhos evidenciam a evolução do diagnóstico local para o monitoramento remoto e, posteriormente, para arquiteturas integradas à nuvem e a aplicações móveis, reforçando o enquadramento deste estudo como uma prova de conceito alinhada a abordagens recorrentes na literatura.

2.6 Segurança e privacidade: riscos e conformidade (LGPD)

A implantação de telemetria veicular baseada em OBD-II e IoT envolve riscos relevantes de segurança da informação e privacidade, pois dados como localização, padrões de condução, rotas, horários e eventos de falha podem ser associados a um motorista identificável, caracterizando dados pessoais no contexto da LGPD (Brasil, 2018). Assim, soluções de telemetria devem considerar princípios como finalidade, adequação, necessidade e segurança, além de prever transparência, controle de acesso e medidas técnicas para proteção contra vazamentos e usos indevidos (Brasil, 2018; ANPD, 2022).

Do ponto de vista técnico, a superfície de ataque inclui o dispositivo de leitura (dongle/gateway), o aplicativo móvel, a mensageria e o *backend*. Em particular, a mensageria MQTT, quando utilizada sem autenticação forte e criptografia em trânsito (ex.: TLS), pode ficar vulnerável a interceptação, sequestro de sessão, publicação não autorizada e injeção de mensagens, afetando integridade e confiabilidade dos dados. Ademais, a própria interface OBD-II e redes veiculares podem se tornar vetores de ataque, caso o dispositivo embarcado exponha canais de acesso indevido ao veículo (Wen; Chen; Lin, 2020).

Portanto, a viabilidade de soluções em frotas depende de requisitos mínimos de segurança, como autenticação/autorização, criptografia em trânsito, gestão de segredos, segregação de dados e proteção do aplicativo e do *backend*, além de políticas de retenção e minimização de dados compatíveis com os objetivos operacionais.

2.7 Confiabilidade e conectividade: tolerância a falhas em cenários reais

Em cenários reais, a telemetria veicular opera sob conectividade intermitente e condições variáveis de rede (latência, perda de pacotes e indisponibilidade). Em gestão de frotas, essas variações podem comprometer alertas, monitoramento em tempo real e completude das séries históricas. Por isso, confiabilidade não deve ser tratada apenas como “infraestrutura”, mas como requisito de projeto que envolve protocolos, parâmetros e estratégias de resiliência.

O MQTT oferece mecanismos como níveis de Qualidade de Serviço (QoS), sessões persistentes e controle de entrega que podem ser combinados com práticas complementares: buffer/cache local no aplicativo ou gateway, reenvio após reconexão, persistência temporária de mensagens e detecção de lacunas. Essas estratégias são particularmente relevantes quando se discute viabilidade operacional, pois afetam diretamente a continuidade das séries e a confiabilidade dos indicadores gerenciais (OASIS, 2019; Cará, 2021). Neste trabalho, tais mecanismos são discutidos como requisitos críticos para implantação real, reconhecendo-se que sua validação plena exige experimentação em campo com diferentes condições de rede e carga.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para avaliar a integração do padrão OBD-II a aplicativos móveis de gestão de frotas. São descritos o tipo e a natureza da pesquisa, a abordagem utilizada, as etapas de implementação da solução, os instrumentos empregados e o protocolo de avaliação (métricas, cenários e procedimentos), com foco em reprodutibilidade e transparência metodológica.

3.1 Tipo e Natureza da Pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória e experimental, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa). O objetivo é avaliar a viabilidade técnica e prática da integração do padrão On-Board Diagnostics II (OBD-II) a aplicativos móveis de gestão de frotas, considerando o fluxo completo de telemetria (geração/coleta, transmissão, ingestão e persistência) e a apresentação dos dados ao usuário.

A pesquisa aplicada busca enfrentar um problema operacional concreto – limitações da coleta manual de dados veiculares – enquanto o caráter exploratório permite compreender potenciais, restrições e requisitos para adoção. A abordagem mista combina medições quantitativas (latência, aderência, continuidade e capacidade sob carga) com análise qualitativa e instrumentos padronizados para usabilidade da interface.

3.2 Procedimentos de Desenvolvimento, Instrumentos e Critérios de Avaliação

O estudo foi conduzido por meio de um método incremental e iterativo, organizado em cinco etapas. Inicialmente, realizou-se o levantamento bibliográfico sobre telemetria veicular, Internet das Coisas (IoT), protocolo MQTT e padrão OBD-II, estabelecendo base conceitual e técnica (Almeida, 2017; Cará, 2021; Gomes, 2022; Azevedo, 2023). Em seguida, procedeu-se à modelagem da solução, com a definição dos artefatos técnicos (arquitetura do sistema, modelo de dados e concepção da interface do aplicativo).

Na etapa de desenvolvimento do protótipo, foram criados componentes de simulação e protótipos de interface e *backend* para representar o fluxo de integração OBD-II. Para isso, utilizaram-se:

1. **Módulo OBD-II** simulado via interface ELM327, com leitura de parâmetros como RPM, velocidade, temperatura, consumo e códigos DTC;
2. **Protótipo de aplicativo** Android/iOS conforme diretrizes do Material Design 3, com apoio do Google Stitch;
3. **Mensageria IoT** via MQTT para transmissão dos dados;

4. **Backend** em nuvem com APIs REST e **armazenamento híbrido** (relacional e séries temporais);
5. **Simulador em Python** executado no Google Colab para gerar dados sintéticos exportáveis em CSV e JSON;
6. **Ferramentas de IA** generativa (ChatGPT e Stitch) como suporte à elaboração de diagramas, modelos de dados e trechos de código, com revisão e validação humana.

Os testes e a validação foram realizados com dados simulados, visando verificar a integridade do fluxo de comunicação, desempenho sob diferentes cargas e consistência dos indicadores gerados. A avaliação baseou-se nos seguintes critérios e respectivos protocolos: **precisão/aderência** (coerência entre dados gerados e persistidos), **tempo de resposta** (latência do fluxo), **continuidade** (perdas/lacunas), **escalabilidade funcional** (capacidade sob aumento de veículos e taxa de mensagens) e **usabilidade** (instrumento padronizado e tarefas representativas).

3.3 Métricas, Indicadores e Protocolo de Avaliação

Com o objetivo de tornar a avaliação reproduzível e metodologicamente transparente, foram definidas métricas operacionais associadas ao fluxo de telemetria proposto. As medições ocorreram em ambiente controlado, com dados sintéticos gerados por simulador, e devem ser interpretadas como avaliação preliminar de viabilidade técnica.

O simulador gerou séries temporais para cada veículo simulado com intervalo de amostragem fixo (Δt), publicando mensagens em tópicos MQTT por veículo. Cada mensagem continha: identificador do veículo, *timestamp* de geração (t_0), conjunto de variáveis (p.ex., RPM, velocidade, temperatura do motor e consumo estimado), e eventuais códigos DTC simulados. Ao final de cada execução, os dados foram exportados em CSV e JSON para auditoria.

3.3.1 Tempo de coleta e persistência (T_p)

Define-se T_p como o intervalo entre a geração do dado no simulador e sua persistência no *backend*:

$$T_p = t_{\text{persistência}} - t_0$$

Onde t_0 é o *timestamp* registrado no payload no momento da publicação MQTT e $t_{\text{persistência}}$ é o *timestamp* registrado no *backend* no momento da gravação no banco.

Para cada cenário de teste, foram realizadas n execuções repetidas, e o sistema registrou T_p para cada mensagem persistida. Reportaram-se medidas descritivas (média, mediana e percentis) para caracterizar latência e variabilidade.

3.3.2 Tempo manual de registro (T_m) e comparação com T_p

Para estimar o ganho em relação ao método manual, definiu-se T_m como o tempo necessário para um operador registrar, em planilha/formulário, um conjunto padrão de parâmetros equivalentes aos capturados automaticamente. O procedimento manual foi padronizado como: leitura dos parâmetros em uma fonte (simulação exibida em tela/relatório), transcrição para planilha com identificação do veículo e timestamp, e salvamento do registro.

O tempo T_m foi medido com cronômetro/instrumentação de tela, do início da leitura ao término do salvamento do registro, repetindo-se o procedimento para o mesmo conjunto de parâmetros e para o mesmo número de registros em n repetições. A comparação “redução superior a 80%” foi calculada por:

$$\text{Redução}(\%) = 1 - T_p / T_m$$

Reportando-se o resultado com base em estatísticas descritivas (p.ex., mediana de T_p e mediana de T_m) no cenário-base.

3.3.3 Aderência dos dados ($A\%$)

A aderência ($A\%$) foi definida como a proporção de registros persistidos cujo valor armazenado permaneceu dentro de uma margem de tolerância em relação ao valor gerado pelo simulador, variável a variável. Seja x_g o valor gerado e x_p o valor persistido, considera-se o registro aderente se:

$$|x_p - x_g| \leq tx$$

Onde tx é a tolerância configurada por variável, compatível com o ruído controlado do simulador (por exemplo, tolerância absoluta para temperatura e tolerância percentual para RPM/velocidade, quando aplicável). Assim:

$$A(\%) = \#(\text{registros aderentes}) / \#(\text{registros gerados}) \times 100$$

Para cada execução, o CSV/JSON gerado pelo simulador foi pareado com os registros persistidos no *backend* por (veículo, timestamp, variável). A aderência foi então computada para o conjunto total de mensagens e por variável, permitindo identificar onde ocorreram maiores desvios.

3.3.4 Continuidade da transmissão (C)

A continuidade (C) avaliou a presença de perdas, interrupções ou lacunas relevantes nas séries temporais. Foram verificadas: consistência temporal do intervalo Δt entre mensagens por veículo e discrepância entre mensagens publicadas e persistidas, a partir de logs do *broker* MQTT e contagem no *backend*.

3.3.5 Escalabilidade funcional (E): protocolo de carga

A escalabilidade foi avaliada por cenários de carga controlada, variando-se o número de veículos simulados simultaneamente (V) e a taxa de publicação por veículo ($f = 1/\Delta t$). Para cada cenário (V, f), registraram-se: *throughput* efetivo (mensagens persistidas por segundo), T_p (média/mediana/percentis), e taxa de perdas (diferença entre publicadas e persistidas).

O protocolo consistiu em executar múltiplos cenários incrementais (por exemplo, $V = 1, 5, 10, 25, 50$ veículos simulados) mantendo a mesma estrutura de payload e tópicos MQTT, e observar degradação perceptível (aumento de T_p , redução de *throughput*, perdas). A interpretação de E é funcional e preliminar, voltada a indicar comportamento sob carga em ambiente simulado.

3.3.6 Usabilidade da interface (U): instrumento e tarefas

A usabilidade foi avaliada por meio de um instrumento padronizado de percepção, recomendado na literatura de avaliação de interfaces, como o *System Usability Scale* (SUS) ou alternativa equivalente (p.ex., UEQ). O protocolo consistiu em: definição de tarefas representativas (ex.: localizar alertas DTC, acessar histórico de um veículo, consultar relatório de consumo e abrir tela de manutenção), execução das tarefas por participantes com perfil compatível (gestores/motoristas/usuários-alvo) e aplicação do questionário ao final para obter escore global e percepção de facilidade de uso.

No presente estágio, a avaliação de usabilidade tem caráter preliminar e pode ser conduzida com amostra piloto, sendo recomendada ampliação em etapa futura para aumentar a validade externa.

3.4 Método da revisão bibliográfica

A revisão da literatura foi conduzida de forma narrativa e exploratória, com o objetivo de identificar abordagens recorrentes de integração entre OBD-II, aplicativos móveis e plataformas em nuvem/IoT aplicadas à gestão e telemetria de frotas.

A busca foi realizada em bases acadêmicas e repositórios institucionais (Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect e repositórios de universidades brasileiras), utilizando combinações de termos em português e inglês, tais como: "OBD-II", "vehicle telemetry", "fleet management", "MQTT", "IoT", "smartphone", "ELM327" e "cloud backend".

Como critérios de inclusão, foram considerados estudos publicados entre 2004 e 2025, com foco em:

- Coleta de dados via OBD-II;
- Transmissão para aplicação móvel ou nuvem;
- Uso em monitoramento remoto, consumo ou manutenção.

Foram excluídos trabalhos sem descrição de arquitetura/integração, documentos sem acesso ao texto completo e estudos fora do domínio veicular.

Os estudos selecionados foram analisados qualitativamente, extraindo-se elementos arquiteturais recorrentes (camadas, protocolos, componentes e fluxos de dados), requisitos críticos (segurança, conectividade e privacidade) e métricas utilizadas. Esses achados orientaram a definição da arquitetura conceitual e do protocolo de avaliação apresentado neste trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

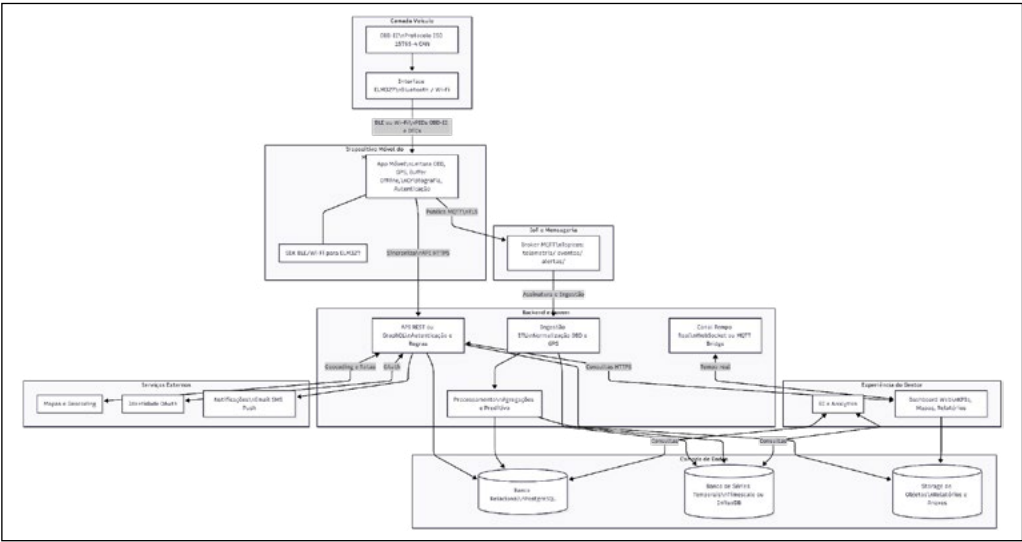
Este capítulo descreve o desenvolvimento da prova de conceito, detalhando a arquitetura proposta, o modelo de dados, a prototipagem de interface e o simulador utilizado para gerar e transmitir telemetria sintética via MQTT.

Ressalta-se que os artefatos e resultados apresentados nesta seção têm caráter experimental e exploratório, com validação em ambiente controlado, não constituindo comprovação de desempenho ou robustez em operação real. Os achados devem ser interpretados como evidências preliminares que orientam etapas futuras com hardware OBD-II e testes de campo.

4.1 Arquitetura do Sistema

O sistema proposto foi estruturado em uma arquitetura modular composta por **cinco camadas**, conforme ilustrado na Figura 1. Essa organização visa separar responsabilidades funcionais, facilitar manutenção e permitir escalabilidade da solução. A seguir, descrevem-se as camadas que compõem a arquitetura e suas respectivas funções no fluxo de telemetria veicular.

Figura 1 - Arquitetura da solução de telemetria OBD-II integrada a aplicativo móvel, mensageria MQTT e backend em nuvem.



Fonte: Dos autores (2025).

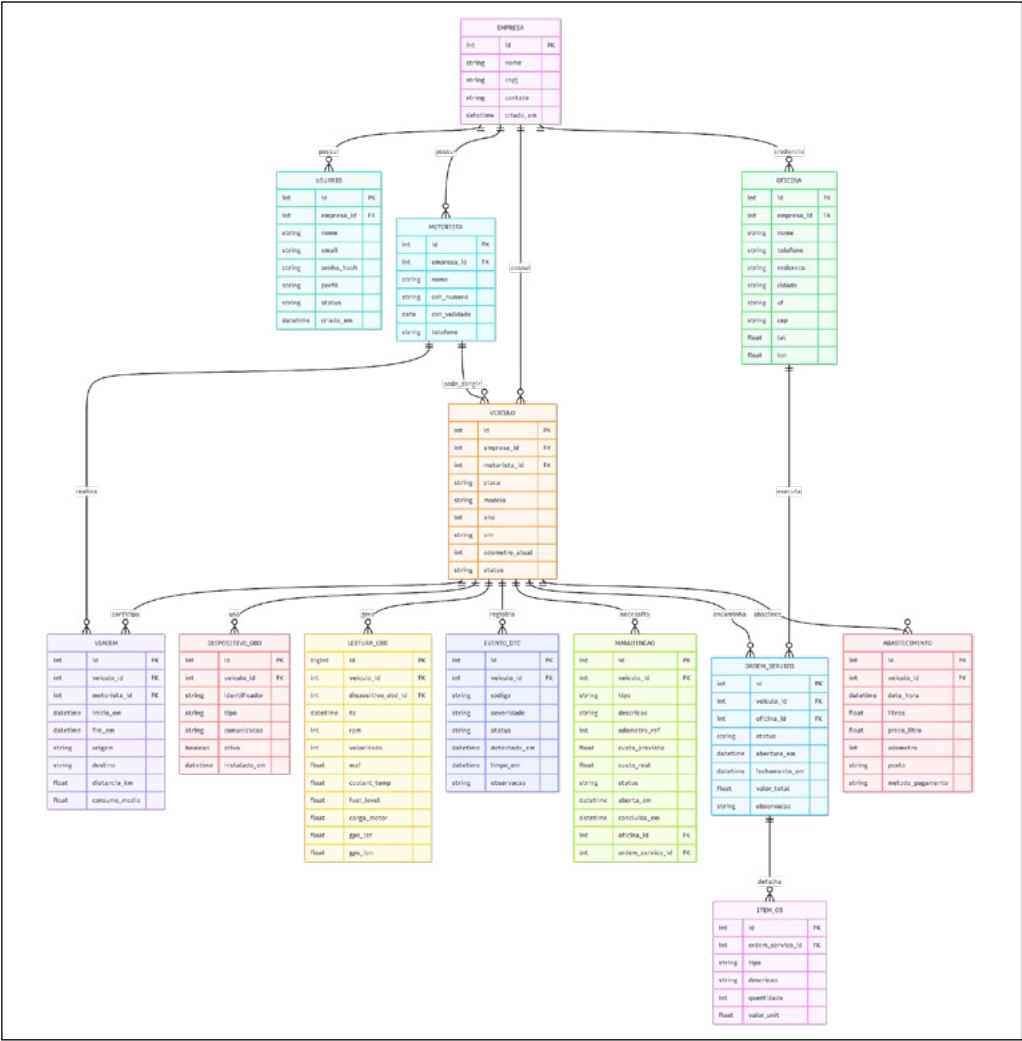
1. **Camada Veicular:** responsável pela coleta de dados diretamente do veículo por meio do módulo OBD-II e da interface ELM327, obtendo parâmetros como RPM, velocidade, temperatura e códigos de falha.
2. **Camada Móvel:** composta pelo aplicativo, que realiza a leitura dos dados via Bluetooth/Wi-Fi, aplica tratamentos iniciais e encaminha as informações ao ambiente de mensageria.
3. **Camada IoT:** utiliza o protocolo MQTT para a transmissão assíncrona de dados de telemetria, garantindo comunicação leve e adequada a ambientes com conectividade variável.
4. **Camada Backend:** encarregada da ingestão, processamento e armazenamento dos dados em nuvem, além de expor serviços por meio de APIs para consumo por outros módulos.
5. **Camada de Visualização:** disponibiliza *dashboards* e relatórios para o gestor de frotas, permitindo análise operacional e apoio à tomada de decisão.

Essa estrutura em camadas favorece modularidade e integração, além de permitir a incorporação progressiva de requisitos de segurança, escalabilidade e interoperabilidade com plataformas corporativas de transporte e logística.

4.2 Modelo de Dados

O modelo entidade-relacionamento (ER) foi elaborado para representar as principais informações manipuladas pelo aplicativo de gestão de frotas e sua integração com telemetria OBD-II. Conforme ilustrado na Figura 2, a estrutura organiza as entidades centrais do domínio - Empresa, Usuário, Motorista, Veículo, Dispositivo_OBD, Leitura_OBD, Evento_DTC, Viagem, Abastecimento, Manutenção, Oficina, Ordem_Serviço e Item_OS - permitindo relacionar dados operacionais da frota aos eventos automáticos coletados do veículo.

Figura 2 - Modelo Entidade-Relacionamento (ER) do aplicativo de gestão de frotas com telemetria OBD-II.



Fonte: Dos autores (2025).

No diagrama, a entidade Empresa atua como elemento agregador, vinculando usuários do sistema, motoristas, veículos e oficinas credenciadas. Cada Veículo associa-se a um Motorista responsável e a um Dispositivo_OBD, que gera registros contínuos em Leitura_OBD (p.ex., RPM, velocidade, temperatura, consumo e localização).

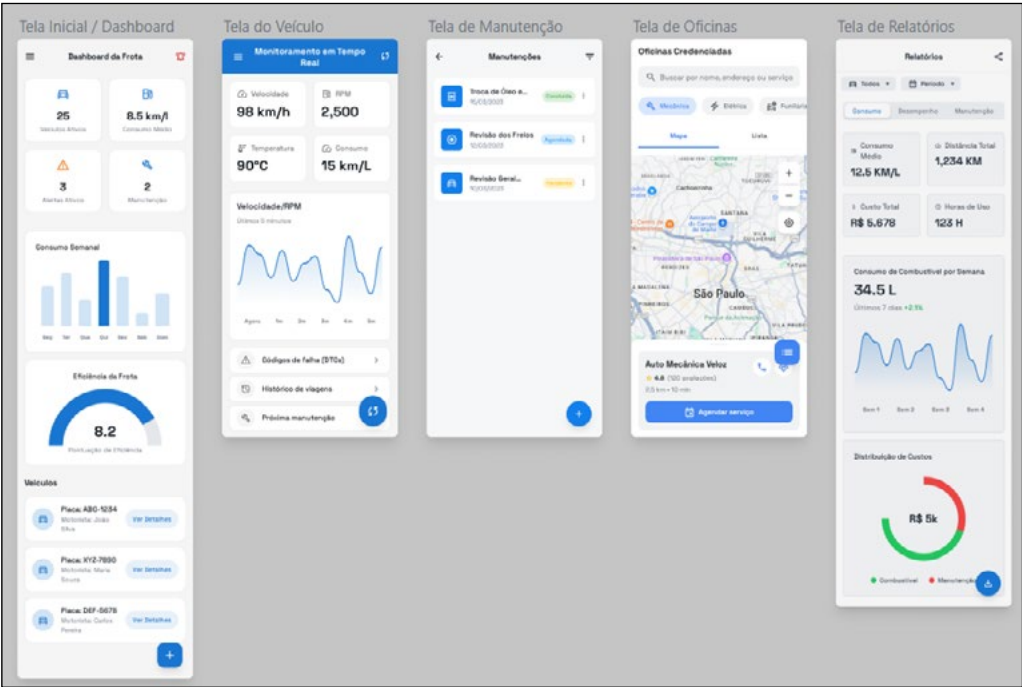
Esses registros podem originar Evento_DTC, representando códigos de falha e alertas de diagnóstico. Tais eventos subsidiam processos de Manutenção e a abertura de Ordens de Serviço em uma Oficina. O modelo também contempla rotinas de gestão operacional, como Viagem (trajetos e indicadores de condução) e Abastecimento (volume, custo e odometragem), apoiando análises comparativas entre consumo, condições do veículo e estilo de direção.

Além de representar as relações funcionais, o modelo foi concebido para operar em armazenamento híbrido: entidades cadastrais e transacionais (p.ex., Empresa, Usuário, Veículo, Motorista, Oficina, Ordem_Serviço) permanecem em base relacional, e as leituras de telemetria (p.ex., Leitura_OBD) em estrutura orientada a séries temporais, adequada ao alto volume e frequência. Dessa forma, busca-se manter a rastreabilidade entre eventos técnicos e decisões operacionais sem comprometer o desempenho.

4.3 Prototipagem da Interface (UI/UX)

A prototipagem da interface foi realizada no Google Stitch com o objetivo de visualizar, antes da implementação completa, como os dados de telemetria OBD-II seriam apresentados ao gestor de frotas. A Figura 3 sintetiza as cinco telas centrais do aplicativo, organizadas para apoiar monitoramento operacional e tomada de decisão.

Figura 3 - Protótipo das principais telas do aplicativo: Dashboard, Veículo com dados OBD-II, Manutenção, Oficinas credenciadas e Relatórios de desempenho.



Fonte: Dos autores (2025).

Na tela **Dashboard**, foram priorizados indicadores gerais da frota (p.ex., veículos ativos, consumo médio, alertas e eficiência global), oferecendo visão rápida do estado operacional. A tela **Veículo** concentra o acompanhamento individual em tempo real, exibindo parâmetros vindos do OBD-II (p.ex., velocidade, RPM, temperatura e consumo), além de gráfico de variação recente e atalhos para histórico de viagem e códigos DTC.

A tela de **Manutenção** apresenta revisões programadas e realizadas, com status visual e opção de agendamento, favorecendo controle preventivo. A tela de **Oficinas** integra mapa e lista de parceiros credenciados, facilitando a busca por localização/serviço e abertura de ordem. Por fim, a tela de **Relatórios** reúne métricas consolidadas (consumo, distância, custos e horas de uso), oferecendo visão histórica comparativa.

A interface foi construída seguindo princípios de consistência visual e hierarquia de informação, alinhada às diretrizes do Material Design 3, com o objetivo de reduzir a carga cognitiva e tornar a navegação intuitiva. A avaliação de usabilidade, nesta etapa, é preliminar e baseada em navegação simulada e tarefas representativas, sendo recomendada validação futura com usuários

reais e instrumento padronizado (p.ex., SUS/UEQ), conforme delineado no protocolo metodológico.

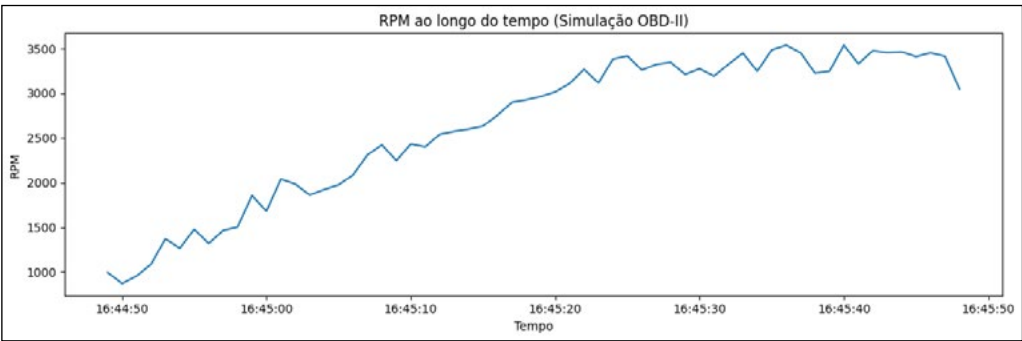
4.4 Protótipo Funcional e Simulação OBD-II

Para viabilizar a validação inicial sem dependência imediata de hardware físico, foi desenvolvido um simulador em Python, executado no Google Colab. O simulador gera dados sintéticos de telemetria, reproduzindo o comportamento esperado de parâmetros OBD-II em um cenário controlado de condução, e foi projetado para publicar esses dados via MQTT (quando habilitado), representando o fluxo real de comunicação entre veículo, aplicativo e *backend*.

A geração dos dados ocorre por meio de séries temporais com variação gradual e ruído controlado, representando situações típicas de uso do veículo. Foram simulados parâmetros como RPM, velocidade, temperatura do motor, carga e consumo, respeitando faixas plausíveis de operação e correlações esperadas entre variáveis. Ao final de cada execução, os dados são exportados em CSV e JSON, permitindo inspeção manual e ingestão automática no *backend*.

A Figura 4 apresenta uma série simulada de RPM ao longo do tempo, ilustrando a evolução contínua do sinal e a ausência de valores fora de faixa no cenário controlado.

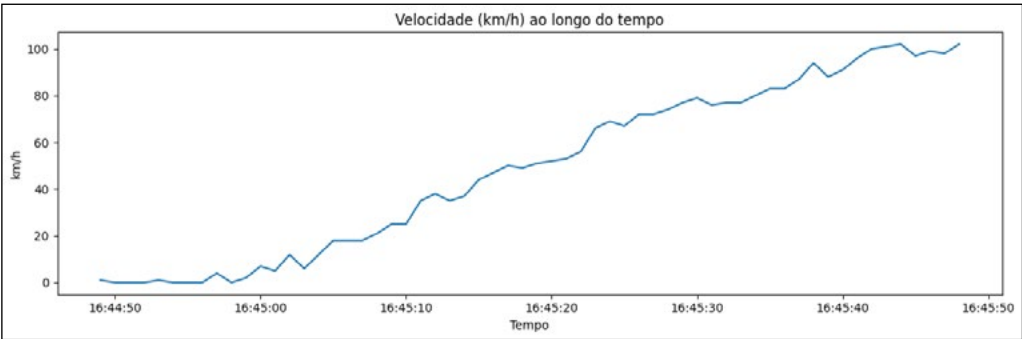
Figura 4 - Gráfico de RPM ao longo do tempo (simulação OBD-II).



Fonte: Dos autores (2025).

De forma complementar, a Figura 5 apresenta a série simulada de velocidade (km/h). Em conjunto, as curvas permitem verificar consistência temporal nos intervalos de amostragem e estabilidade do fluxo para teste do sistema.

Figura 5 - Gráfico de velocidade (km/h) ao longo do tempo.



Fonte: Dos autores (2025).

Essa estratégia permitiu validar o gerador sintético e a consistência das séries temporais, além de preparar a base para testes do fluxo completo – geração/coleta, transmissão MQTT, ingestão no *backend* e armazenamento em banco de dados – em etapas posteriores com *broker* e *backend* instrumentados.

Com isso, foi possível verificar coerência do *pipeline* de telemetria antes da integração com módulo OBD-II físico, reduzindo custos e acelerando o ciclo de prototipação.

4.4.1 Especificação do simulador e parâmetros de geração

O simulador OBD-II foi implementado em Python com o objetivo de gerar telemetria sintética em formato estruturado e reproduzir padrões plausíveis de operação veicular em ambiente controlado. A execução utilizada nesta prova de conceito foi configurada com duração de 60 s e intervalo de amostragem de $\Delta t = 1$ s, totalizando $N = 60$ mensagens para um veículo simulado (*vehicle_id* = "GOL"). Cada mensagem é registrada com *timestamp* UTC em formato ISO 8601 e exportada em CSV e JSONL, permitindo auditoria e reprocessamento.

O *payload* gerado contém os campos: *ts*, *vehicle_id*, *rpm*, *speed_kmh*, *coolant_c*, *maf_gps*, *load_pct*, *fuel_level_pct* e *dtc*. As variáveis *rpm* e *speed_kmh* foram modeladas com comportamento oscilatório suave (funções senoidais com saturação e ruído controlado) para representar aceleração/desaceleração.

A temperatura do líquido de arrefecimento (*coolant_c*) foi gerada com modelo de aproximação exponencial, refletindo inércia térmica, acrescida de ruído limitado. As variáveis *maf_gps*, *load_pct* e *fuel_level_pct* foram geradas com variações graduais e ruído controlado, mantendo-se dentro de faixas plausíveis.

A simulação prevê geração de eventos de falha (*dtc*) em intervalos regulares de 120 s, sorteando valores entre {P0300, P0420, P0138}. Na execução

de 60 s reportada neste estudo, não houve ocorrência de DTC devido à janela de tempo inferior ao gatilho configurado.

Opcionalmente, as mensagens podem ser publicadas via MQTT em tópico dedicado (telemetria/{VEHICLE_ID}/obd), com QoS 0, permitindo testar o fluxo de mensageria quando um broker está disponível. O *dataset* do cenário-base contém 60 registros e foi utilizado para compor as Figuras 4 e 5 e as Tabelas 1 e 2.

4.5 Resultados Preliminares (ambiente simulado)

Os resultados desta seção foram obtidos a partir da execução do cenário-base do simulador OBD-II descrito na Seção 4.4, configurado com duração de 60 s e intervalo de amostragem de 1 s. Para manter consistência com as figuras e exemplos apresentados ao longo do trabalho, as tabelas reportam os valores do mesmo conjunto de dados que originou os gráficos do artigo.

Tabela 1 - Configuração do cenário simulado (cenário-base)

Parâmetro	Valor
Duração da simulação	60 s
Intervalo de amostragem (Δt)	1 s
Frequência nominal	1 Hz
Veículos simulados	1
Identificador do veículo	GOL
Total de amostras (N)	60
Variáveis geradas	rpm, speed_kmh, coolant_c, maf_gps, load_pct, fuel_level_pct, dtc
Formatos de saída	CSV e JSONL
MQTT	desativado no cenário-base (ENABLE_MQTT=False)

Fonte: Dos autores (2025).

A Tabela 2 apresenta estatísticas descritivas das séries geradas no cenário-base, permitindo observar faixas de operação e variabilidade dos sinais simulados.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis simuladas (N = 60)

Variável	Mín	Máx	Média	Desvio-padrão
RPM	870	3538	2631,17	818,16
Velocidade (km/h)	0	102	48,82	36,02
Temperatura (°C)	68,9	79,8	74,50	2,44
MAF (g/s)	5,8	15,87	12,09	2,72
Carga (%)	27,8	84,7	66,43	15,15
Combustível (%)	78,7	80,1	79,42	0,35

Fonte: Dos autores (2025).

Os resultados numéricos indicam comportamento coerente dos parâmetros operacionais em ambiente controlado. Observou-se variação gradual de RPM e velocidade ao longo do tempo, com velocidade não negativa (mínimo de 0 km/h) e RPM respeitando o piso mínimo configurado no simulador.

A temperatura do motor apresentou evolução compatível com aquecimento progressivo e baixa variabilidade (média de 74,50 °C), enquanto carga e MAF variaram dentro de faixas plausíveis. O nível de combustível apresentou variação reduzida no período simulado, como esperado para uma janela curta de 60 s.

Como a duração do cenário-base foi inferior ao gatilho configurado para geração de falhas no simulador (eventos DTC a cada 120 s), não houve ocorrência de códigos de falha no período analisado, resultado consistente com a especificação do gerador.

Embora o simulador tenha sido executado múltiplas vezes durante o desenvolvimento, os sinais gerados apresentaram comportamento semelhante entre execuções, com variações restritas ao ruído controlado. Para manter consistência com as figuras e exemplos do artigo, optou-se por reportar formalmente o conjunto de dados do cenário-base utilizado nos gráficos e artefatos apresentados.

A reprodutibilidade do cenário é favorecida pela parametrização explícita (duração e Δt) e pelo uso de semente fixa no gerador pseudoaleatório (random.seed(42)), permitindo regenerar o *dataset* sob as mesmas condições e facilitar auditoria e replicação.

As métricas de latência ponta a ponta (T_p), continuidade sob conectividade variável (C) e aderência entre valores publicados e persistidos (A%) permanecem como critérios do protocolo metodológico e serão verificadas em etapa posterior, quando o *pipeline* completo estiver instrumentado (broker MQTT em execução, logs de publicação/recepção e registro de *timestamp* de persistência no backend).

No presente estágio, a evidência quantitativa reportada refere-se ao comportamento do gerador sintético (Tabela 2), utilizado para validar consistência e plausibilidade das séries antes da integração com hardware OBD-II e testes de campo.

Para tornar os resultados comparáveis em futuras etapas com hardware real e cenários de campo, este trabalho estabelece metas operacionais a serem verificadas empiricamente:

- manter T_p abaixo de um limite máximo definido por cenário (p.ex., percentil 95);
- preservar $A\%$ acima de um patamar mínimo por variável e por veículo;
- manter taxa de perda abaixo de um limite em cenários com conectividade variável e reconexão;
- aferir impacto de telemetria no dispositivo móvel (p.ex., consumo de bateria e uso de dados) durante períodos de operação.

Ressalta-se que estes resultados são preliminares e dependentes do ambiente simulado, não representando confirmação de desempenho em campo, onde fatores como ruído, incompatibilidades de PIDs, latência de rede móvel, perdas e limitações de hardware podem alterar significativamente os indicadores.

4.6 Discussão dos Resultados

Os achados preliminares, obtidos em ambiente simulado, estão alinhados ao que Azevedo (2023) e Cará (2021) apontam sobre o potencial do OBD-II como fonte de dados para telemetria em gestão de frotas. No presente estudo, essa convergência é observada pela coerência e plausibilidade das séries geradas no cenário controlado (Tabela 2) e pela capacidade de representar o fluxo conceitual de telemetria por meio de um protótipo em camadas.

As métricas ponta a ponta (T_p , $A\%$ e C), embora definidas como critérios do protocolo metodológico, não foram mensuradas no cenário-base reportado, sendo reservadas para validação posterior com instrumentação do broker MQTT e backend.

Entretanto, os resultados não devem ser interpretados como confirmação de eficácia operacional em contexto real. A validação realizada é compatível com uma prova de conceito, cujo papel é reduzir incertezas técnicas iniciais e orientar a construção de um MVP com hardware e testes de campo, nos quais restrições de conectividade, custo, compatibilidade veicular e requisitos regulatórios influenciam o desempenho final.

O uso de ferramentas de IA generativa mostrou-se útil para apoiar prototipagem e documentação (diagramas, modelo de dados e esboços de

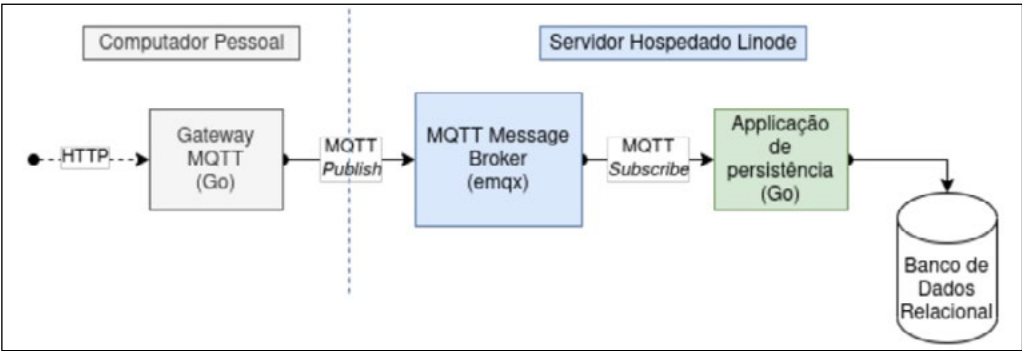
código), com revisão humana para assegurar consistência técnica e aderência metodológica.

4.7 Estudo de Caso de Implementação Baseado em Cará (2021)

Como forma de reforçar a plausibilidade técnica da abordagem, foi analisado o sistema desenvolvido por César Augusto Führ Cará (2021) no trabalho “Aplicação de protocolo IoT para monitoramento veicular”. Nesse estudo, o autor validou a comunicação entre OBD-II e plataformas IoT por meio do Raspberry Pi Zero W, com conectividade Wi-Fi e Bluetooth integradas.

O sistema foi desenvolvido em Go e Python, utilizando MQTT para envio dos dados coletados via OBD-II a um servidor remoto. Os dados foram armazenados em banco relacional e exibidos por meio do Grafana, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Componentes do teste de validação da proposta.



Fonte: Cará (2021).

A implementação apresentada por Cará (2021) evidencia viabilidade técnica em ambiente real controlado, oferecendo um referencial empírico para a arquitetura conceitual aqui discutida. Ainda assim, a extrapolação para contextos operacionais de frotas depende de testes em diferentes veículos, rotinas de uso e condições de conectividade.

4.8 Considerações Parciais e Viabilidade de Implantação

As etapas de Procedimentos Metodológicos e Desenvolvimento consolidaram um arcabouço experimental que indica coerência técnica da integração entre OBD-II, IoT e aplicativos móveis em ambiente controlado. Os resultados simulados, combinados ao referencial empírico de Cará (2021), sugerem que a abordagem é promissora como prova de conceito.

Para discutir viabilidade em cenários reais, é necessário considerar fatores adicionais:

- Compatibilidade com diferentes veículos, protocolos e PIDs suportados;
- Custo total por veículo (hardware OBD-II/gateway, plano de dados móveis e infraestrutura de backend);
- Manutenção e suporte (atualizações, monitoramento, substituição de dispositivos e gestão de falhas);
- Segurança e conformidade (LGPD), incluindo consentimento, minimização, retenção, controle de acesso e proteção em trânsito/reposouo.

Os próximos passos incluem: conexão com dispositivos OBD-II físicos (p.ex., ELM327 ou módulos dedicados), testes de campo com veículos reais e avaliação sistemática de desempenho (latência, perdas, consumo de recursos e custos operacionais). Essa evolução permitirá transformar o protótipo conceitual em um MVP capaz de operar em cenários reais de gestão de frotas.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA IMPLANTAÇÃO

Este capítulo consolida a discussão dos achados obtidos na prova de conceito em ambiente controlado, articulando-os com o referencial teórico e com os requisitos para evolução do protótipo para um MVP em cenário real. Os resultados aqui apresentados devem ser interpretados como evidências preliminares, derivadas de simulação, cujo objetivo é caracterizar o comportamento do fluxo de telemetria e orientar a próxima etapa de validação com hardware OBD-II e testes de campo.

Para aumentar a rastreabilidade e a reprodutibilidade da discussão, a análise é organizada em torno das métricas e critérios definidos no protocolo metodológico: tempo de coleta e persistência (T_p), tempo manual (T_m), aderência ($A\%$), continuidade (C), escalabilidade funcional (E) e usabilidade (U).

5.1 Evidências do Ambiente Simulado e Consistência do Fluxo de Telemetria

No ambiente simulado, o *pipeline* proposto mostrou-se consistente do ponto de vista funcional a partir da geração de dados sintéticos e validação de coerência dos parâmetros (Tabela 2). As métricas ponta a ponta (T_p), aderência entre publicado e persistido ($A\%$) e continuidade sob conectividade variável (C) permanecem como objetivos do protocolo metodológico e serão confirmadas em etapa posterior com instrumentação do *broker* MQTT e *backend*.

Assim, nesta etapa, a evidência empírica quantitativa refere-se à estabilidade do gerador sintético e às faixas plausíveis das variáveis simuladas, servindo como base para evolução do protótipo para testes com hardware e conectividade real.

Essas evidências não configuram validação definitiva de desempenho, pois o cenário simulado não incorpora integralmente fatores de campo, como ruído e variabilidade de PIDs, latência de rede móvel, interrupções de conectividade, limitações de hardware e diferenças de implementação entre veículos. Ainda assim, os achados são úteis para reduzir incertezas iniciais e fundamentar a evolução do protótipo.

5.2 Centralização, Padronização e Qualidade dos Dados Veiculares

A arquitetura proposta, ao utilizar o OBD-II como fonte primária de telemetria, favorece padronização e disponibilidade de parâmetros essenciais (p.ex., velocidade, temperatura, RPM, consumo e códigos DTC), conforme indicado na literatura (Azevedo, 2023; Cará, 2021). A integração com *backend* e modelo de dados estruturado contribui para mitigar problemas típicos de registros manuais, como inconsistências, redundância e baixa rastreabilidade.

O modelo ER desenvolvido integra entidades operacionais (p.ex., Veículo, Motorista, Viagem, Abastecimento, Manutenção) com eventos técnicos (Leitura_OBD e Evento_DTC). Essa organização cria base para análises correlacionais e históricas mais consistentes do que as obtidas por registros fragmentados. A centralização, contudo, só se traduz em ganhos gerenciais sustentáveis quando acompanhada de governança de dados (qualidade, retenção e acesso) e de medidas de segurança e privacidade (LGPD), discutidas nas subseções seguintes.

5.3 Automação, Telemetria e Metas Operacionais Testáveis

A literatura aponta que a integração OBD-II-IoT-nuvem pode viabilizar telemetria contínua e apoiar monitoramento remoto (Jenkins *et al.*, 2004; Divinagracia, 2025). No presente trabalho, o ambiente simulado permitiu observar que a arquitetura é capaz de sustentar o fluxo de mensageria e persistência, com redução de tempo em comparação ao procedimento manual (T_p vs. T_m).

Para evitar ambiguidade entre “benefícios esperados” e “resultados mensuráveis”, esta pesquisa explicita metas/hipóteses operacionais a serem verificadas na etapa com hardware real:

- H1 (Latência): manter T_p abaixo de um limite operacional definido por cenário (p.ex., percentil 95) sob conectividade móvel.
- H2 (Integridade/aderência): manter A% acima de um patamar mínimo por variável, respeitando tolerâncias compatíveis com o ruído e a precisão do sensor/leitura.
- H3 (Confiabilidade): manter taxa de perdas e lacunas (C) abaixo de um limite em cenários com desconexões e reconexões (uso de QoS, sessão persistente e buffers locais).

- H4 (Capacidade): em cenários com V veículos simultâneos e frequência f de publicação, preservar throughput mínimo e degradação controlada de T_p (critério de E).

Essas hipóteses transformam o “potencial” discutido no protótipo em um conjunto de objetivos mensuráveis, facilitando comparação entre versões, ambientes e configurações de rede.

5.4 Implicações Econômicas e Manutenção Orientada por Dados

A telemetria veicular é frequentemente associada a redução de custos e suporte à manutenção preventiva/preditiva (Almeida, 2017; Azevedo, 2023). No contexto desta prova de conceito, a presença de módulos de manutenção, viagens, abastecimentos e oficinas sugere viabilidade técnica para consolidar um repositório histórico capaz de apoiar decisões orientadas por dados, como detecção de consumo anômalo, planejamento de revisões e correlação de falhas (DTC) com eventos operacionais.

Entretanto, a transição do protótipo para um cenário real exige explicitar o custo total de propriedade e restrições operacionais, incluindo:

- Custo de hardware por veículo (dongle OBD-II/gateway);
- Custo de conectividade (dados móveis) e *backend*;
- Suporte e manutenção (substituição de dispositivos, atualização de software, observabilidade e atendimento);
- Possíveis limitações de compatibilidade (veículos/ECUs, PIDs suportados, protocolos e variações por fabricante).

A viabilidade econômica deve ser avaliada em função do tamanho da frota, criticidade da operação e retorno esperado (redução de paradas, combustível e tempo improdutivo).

5.5 Usabilidade e Aderência Operacional

A adoção de sistemas de gestão de frotas depende de interface e fluxo de tarefas adequados ao perfil do usuário. O protótipo de UI/UX, alinhado ao Material Design, buscou priorizar hierarquia visual, consistência e acesso rápido a informações críticas (alertas, indicadores e histórico), aspectos relevantes para reduzir a carga cognitiva e aumentar eficiência (Signoretto, 2018).

Como a etapa atual é simulada, os resultados de usabilidade devem ser tratados como preliminares. A confirmação de aderência operacional requer avaliação com usuários reais e instrumento padronizado (p.ex., SUS/UEQ), conforme o protocolo metodológico, além de métricas complementares em campo, como tempo para concluir tarefas, taxa de erro de uso e satisfação percebida.

5.6 Segurança, Privacidade e Conformidade como Condição de Implantação

A implantação real de telemetria veicular envolve dados potencialmente pessoais (p.ex., rotas, horários, padrões de condução), o que impõe requisitos de conformidade com a LGPD e de segurança da informação (Brasil, 2018; ANPD, 2022). Portanto, a viabilidade do sistema não depende apenas de desempenho técnico, mas também de medidas como:

- base legal e consentimento quando aplicável;
- minimização e retenção de dados compatíveis com a finalidade;
- controle de acesso e segregação;
- criptografia em trânsito e em repouso;
- governança de logs e auditoria.

No caso específico do MQTT e do ecossistema OBD-II, a literatura aponta riscos quando não há autenticação forte, gestão de segredos e criptografia (p.ex., TLS), além de riscos associados ao uso de *dongles* como superfície de ataque (Wen; Chen; Lin, 2020; OASIS, 2019). Assim, requisitos de segurança e privacidade devem ser incorporados como critérios de aceite do MVP, e não como melhoria opcional posterior.

5.7 Síntese e Direcionamento para a Etapa de Campo

A partir da revisão e da prova de conceito em ambiente controlado, conclui-se que a arquitetura proposta apresenta coerência técnica e alinhamento com abordagens recorrentes na literatura, sustentando um fluxo completo de telemetria. Os indicadores previstos no protocolo (T_p , A% e C) sugerem potencial para reduzir esforço manual e aumentar disponibilidade de dados, devendo ser confirmados em etapa posterior com instrumentação do *broker* MQTT e *backend*. Contudo, tais achados devem ser compreendidos como evidências preliminares.

Como continuidade, recomenda-se a execução de testes com hardware OBD-II e veículos reais, avaliando sistematicamente: latência e estabilidade em rede móvel, compatibilidade com diferentes modelos/ECUs, custo por veículo e por mês, consumo de bateria e dados no aplicativo, confiabilidade sob desconexões, e conformidade com LGPD e requisitos de segurança. Essa etapa permitirá confirmar ou refutar as hipóteses operacionais estabelecidas, fortalecendo validade externa e robustez dos resultados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a transição da coleta manual de informações para abordagens automatizadas de telemetria na gestão de frotas, com ênfase na integração entre o padrão OBD-II, tecnologias de Internet das Coisas e aplicativos móveis. A partir de uma revisão da literatura e do desenvolvimento

de uma prova de conceito, avaliada em ambiente controlado por simulação, foi possível discutir de forma estruturada os benefícios, limitações e requisitos associados à automação da coleta de dados veiculares.

Os resultados preliminares obtidos na validação simulada indicam que a arquitetura proposta é tecnicamente coerente e capaz de sustentar o fluxo completo de telemetria – da geração e coleta dos dados à transmissão, ingestão, armazenamento e visualização – quando observada em condições controladas.

Os indicadores analisados sugerem potencial para reduzir a dependência de processos manuais, aumentar a tempestividade e disponibilidade das informações e criar uma base mais consistente para análises operacionais, em consonância com achados da literatura correlata.

Entretanto, a evidência empírica apresentada neste trabalho possui caráter exploratório e preliminar, uma vez que a validação foi conduzida por meio de simulação e não incluiu experimentação em campo com veículos ou hardware OBD-II embarcado real. Dessa forma, as conclusões devem ser interpretadas como indicativas do potencial da abordagem, e não como comprovação definitiva de desempenho, robustez ou impacto operacional em cenários reais de gestão de frotas.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da investigação por meio de testes com dispositivos OBD-II físicos, avaliações em diferentes perfis de frota e a mensuração sistemática de métricas como latência, confiabilidade, consumo de recursos, custos operacionais e requisitos de segurança e conformidade (LGPD). Essas etapas permitirão fortalecer a validade externa dos resultados e avaliar de forma mais abrangente a aplicabilidade da solução em ambientes reais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rodrigo de Deus. **Sistema de análise de consumo de combustível de veículos automotores**. Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), 2017. Disponível em: https://formiga.ifmg.edu.br/documents/2017/PublicacoesTCCsBiblioteca/MonografiaRODRIGODEDEUS_FINAL.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.

ANPD. **Materiais educativos e publicações**. Agência Nacional de Proteção de Dados, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anpd/pt-br/centrais-de-conteudo/materiais-educativos-e-publicacoes>. Acesso em: 23 dez. 2025.

AZEVEDO, Mariana Brito. **Arquitetura de Veículos Conectados: da Captura à Análise de Dados**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/5b021d42-3c28-4d8d-a986-c673d3c5e983/content>. Acesso em: 13 set. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Dispõe sobre a proteção de dados pessoais. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 23 dez. 2025.

CARÁ, César Augusto Führ. **Aplicação de protocolo IOT para monitoramento veicular.** Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER), 2021. Disponível em: <https://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/11678/César+Augusto+Führ+Cará.pdf?sequence=1>. Acesso em: 13 set. 2025.

DIVINAGRACIA, Niel A. **Analyzing the Effectiveness of OBD II Technology in Modern Automotive Diagnostics: A Technical Perspective.** IJARASEM, 2025. Disponível em: https://ijarasem.com/admin/img/22_Analyzing%20the%20Effectiveness.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.

GOMES, Mariana Gois. **Telemetria veicular.** Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), 2022. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/4331>. Acesso em: 13 set. 2025.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15031-5: Road vehicles - Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics - Part 5: Emissions-related diagnostic services.** Geneva: ISO, 2015.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15765-4: Road vehicles - Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) - Part 4: Requirements for emissions-related systems.** Geneva: ISO, 2016.

JENKINS, W.; LEWIS, R.; LAZAROU, G.; PICONE, J.; ROWLAND, Z. **Real-time vehicle performance monitoring using wireless networking.** Mississippi State University: Piconepress, 2004. Disponível em: https://isip.piconepress.com/publications/conference_proceedings/2004/iasted_ciit/cbn/paper_v9.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.

OASIS. **MQTT Version 5.0.** OASIS Standard, 2019. Disponível em: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2025.

SAE INTERNATIONAL. **SAE J1979: E/E Diagnostic Test Modes.** Warrendale, PA: SAE International, 2018.

SIGNORETTI, Gabriel Lucas Albuquerque Maia. **Visualização de dados em um contexto de veículos inteligentes.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/25806>. Acesso em: 13 set. 2025.

WEN, Haohuang; CHEN, Qi Alfred; LIN, Zhiqiang. **Plug-N-Pwned: Comprehensive Vulnerability Analysis of OBD-II Dongles as a New Vehicle Attack Surface. Proceedings of the USENIX Security Symposium.** 2020. Disponível em: <https://www.usenix.org/system/files/sec20-wen.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2025.