



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

THIAGO DE JESUS SOUZA

**INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR
E A PRESENÇA DE BURACOS EM RODOVIAS**

CARAÚBAS

2023

THIAGO DE JESUS SOUZA

**INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR
E A PRESENÇA DE BURACOS EM RODOVIAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Wellington Lorrان Gaia Ferreira,
Prof. Dr.

Co-orientador: Alisson Kaio Dantas Pereria,
Eng. Civil.

CARAÚBAS

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S729i Souza, Thiago de Jesus.
Investigação de relação entre padrão de condução
veicular e a presença de buracos em rodovias /
Thiago de Jesus Souza. - 2023.
48 f. : il.

Orientador: Wellington Lorrán Gaia Ferreira.
Coorientador: Alisson Kaio Dantas Pereria.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. rodovia. 2. pavimentação. 3. buraco. 4.
acidente. 5. trânsito. I. Ferreira, Wellington
Lorrán Gaia, orient. II. Pereria, Alisson Kaio
Dantas, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

THIAGO DE JESUS SOUZA

INVESTIGAÇÃO DE RELAÇÃO ENTRE PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR E A PRESENÇA DE BURACOS EM RODOVIAS

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 11 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 WELLINGTON LORRAN GAIA FERREIRA
Data: 20/10/2023 15:40:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Wellington Lorrان Gaia Ferreira, Prof. Dr.
(UFERSA)
Presidente

Assinado digitalmente por José Ailton Leão Barboza Júnior
ND: OU=Campus Caraubas, O=Universidade Federal Rural do Semi-Árido, CN=José Ailton Leão Barboza Júnior *, E= [REDACTED]
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: Caraubas, RN
Data: 2023.10.24 20:08:45-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 2023.2.0

Jose Ailton Leao Barboza Junior, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 VICTOR CARDOSO OLIVEIRA
Data: 23/10/2023 09:34:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Victor Cardoso Oliveira, Prof. Me. (IFCE)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, pois para mim tudo vem Dele, inclusive a oportunidade de realizar esse trabalho. Segundo agradecer a minha família por todo apoio e carinho, minha mãe Cecília de Jesus, minha irmã Thalita Sousa e meu pai Rufino Sousa, bem como meus avós, tios e tias que sempre me incentivaram bastante a vida acadêmica, eles são minha base, meu refúgio, meu lar, foi por todos eles que cheguei até aqui e sem eles, não teria ido tão longe. Agradecer ao professor Dr. Wellington Lorrán por toda a orientação e paciência no desenvolvimento desse trabalho, além de ter me dado a oportunidade e a confiança em realizá-lo. Agradeço ao meu coorientador Alisson Dantas por toda ajuda e disponibilidade ao me ajudar na construção desta pesquisa. Agradecer ao Téc. de laboratório Charles Santos por toda a ajuda no desenvolvimento do sistema embarcado de coleta de padrão de condução veicular. Agradeço em especial a Pilares Engenharia Jr, por toda a experiência adquirida que contribuiu para meu crescimento profissional e acadêmico e todos os meus amigos que sempre se fizeram presentes em minha caminhada no curso, em especial meus amigos Jonatam Gomes, Anderson Sepedro, Álvaro Lustosa, Matheus Coelho e Matheus Castro. Por fim, mas não menos importante, agradecer a Layane Araújo, minha namorada, amiga e companheira, por todo o amor, carinho e apoio, tornando sempre meus dias melhores e sendo muito importante para mim.

Assim como o corpo sem a alma é morto, assim
também a fé sem obras é morta.

Epístola de São Tiago 2,26.

RESUMO

No Brasil, apenas em rodovias federais, entre os anos de 2021 e 2022 foram registrados 64.447 acidentes, sendo 52.948 com vítimas, entre mortos ou feridos. Quando se investiga a causa de acidentes de trânsito, vários motivos podem ser apontados, sendo assim um problema multifatorial. Entre esses fatores, cita-se a condição mecânica do veículo, às condições climáticas, o estado físico e mental do condutor e a infraestrutura viária. No que se refere a infraestrutura viária, 55% das rodovias brasileiras apresentam problemas relacionados ao pavimento, tais como a presença de buracos. Essas patologias na superfície do pavimento podem ocasionar uma colisão ou saída de pista, a depender das características do defeito (tamanho e localização na via, por exemplo). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é investigar a relação entre o padrão de condução veicular e a presença de buracos. Para isso, foram analisados três trechos de rodovias localizadas no Oeste Potiguar, com buracos visíveis, a fim de investigar se a quantidade e a distribuição de buracos, bem como o tipo de veículo, afetam de maneira significativa a trajetória veicular, potencializando zonas críticas para a ocorrência de acidentes. As análises foram divididas em duas vertentes, a primeira é direcionada à coleta de campo com o uso de um Drone, recolheu-se imagens/vídeos dos trechos objeto do estudo. A segunda vertente é direcionada a montagem de um sistema embarcado, utilizando placa de Arduino equipada com módulos sensíveis, buscando coletar o padrão de condução veicular. Indicadores como dimensão, profundidade e distribuição dos buracos, assim como, o tipo de veículo tem influência na trajetória do mesmo, porém cada um tem influência de maneira específica e dependendo da situação, o domínio de um indicador se sobrepõe sobre outro. Apesar desses indicadores realmente terem influência no padrão de condução veicular, buracos com grandes dimensões e profundos, demonstraram trazer dificuldades a todas as categorias de veículos analisados (pequenos, médios e de grande porte) a se manter na trajetória que seria a adequada, se sobressaindo aos demais, principalmente em trechos de difícil percepção de buracos.

Palavras-chave: rodovia; pavimentação; buraco; condução veicular; acidente; trânsito.

ABSTRACT

In Brazil, on federal highways alone, between 2021 and 2022, 64,447 accidents were recorded, of which 52,948 resulted in victims, including deaths or injuries. When investigating the cause of traffic accidents, several reasons can be identified, making it a multifactorial problem. These factors include the mechanical condition of the vehicle, weather conditions, the physical and mental state of the driver and the road infrastructure. With regard to road infrastructure, 55% of Brazilian highways present problems related to the pavement and the presence of potholes is one of them. These pathologies on the pavement surface can cause a collision or lane departure, when an inattentive driver encounters a critical point on the highway, such as a large pothole, losing control of the vehicle. Therefore, the objective of this work is to investigate the relationship between the vehicle driving pattern and the presence of potholes. To this end, three stretches of highways located in Oeste Potiguar, with visible potholes, were analyzed in order to investigate whether the quantity and distribution of potholes, as well as the type of vehicle, significantly affect the vehicle trajectory, enhancing critical zones for the occurrence of accidents. The influence of potholes on the trajectory of vehicles traveling in the analyzed area was analyzed. The analyzes were divided into two aspects, the first is directed to field collection using a Drone, images/videos of the sections subject to the study were collected. The second aspect is aimed at assembling an embedded system, using an Arduino board equipped with sensitive modules, seeking to collect the vehicle driving pattern. Indicators such as size, depth and distribution of holes, as well as the type of vehicle influence its trajectory, but each one influences in a specific way and depending on the situation, the predominance of one indicator overlaps another. Although these indicators really have an influence on the vehicle driving pattern, large and very deep holes have proven to cause difficulties for all categories of vehicles analyzed to maintain the appropriate trajectory, standing out from the others.

Keywords: highway, paving, hole, vehicle driving, accident, traffic

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de mortes no trânsito 2018-2021.....	19
Figura 2 – Relação em número de mortes em rodovias federais e outros tipos no Rio Grande do Norte 2019	22
Figura 3 – Componentes que influenciam na segurança rodoviária.....	23
Figura 4 – Gráfico classificação do Estado Geral	24
Figura 5– Gráfico classificação do Pavimento	24
Figura 6 – Panela/Buraco	25
Figura 7 – RN 233	28
Figura 8 – Etapas do projeto.....	29
Figura 9 – Trecho A	30
Figura 10 – Trecho B.....	30
Figura 11 – Trecho C.....	30
Figura 12 – Drone Dij Mavici	31
Figura 13 – Trena	31
Figura 14 – Cones de segurança	31
Figura 15 – Prancheta e Papel	31
Figura 16 – Processo de catalogação dos buracos do Trecho A.....	32
Figura 17 – Processo de catalogação dos buracos do Trecho B.....	33
Figura 18 – Processo de catalogação dos buracos do Trecho C	33
Figura 19 – Trajetória ideal	34
Figura 20 – Trajetória adotada	34
Figura 21 – Etapas do Projeto - Dispositivo.....	35
Figura 22 – Arduino Mega	36
Figura 23 – Módulo de GPS	36
Figura 24 – Módulo acelerômetro de nove eixos	36
Figura 25 – Micro SD	36
Figura 26 – Módulo de Micro SD	36
Figura 27 – Módulo RTC	36
Figura 28 – Gráfico de Trajetória em cada Trecho	39
Figura 29 – Gráfico Trajetória de acordo com cada veículo	40
Figura 30 – Trecho A - Caminhonete.....	41

Figura 31 – Trecho A - Detalhe carros	41
Figura 32 – Trecho B – Detalhe Caminhão e Caminhonete.....	42
Figura 33 – Trecho B – Detalhe Carro	42
Figura 34 – Trecho C – Detalhe Carros.....	43
Figura 35 - Trecho C - Detalhe Motocicleta.....	43
Figura 36 – Dispositivo em fase de teste	44
Figura 37 – Leituras dos deslocamentos eixo X plotadas através da “Ploter Serial”	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Materiais utilizados no levantamento em campo	31
Quadro 2 – Materiais utilizados – Dispositivo	36
Quadro 3 – Código leitura de deslocamentos	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Acidentes, número de vítimas e número de mortes por Região do Brasil.....	20
Tabela 2 – Acidentes com vítimas e mortes por Tipo de Acidente na região Nordeste 2022..	20
Tabela 3 – Acidentes com vítimas e mortes por Tipo de Acidente no Rio Grande do Norte 2022	21
Tabela 4 – Relação entre localidade e número de vítimas no Rio Grande do Norte 2019.....	21
Tabela 5 – Caracterização dos trechos	31
Tabela 6 – Detalhe dos buracos nos Trechos	32
Tabela 7 – Quantidades de veículos por Trecho.....	37
Tabela 8 – Classificação dos veículos	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPS	<i>Global Positioning System</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
ONSV	Observatório Nacional de Segurança Viária
RTC	<i>Real time clock</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. PROBLEMA	17
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. Objetivo geral	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1. CENÁRIO DE ACIDENTES EM RODOVIAS	19
2.1.1. Fatores que interferem nos acidentes.....	22
2.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS RODOVIAS	23
2.3. PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR	26
3. METODOLOGIA	28
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2. PROCESSO DE COLETA EM CAMPO	31
3.2.1. Materiais utilizados.....	31
3.2.2. Coleta de dados com o drone	32
3.2.3. Análise de dados.....	33
3.3. SISTEMA EMBARCADO	35
4. RESULTADOS.....	37
4.1. PADRÃO DE CONDUÇÃO E BURACOS	39
4.2. FATORES QUE INTERFEREM NO PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR	40
4.3. DISPOSITIVO	44
5. CONCLUSÃO	47

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2021), os sinistros de trânsito causam aproximadamente 1,3 milhões de mortes e 50 milhões de feridos por ano em todo o mundo. Essa informação aponta para o grave problema relacionado a ausência de segurança viária que vem provocando milhares de vítimas, principalmente em países de baixa e média renda. Nas circunstâncias atuais, a OMS (2021) estima que cerca de 13 milhões de vidas serão perdidas e 500 milhões de pessoas ficarão feridas em acidentes de trânsito já na próxima década.

Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2022), entre os anos de 2021 e 2022 foram registrados 64.447 acidentes, sendo 52.948 com vítimas, entre mortos ou feridos, em rodovias federais que cortam o Brasil. Essas rodovias representam apenas 30,8% de toda a malha rodoviária pavimentada do País, o que indica que o número de acidentes pode ser bem maior. Segundo o relatório publicado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020), estima-se 45 mil mortes por ano decorrentes de acidentes envolvendo veículos terrestres no Brasil, causando um custo de R\$ 50 bilhões aos cofres públicos. Esse estudo do IPEA evidencia o tamanho do impacto negativo, tanto no aspecto humano em vidas perdidas, como no aspecto econômico em gastos com saúde pública decorrente dos acidentes de trânsito.

Quando se investiga a causa de acidentes de trânsito, vários motivos podem ser apontados, sendo assim um problema multifatorial como indica alguns autores (CUNTO, 2008; RIBEIRO et al., 2019, MAIA, 2020). Entre esses fatores, pode-se citar a condição mecânica do veículo, as condições climáticas, o estado físico e mental do condutor e a infraestrutura viária. Muitos desses fatores podem agir em conjunto na causalidade de acidentes, como indica o Guia de CNT de Segurança nas Rodovias 2023:

Importa destacar que os fatores que podem contribuir para a ocorrência de acidentes são, entre outros, as condições do veículo, o comportamento do motorista, as condições climáticas e as condições da rodovia. E, por vezes, os acidentes não têm apenas uma causa, mas vários fatores contribuintes. A exemplo disso, quando há falta de atenção por parte do condutor (comportamento do motorista) ao passar por um ponto crítico, como um buraco grande (condição da rodovia), pode-se perder o controle do veículo e ocorrer uma colisão ou saída de pista (CNT, 2023).

No que se refere a infraestrutura viária, alguns autores (LARROCA, 2018; MAIA, 2020; RODRIGUES, 2022; CNT, 2022) alertam para variáveis referentes a condição da rodovia, tais como a geometria da via, a ausência de sinalização, além da condição da superfície do pavimento, como a presença de buracos que podem impactar no padrão de condução do

veículo. Segundo o último relatório da CNT (2022), cerca de 66,0% da extensão das rodovias apresenta algum problema relacionado as condições de infraestrutura e 55,5% da extensão das rodovias apresenta problemas relacionados ao pavimento. Com relação as condições do pavimento, um dos principais problemas é a presença de buracos, fator esse, que pode estar relacionado direta ou indiretamente com a ocorrência de acidentes, visto que o condutor pode alterar o traçado veicular a depender do tamanho e da distribuição dessas patologias.

Nesse contexto, é de suma importância a coleta do padrão de condução veicular com boa precisão. Isto é, é fundamental compreender o comportamento do condutor quando na presença de buracos a fim de estabelecer uma relação entre as características dos veículos e as características dos buracos (tamanho e distribuição, por exemplo). Essa informação pode ser útil para manter rodovias em boas condições de segurança, seja priorizando a manutenção de alguns buracos localizados em pontos considerados críticos ou informando os usuários de trechos perigosos.

1.1. PROBLEMA

O último relatório anual da CNT (2022) aponta que cerca de 65% das rodovias localizadas no estado do Rio Grande do Norte encontram-se com condição variando entre um estado geral de regular a péssimo. Dentro deste contexto, há uma escassez de estudos que possam indicar a influência desta situação das rodovias na ocorrência de acidentes, principalmente referente as rodovias localizadas na região do Oeste Potiguar. Trechos que estão localizados nesta região do estado do RN, como por exemplo o trecho Caraúbas/RN – Campo Grande/RN, encontram-se com elevada extensão da malha com pavimento desgastado (alta quantidade de buracos), ausência de sinalização, geometria inadequada (pistas sem acostamentos) e outros aspectos que contribuem para a ocorrência de acidentes.

Tendo em vista que esses aspectos interferem diretamente no padrão de condução do motorista, é fundamental investigar se o alto número de acidentes de trânsito nessa região pode ter relação com a presença de buracos. Portanto, o problema do presente trabalho reside na dificuldade de mapear com precisão a trajetória dos veículos que trafegam por essas vias e relacionar esse padrão de condução com a presença de buracos, para que assim seja possível realizar intervenções que culminem na melhoria da segurança das mesmas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é investigar a relação entre o padrão de condução veicular e a presença de buracos.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

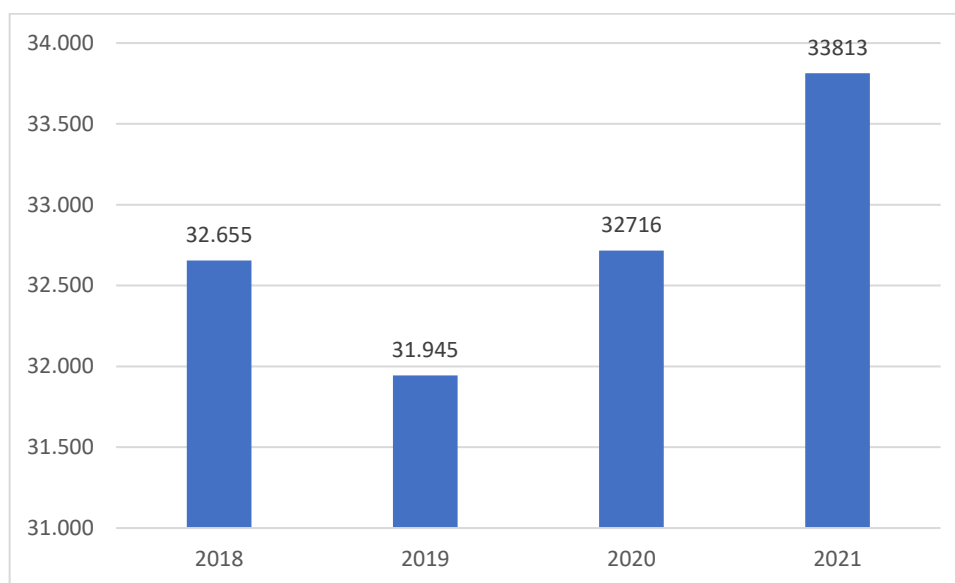
1. Avaliar se a quantidade e a distribuição dos buracos interferem no padrão de condução veicular.
2. Verificar se o tipo de veículo interfere no padrão de condução veicular.
3. Propor um sistema embarcado para coleta, de forma automática, do padrão de condução veicular.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CENÁRIO DE ACIDENTES EM RODOVIAS

No ano de 2021, segundo a CNT (2021), foram registrados 64.452 acidentes no Brasil com 5.391 vítimas fatais, apenas em rodovias federais. Segundo o Observatório Nacional de Segurança viária (ONSV), ao todo foram registradas cerca 33,8 mil mortes no trânsito neste mesmo ano de 2021. No ano 2020, houve cerca de 32,7 mil mortes decorrentes de acidentes, o que representa um aumento em 3,3%, quando se compara os dados de 2020 e 2021 (ONSV, 2021). Essas informações demonstram um crescimento no número de vítimas fatais no trânsito nos últimos anos. A Figura 1 apresenta o número de mortes no trânsito entre os anos de 2018 e 2021.

Figura 1 – Número de mortes no trânsito 2018-2021



Fonte: Adaptado de ONSV, 2021

Nos levantamentos recentes realizados pela CNT no Painel de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários referente ao ano de 2022, quando se divide os números totais do Brasil pelas suas cinco regiões geográficas, a região Nordeste apresenta por volta de 13,6 mil acidentes e cerca de 1,6 mil mortes em rodovias federais. Sendo assim, 21,12% do percentual de acidentes e 30,41% do percentual de vidas perdidas no Brasil está no Nordeste como apresenta a Tabela 1. Seguindo a mesma tendência nacional, a região Nordeste acompanha a mesma ordem de principais tipos de acidentes de trânsito, tendo colisão com a quantidade mais

significativa, sendo acompanhado por saída da pista que vem logo em seguida conforme a Tabela 2.

Tabela 1 – Acidentes, número de vítimas e número de mortes por Região do Brasil

Região	Nº	Nº	Nº Mortes	%	%	%
	Acidentes	Vítimas		Acidentes	Vítimas	Mortes
Centro-Oeste	7.835	6.724	763	12,2%	12,6%	14,0%
Nordeste	13.608	11.262	1.652	21,1%	21,1%	30,4%
Norte	3.515	2.864	429	5,4%	5,4%	7,9%
Sudeste	19.629	16.643	1.334	30,5%	31,2%	24,6%
Sul	19.860	15.905	1.254	30,8%	29,7%	23,1%
Total	64.447	53.398	5.432	100%	100%	100%

Fonte: Adaptado de CNT, 2022

Tabela 2 – Acidentes com vítimas e mortes por Tipo de Acidente na região Nordeste 2022

Tipo de acidente	Acidentes	%	Mortes	%
Colisão	6.970	61,9%	1.058	64,1%
Saída da Pista	1.320	11,7%	174	10,5%
Capotamento/Tombamento	1.246	11,1%	89	5,4%
Atropelamento	1.068	9,5%	293	17,7%
Queda de Ocupante	587	5,2%	32	1,9%
Eventos atípicos	49	0,4%	5	0,3%
Incêndio	14	0,1%	0	0,0%
Derramamento de Carga	8	0,1%	1	1,0%
Total	11.262	100%	1.652	100%

Fonte: Adaptado de CNT, 2022

O estado do Rio Grande do Norte (RN), que faz parte do nosso objeto de estudo, hoje representa cerca de 9,47% do percentual de acidentes em rodovias federais do Nordeste e aproximadamente 2% na esfera nacional. Durante o ano de 2022 seguindo a mesma tendência regional e nacional, o principal tipo de acidente registrado no estado do Rio Grande do Norte foi o do tipo colisão, demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Acidentes com vítimas e mortes por Tipo de Acidente no Rio Grande do Norte
2022

Tipo de acidente	Acidentes	%	Mortes	%
Colisão	732	67,1%	56	56,6%
Saída da Pista	90	8,3%	11	11,7%
Capotamento/Tombamento	107	9,8%	7	7,4%
Atropelamento	104	9,6%	18	19,1%
Queda de Ocupante	54	5,0%	1	1,1%
Eventos atípicos	2	0,2%	1	1,1%
Incêndio	0	0,0%	0	0,0%
Derramamento de Carga	0	0,0%	0	0,0%
Total	1.088	100%	94	100%

Fonte: Adaptado de CNT, 2022

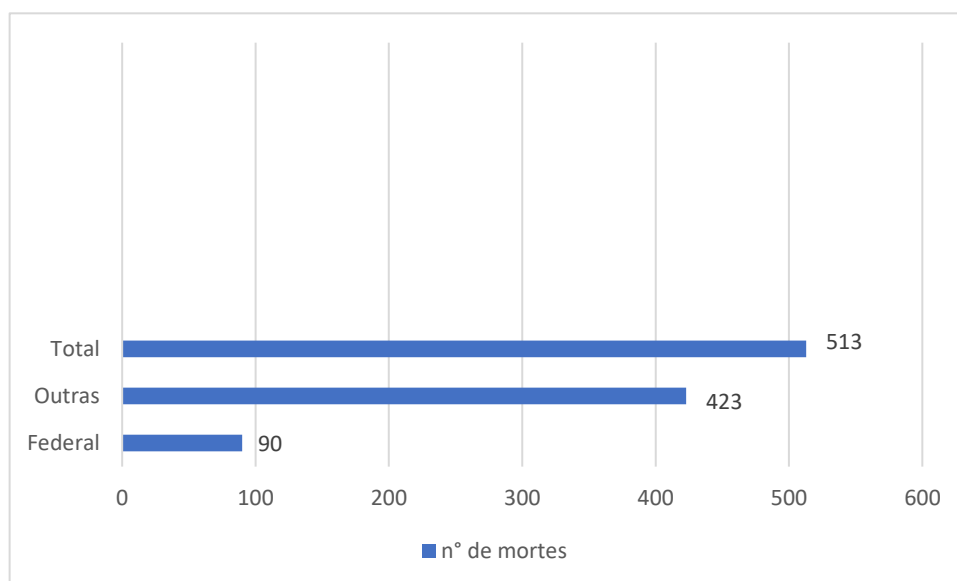
Apesar desses dados serem extremamente significativos, por serem apenas registros em rodovias federais, eles representam apenas uma fração dos reais números de acidentes, vítimas e mortes no trânsito do estado. Em Relatório estatístico das vítimas fatais em acidentes de trânsito divulgado pelo Departamento Estadual de trânsito (DETRAN) do Estado do Rio Grande do Norte, em 2019, foram 513 mortes em todo o estado em decorrência de acidentes de trânsito (DETRAN/RN, 2019), sendo a grande maioria no interior do estado. No mesmo ano de 2019, o Relatório divulgado pela CNT obteve 90 óbitos em rodovias federais (CNT, 2019), representando assim cerca de apenas 17,5% do total de vítimas fatais provenientes de acidentes de todo o estado, como é demonstrado na Tabela 4 e na Figura 2.

Tabela 4 – Relação entre localidade e número de vítimas no Rio Grande do Norte 2019

Localidade	Nº de Mortes	%
Natal	57	11,1%
Interior	456	88,9%
Total	513	100%

Fonte: Adaptado de DETRAN/RN, 2019

Figura 2 – Relação em número de mortes em rodovias federais e outros tipos no Rio Grande do Norte 2019



Fonte: Autoria própria, 2023

Segundo esse mesmo relatório divulgado pelo DETRAN/RN em 2019, a cidade de Caraúbas/RN, onde a UFERSA tem um dos Campi, que de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) tem cerca de 19 mil habitantes, obteve seis vítimas fatais de acidentes de trânsito, representando assim 1,2% de todo o percentual do estado. Esse índice é bem elevado para o tamanho do município, principalmente quando comparado com cidades maiores do interior do estado, como Caicó com cerca de 61 mil habitantes (IBGE, 2022) e Currais Novos com cerca de 41 mil habitantes (IBGE, 2022) com 6 mortes (1,2%) e 3 mortes (0,6%) respectivamente.

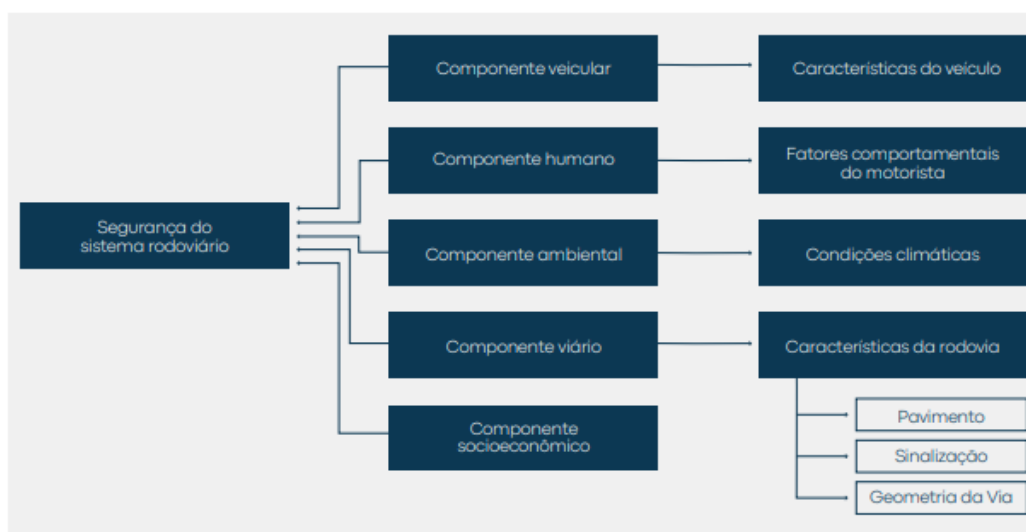
2.1.1. FATORES QUE INTERFEREM NOS ACIDENTES

Acidentes podem ter inúmeros fatores que contribuem para a ocorrência, porém problemas de infraestrutura nas rodovias são fatores que podem ser decisivos no que se refere a segurança, principalmente se esse fator estiver acompanhado de outros aspectos, como condições inadequadas da engenharia de tráfego, comportamento inadequado por parte de condutores de veículos, condições inadequadas da frota de veículos, condições meteorológicas desfavoráveis e entre outros que também possam interferir nessa segurança (LIMA, 2008). O relatório de Pesquisa CNT de rodovias 2022 ressalta a importância da boa infraestrutura viária para a prevenção de acidentes. A Figura 3 representa a relação de todos os fatores que podem

influenciar a segurança do motorista se relacionam, e como a infraestrutura das vias se encaixa em tudo isso.

O bom desempenho do motorista na condução segura de um veículo depende das condições e das características da via associadas ao Pavimento, à Sinalização e à Geometria. Somadas às especificidades dos veículos, aos fatores comportamentais dos condutores e às condições climáticas, essas características influenciam diretamente no grau de conforto e segurança de um sistema rodoviário e, consequentemente, na propensão à ocorrência de acidentes. (CNT, 2022)

Figura 3 – Componentes que influenciam na segurança rodoviária



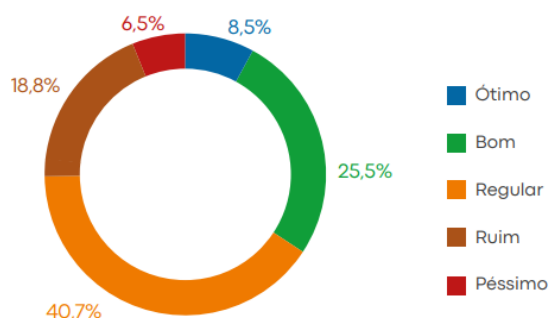
Fonte: CNT, 2022

2.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS RODOVIAS

Para a confecção do relatório de Pesquisa CNT de rodovias 2022 foram estudadas 19 rotas, que foram filmadas e avaliadas totalizando 110.333 quilômetros de rodovias em todo do Brasil, contemplando quase toda a totalidade da malha rodoviária federal pavimentada e trechos das principais rodovias estaduais pavimentadas. As características analisadas foram as de Estado Geral, Pavimento, Sinalização e Geometria da via, classificando-as em cinco estados de conservação diferentes como ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo.

Com esse estudo como base, tendo em vista a importância do estado físico das vias para segurança rodoviária, aqui será apresentado um panorama de como as rodovias no Brasil se encontram em seu estado geral. Vale ressaltar que 66% das rodovias analisadas apresentaram algum tipo de problema seja relacionado a pavimento, sinalização ou geometria da via, sendo assim classificadas de regular a péssimo conforme apresentado na Figura 4.

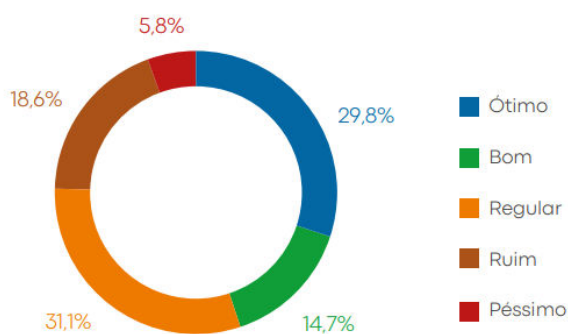
Figura 4 – Gráfico classificação do Estado Geral



Fonte: CNT, 2022

Como é representado nas imagens acima, mais de um quinto das rodovias do Brasil em aspectos gerais variam entre ruim ou péssimo. Desses problemas encontrados pode-se destacar os referentes ao pavimento onde 55% das rodovias do país apresentam problemas relacionados ao pavimento. A Figura 5 representa esses índices.

Figura 5– Gráfico classificação do Pavimento



Fonte: CNT, 2022

Quando se está avaliando a qualidade de um pavimento pode-se dividir em Categorias de condição da superfície do pavimento a serem consideradas. Ele pode ser condicionado em: Perfeito, quando o pavimento se apresenta em ótimas condições sem irregularidades; Desgastado, quando apresenta desgaste referente ao seu pavimento, como a separação do agregado com a massa asfáltica, pequenas fissuras e remendos bem executados; Trincas/Remendos, ocorre quando o pavimento apresenta trincas e remendo mal executados; Buracos/Afundamentos/ Ondulações, quando o pavimento apresenta buracos, depressões ou irregularidades maiores permanentes ocasionadas pelo tráfego elevado; Destruido, quando o pavimento apresenta uma alta quantidade de buracos ou a destruição total do revestimento

asfáltico. Nos Trechos que foram objeto de estudo desse trabalho, ele se encontra na terceira situação contendo buracos no revestimento asfáltico.

Uma característica importante que pode ser destacada quando o pavimento asfáltico está ruim é o buraco e por conta disso ele faz parte do foco deste trabalho. Segundo a norma DNIT 005/2003 - TER que é referente aos defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos buraco ou panela pode ser definido como uma cavidade que se forma no revestimento por diversas causas, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT, 2003). A Figura 6 apresenta o exemplo contido na norma.

Figura 6 – Panela/Buraco



Fonte: DNIT, 2003

Segundo o relatório de Pesquisa CNT de rodovias 2022, a conservação da pavimentação está diretamente associada a segurança das vias. A má condição da superfície de rolamento das rodovias, com afundamentos, ondulações e/ou buracos, por exemplo, contribui para a instabilidade do veículo e, conseqüentemente, para a dificuldade em mantê-lo na trajetória desejada, podendo gerar colisões devido à mudança brusca de direção e à perda do controle do veículo (CNT, 2022). Tendo em vista que isso é um importante aspecto, se faz necessário a coleta do padrão de condução veicular do motorista, para que assim fique registrado a trajetória do veículo dentro da rodovia e como as panelas/buracos influenciaram nessa trajetória.

2.3. PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR

Todo motorista tem uma forma de dirigir, uns utilizam uma direção mais defensiva que é definida por AMÉRICO (2014) como conduzir veículo automotor de modo preventivo quanto a possíveis ações incorretas de outros condutores e ou de condições adversas, antecipado das situações de perigo, já outros agem de maneira mais imprudente. Entretanto, a maneira que o motorista conduz o veículo é importante por questões de segurança. Com isso, o padrão de condução veicular considerado no presente estudo seria o trajeto que o condutor mantém o veículo ao longo da faixa de rolamento. Esse trajeto pode ser influenciado por diversos fatores, entre os quais, a condição da superfície do pavimento, como por exemplo a presença de buracos. Para avaliar essa influência sobre a forma como o motorista conduz o seu veículo, é muito importante a coleta desse padrão de condução veicular. Nesse aspecto, apesar do uso de recursos como GPS (*Global Positioning System*) através de aplicativos móveis presentes em *Smartphones*, por exemplo, estes não apresentam a precisão necessária para compreender o trajeto de um veículo dentro da faixa de rolamento.

2.3.1. SISTEMAS EMBARCADOS

Tendo em vista o avanço das tecnologias, novos métodos de coleta desse padrão de condução podem ser desenvolvidos de modo que facilitem o processo de coleta, bem como a área de abrangência a ser estudada. Uma solução que apresenta um grande potencial para a coleta de padrão de condução veicular seria o desenvolvimento de um sistema embarcado.

Como cita ZURITA (2011) um sistema embarcado pode ser definido como um “um sistema baseado em um microprocessador, que é projetado para controlar uma função ou uma gama de funções, e não para ser programado pelo usuário final como ocorre com os PCs” (ZURITA apud HEATH, 2003). Sistemas embarcados estão muito presentes no dia a dia das pessoas, Chase (2007) cita que um grande exemplo são os sistemas utilizados em veículos de alto desempenho onde são complexos e literalmente “embarcados”. Centenas de sensores fornecem informações sobre todo o funcionamento do veículo. Várias unidades de processamento independentes atuam em regiões diferentes e se comunicam entre si, captando os sinais destes sensores e fazendo com que as ações referentes a cada caso sejam tomadas.

Esse sistema pode ser baseado em Arduino, que é uma placa baseada em um microcontrolador (ARDUINO, 2015). Um microcontrolador é um chip de baixo custo que contém internamente periféricos de um computador dedicado como microprocessador,

memória de dados, memória de programa, pinos de entrada e saída e entre outros atributos (JUCÁ, 2009).

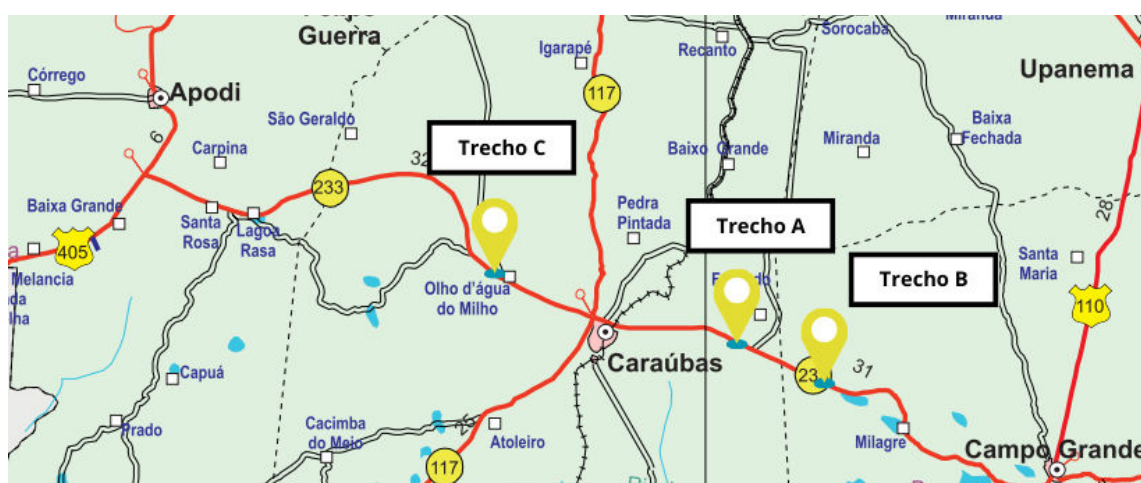
Para se programar um Arduino, é necessário o uso de uma IDE (*Integrated Development Environment*), este é um ambiente integrado de desenvolvimento de software (JUCÁ, 2009). A IDE é responsável por ler a programação enviada pelo usuário a placa Arduino, bem como é responsável por ler as informações dos sensores acoplados ao a placa e as transmitir ao usuário. A linguagem de programação usada no Arduino é a linguagem C/C++ que é justamente uma linguagem bastante difundida no uso de microcontroladores.

Com base nesse conhecimento, será possível desenvolver um dispositivo que será capaz através dos sensores acoplados ao Arduino o monitoramento do posicionamento do veículo e assim definir um padrão de condução veicular para diferentes tipos de veículos.

3. METODOLOGIA

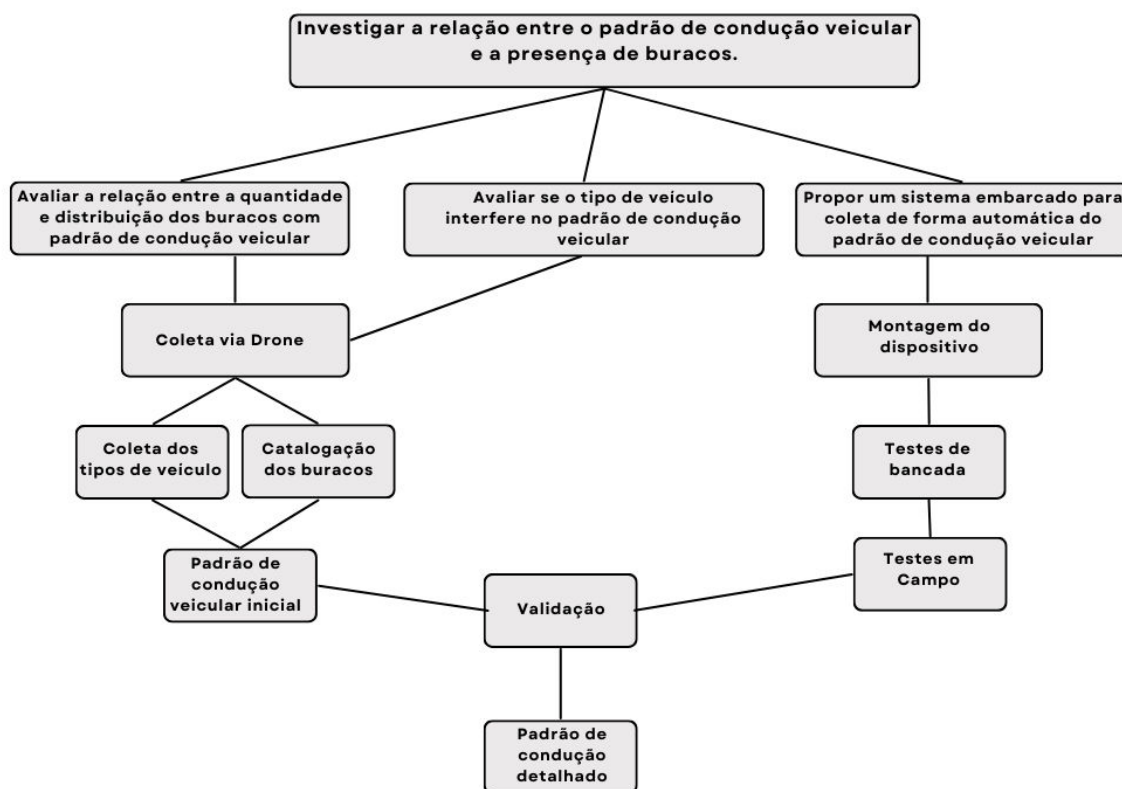
O estudo foi realizado na malha rodoviária da cidade de Caraúbas, no estado do Rio Grande do Norte (RN), que está inserida na RN 233, entre as cidades de Campo Grande, Caraúbas e Apodi – RN, como apresentando na Figura 7. Para atingir ao objetivo geral proposto no trabalho, foram selecionados três trechos na área de estudo (Figura 7). As análises foram divididas em duas vertentes, a primeira é direcionada à coleta de campo, com imagens aéreas por meio de drone e catalogação dos buracos em cada trecho observado, coletando as dimensões e localização das patologias, visando atingir os objetivos específicos um e dois. A segunda vertente é direcionada a montagem de um sistema embarcado, utilizando placa de Arduino equipada com módulos sensíveis, buscando coletar o padrão de condução veicular automaticamente e atingir ao objetivo três. A Figura 8 representa as etapas do projeto.

Figura 7 – RN 233



Fonte: Adaptado do DNER (2023)

Figura 8 – Etapas do projeto



Fonte: Autoria própria, 2023

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Trecho A está localizado no vale de uma curva vertical, neste, os buracos são perceptíveis ao condutor, representado na Figura 9. O Trecho B, localizado no cume de uma curva vertical da via onde a percepção das patologias tende a ser mais difícil, conforme a Figura 10. O Trecho C fica nas imediações de uma curva horizontal, e também apresenta dificuldade de percepção, ilustrado na Figura 11. É importante ressaltar que em todos os trechos observados não foram encontradas nenhum tipo de sinalização que pudesse orientar melhor os condutores. A Tabela 5 descreve informações acerca dos trechos analisados.

Figura 9 – Trecho A



Fonte: Google Earth, 2011

Figura 10 – Trecho B



Fonte: Google Earth, 2011

Figura 11 – Trecho C



Fonte: Aatoria própria, 2023

Tabela 5 – Caracterização dos trechos

Trecho	Coordenadas	Distância em KM de Caraúbas/RN	Sentido	Quantidade de buracos	Extensão
1	5°47'34.52"S, 37°29'3.29"O	7,2	Campo Grande	5	55m
2	5°48'40.26"S, 37°26'42.62"O	12	Campo Grande	2	32m
3	5°45'27.50"S, 37°36'48.84"O	6,3	Apodi	6	45m

Fonte: Autoria própria, 2023

3.2. PROCESSO DE COLETA EM CAMPO

3.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a coleta de padrão de condução veicular, foi utilizado um drone para capturar vídeos/imagens aéreas do tráfego nos trechos analisados. Para a medição dos buracos, foram utilizadas trenas e cadernetas de campo. Durante todo o procedimento de medição, utilizou-se cones de segurança para interditar a via temporariamente. Todos os materiais usados estão descritos conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Materiais utilizados levantamento em campo

			
Fonte: Google Imagens	Fonte: Google Imagens	Fonte: Google Imagens	Fonte: Google Imagens
Figura 12 – Drone Dij Mavici	Figura 13 – Trena	Figura 14 – Cones de segurança	Figura 15 – Prancheta e Papel

Fonte: Autoria própria, 2023

3.2.2. COLETA DE DADOS COM O DRONE

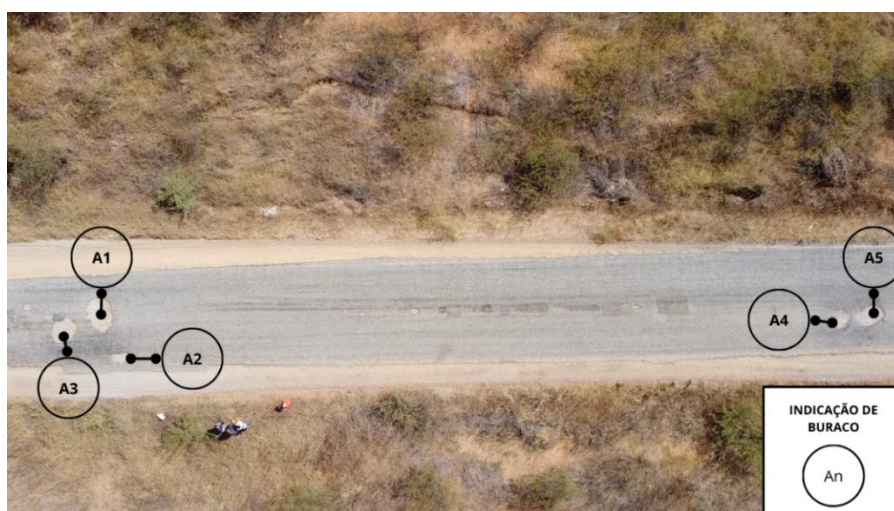
Por meio dos registros de vídeo, a trajetória de cada veículo foi traçada de maneira manual. Durante o processo de captura em campo, o dispositivo ficou, em média, 20 minutos operando em cada trecho. Ao longo da coleta, veículos de tamanhos distintos trafegaram nos pontos analisados e cada um deles foi catalogado (principalmente o porte do veículo, isto é, automóveis, caminhões e outros). Em seguida, posteriormente, cada trecho foi temporariamente interditado com cones de segurança para realizar a catalogação dos buracos, sendo coletado o maior diâmetro, o menor diâmetro e a profundidade. Cada buraco recebeu uma denominação, fazendo referência ao trecho, conforme a Tabela 6 e as Figuras 16, 17 e 18.

Tabela 6 – Detalhe dos buracos nos Trechos

Trecho	Buraco	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Profundidade (cm)
A	A1	190	140	4,5
	A2	110	60	5,0
	A3	140	120	3,0
	A4	105	80	3,0
	A5	150	120	3,0
B	B1	190	140	5,0
	B2	110	60	5,0
	C1	80	70	7,0
C	C2	80	70	8,0
	C3	160	130	8,0
	C4	80	80	7,0
	C5	190	130	7,0
	C6	70	70	7,0

Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 16 – Processo de catalogação dos buracos do Trecho A



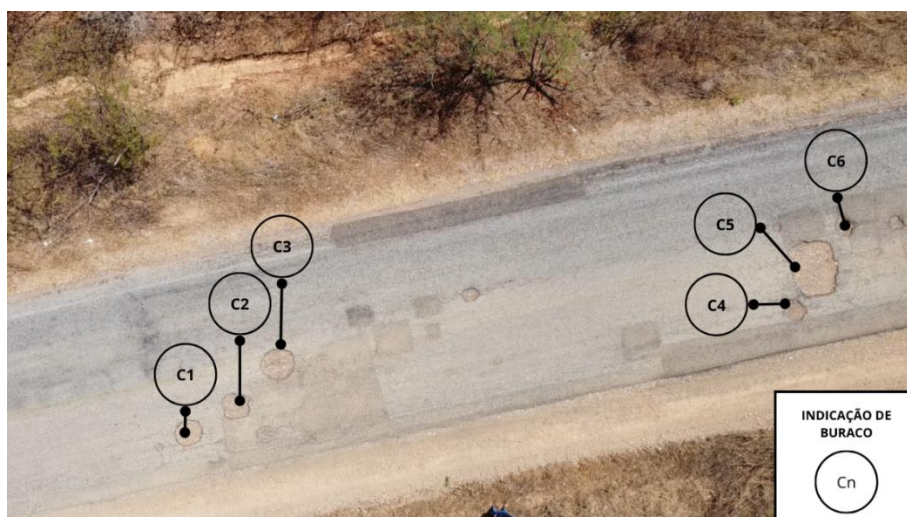
Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 17 – Processo de catalogação dos buracos do Trecho B



Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 18 – Processo de catalogação dos buracos do Trecho C



Fonte: Autoria própria, 2023

3.2.3. ANÁLISE DE DADOS

Neste trabalho pretende-se correlacionar o padrão de condução veicular de cada a veículo e a existência de buracos na rodovia, a fim de investigar se essas patologias interferem na maneira como o veículo se comporta no trecho. Quando não existe buracos em uma via, presume-se que o veículo siga uma trajetória considerada ideal, representada na Figura 19, isto é, o eixo do veículo se manter entre as faixas de rolamento. Porém, quando existe buracos na rodovia, o condutor tende a buscar uma trajetória diferente para desviar desse obstáculo, como mostrado na Figura 22. Esse desvio de trajetória juntamente com outros fatores como

velocidade, condição do veículo, ausência de sinalização, trechos em curvas e outros podem ajudar na ocorrência de acidentes. Desse modo, por meio das imagens coletadas via drone foi analisado como cada veículo se comporta diante dos buracos, considerando que existe uma trajetória ideal.

Figura 19 – Trajetória ideal



Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 20 – Trajetória adotada

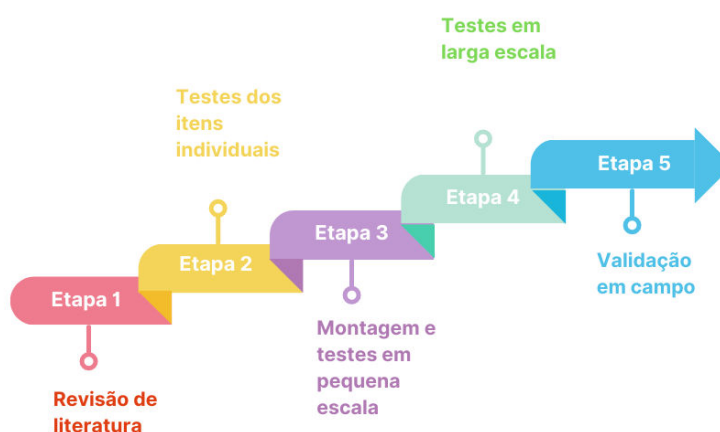


Fonte: Autoria própria, 2023

3.3. SISTEMA EMBARCADO

Além da coleta em campo com o uso do Drone, foi proposto o desenvolvimento de um sistema embarcado visando automatizar o processo de coleta e análise de padrão de condução veicular. As etapas do desenvolvimento do dispositivo são apresentadas na Figura 21.

Figura 21 – Etapas do Projeto - Dispositivo



Fonte: Autoria Própria, 2023

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica para a construção do embasamento teórico metodológico. Após isso, se iniciou o processo de desenvolvimento do dispositivo com testes de todos os itens e sensores individualizados pertencentes ao dispositivo para verificar o funcionamento. A etapa de montagem e testes em pequena escala é a fase que de desenvolvimento que o projeto se encontra. Ela consiste em montar o dispositivo e verificar se as leituras de distância e georreferenciamento estão corretas em um ambiente controlado dentro do Campus da UFERSA/Caraúbas. Terminada essa etapa, amplia-se a escala do projeto colocando-o em um veículo e fazendo testes com distâncias mínimas, verificando sua capacidade de leitura e precisão. Por fim, é feita a validação em campo, inserindo o dispositivo em um veículo e fazendo um trajeto em algum dos trechos de rodovias a serem estudados, observando-se se ele será capaz de mapear de forma precisa o padrão de condução veicular durante esse trajeto.

O dispositivo é formado por uma placa de Arduino Mega 2560 (Figura 22), integrado a módulos que são sensores responsáveis pelas leituras que culminarão no padrão de condução veicular de um veículo. Os módulos são: um acelerômetro de nove eixos, responsável pela captura dos deslocamentos do veículo na faixa de rolamento (Figura 23); um GPS, responsável

por retornara a localização do veículo ao longo da rodovia (Figura 24); um módulo RTC (*Real time clock*) (Figura 25), que auxilia no registro do horário, em tempo real, que o veículo transita pela rodovia; um módulo Micro SD (Figura 26), responsável por armazenar as informações em um cartão SD (Figura 27), resultando no banco de dados para análise. O Quadro 2 mostra os materiais utilizados.

Quadro 2 – Materiais utilizados – Dispositivo

					
Fonte: Google imagens	Fonte: Google imagens	Fonte: Google imagens	Fonte: Google imagens	Fonte: Google imagens	Fonte: Google imagens
Figura 22 – Arduino Mega	Figura 23 – Módulo de GPS	Figura 24 – Módulo acelerômetro de nove eixos	Figura 25 – Micro SD	Figura 26 – Módulo de Micro SD	Figura 27 – Módulo RTC

Fonte: Autoria, própria 2023

4. RESULTADOS

No total, foram registrados 27 veículos de diferentes tamanhos e classificações nos três trechos analisados. A Tabela 7 indica quais veículos foram observados em campo, a classificação foi realizada com base no tipo dos veículos de acordo com a NBR13776 de 05/2021 conforme a Tabela 8.

Tabela 7 – Quantidades de veículos por Trecho

Trechos	Tipo de veículo	Quantidade	Classificação
1	Motocicleta	0	L3
	Automóvel	5	M1
	Caminhonete	2	N1
	Caminhão	0	N2
2	Motocicleta	0	L3
	Automóvel	1	M1
	Caminhonete	3	N1
	Caminhão	4	N2
3	Motocicleta	3	L3
	Automóvel	5	M1
	Caminhonete	2	N1
	Caminhão	2	N2
	TOTAL	27	

Fonte: Autoria própria, 2023

Tabela 8 – Classificação dos veículos

Veículo	Categoria	Especificação
Motocicleta	L3	Motorizado de suas rodas; Peso máximo igual ao peso tecnicamente admissível declarado pelo fabricante; ter potência nominal máxima contínua
Automóvel	M1	Veículo automotor que contém pelo menos quatro rodas, projetado e construído para o transporte de passageiros; veículos projetados e construídos para o transporte de passageiros, que não tenham mais que oito assentos, além do assento do motorista
Caminhonete	N1	Veículo automotor que contém pelo menos quatro rodas, projetado e construído para o transporte de cargas; veículos projetados e construídos para o transporte de cargas e que contenham uma massa máxima não superior a 3,5 t
Caminhão	N2	Veículo automotor que contém pelo menos quatro rodas, projetado e construído para o transporte de cargas; Veículos projetados e construídos para o transporte de cargas e que contenham uma massa máxima superior a 3,5 t e não superior a 12 t.

Fonte: Autoria própria, 2023

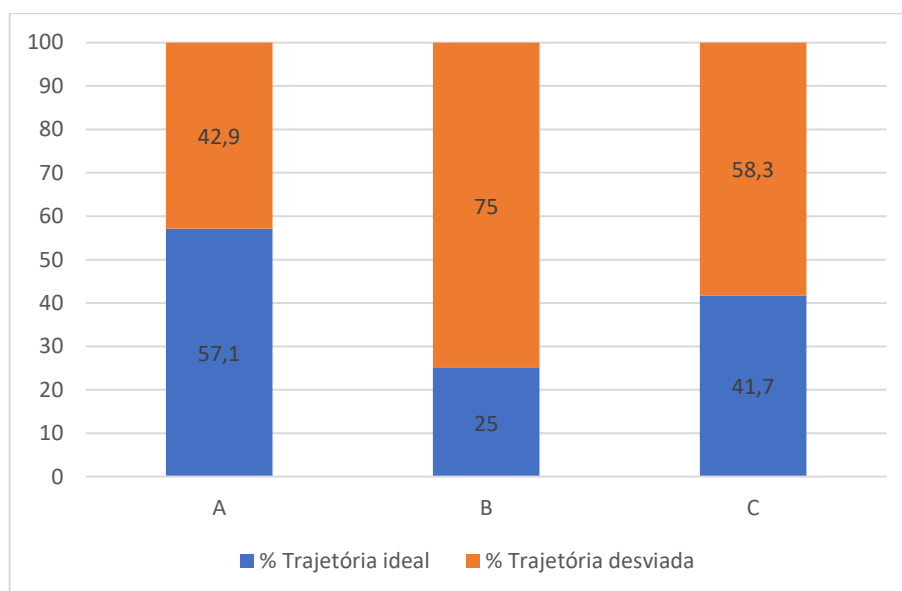
Com base nas Tabelas 7 e 8 dividiu-se os veículos analisados em três categorias distintas: veículos com duas rodas (Categoria L3), veículos com quatro rodas de passageiros (Categoria M1) e veículos com quatro rodas de cargas (Categorias N1 e N2). Observa-se que o maior índice de veículos observados foram os do tipo M1, representando cerca de 40,7% de todos os veículos estudados, seguido dos N1 com 26%, N2 com 22,2% e L3 com 11,1%. Segundo o IBGE (2022) a cidade de Caraúbas/RN possui em sua fora um total de 7.997 veículos, 44, 8% desse total correspondem a veículos do tipo L3; 29,8% correspondem ao M1; 7,7% ao tipo N1 e somente 2,5% ao tipo N2. Foi observado que os veículos em estudo não correspondem absolutamente a amostra relacionada ao número de veículos por classificação, porém isso se justifica pela demanda de viagens que pode não ser necessariamente a mesma. O Trecho 3 apresenta o maior número de veículos com duas rodas. O Nos trecho A e C foi observado o maior número de veículos com quatro rodas de passageiros e o Trecho B com o

maior número de veículos com quatro rodas de carga. Vale ressaltar que no Trecho B essa classificação ocupa ampla maioria compondo 87,5% dos seus veículos.

4.1. PADRÃO DE CONDUÇÃO E BURACOS

Foi observado a porcentagem de veículos que mudaram da trajetória considerada ideal devido aos buracos, de acordo como exemplificado na Figura 22. Para isso, foi considerado que todo veículo que mudou de faixa de rolamento, saiu da trajetória ideal. A Figura 28 apresenta por trecho um resumo das análises.

Figura 28 – Gráfico de Trajetória em cada Trecho



Fonte: Autoria própria, 2023

Analisando a Figura 27, observa-se que no Trecho A, 42,9% (3 no total) dos veículos desviaram a trajetória, esse trecho tem o segundo maior número de buracos de acordo com a Tabela 6. Uma característica importante observada é a profundidade dos buracos nesse trecho, 60% dos buracos têm profundidade de 3cm, valor considerado baixo quando comparado aos Trecho B e C que tem variações de 5 a 8cm de profundidade, conforme mostrado na Tabela 6. Trecho A está localizado no vale de uma curva vertical o que torna os buracos perceptíveis ao condutor. Aliado a localização do trecho na rodovia, no Trecho A, o baixo número de desvios quando comparados a quantidade de buracos pode ser proveniente da baixa profundidade dos mesmos, sendo a maioria rasos comparados com os demais trechos.

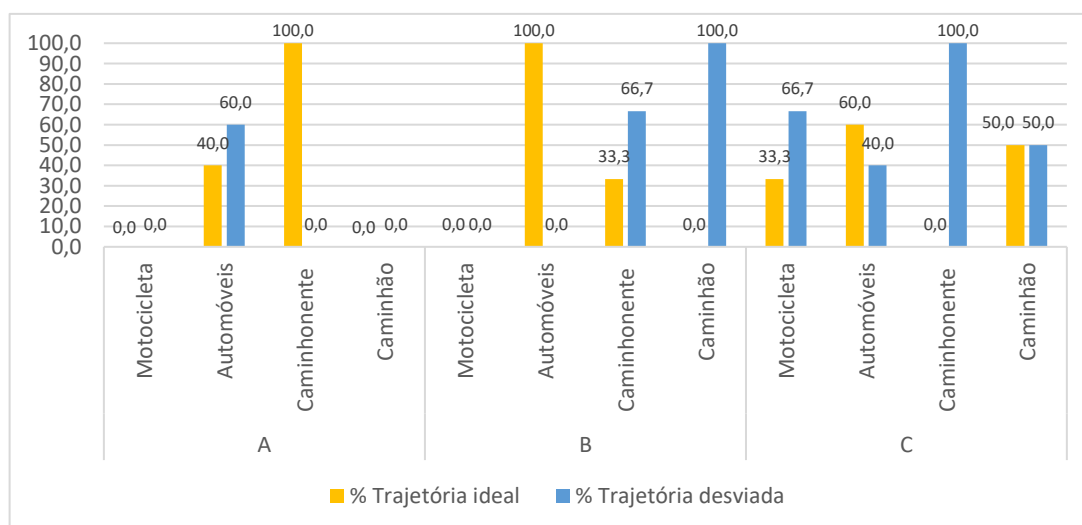
Já o Trecho B apresenta 75% de veículos (6 no total) que desviaram de trajetória. Esse trecho apresenta o menor número de buracos, indicado na Tabela 6. Os buracos presentes no trecho estão localizados de forma centralizada, próximas ao eixo da via, conforme Figura 17, sua distribuição é transversal variando de 190 a 110cm em sua maior dimensão, ocupando maior espaço nas duas faixas de rolamento e as profundidades dos buracos são de 5cm, mostrado na Tabela 6. A localização do Trecho B é no cume de uma curva horizontal, dificultando a percepção dos buracos, indicando que possivelmente esse fator em conjunto o tamanho, profundidade e distribuição desses buracos explicam essa porcentagem alta de desvio.

Por fim, o Trecho C é aquele que mais apresenta buracos, indicado na Tabela 6, porém, apresentou um número de desvios de apenas 58,3% (5 veículos), isso se dá, possivelmente por conta da distribuição. Nesse trecho, os buracos ocupam apenas uma faixa de rolamento da rodovia, mostrado na Figura 18, quando o veículo ocupa a faixa danificada, a tendência é desviar dos buracos, porém quando o veículo ocupa a faixa contrária, o mesmo tende permanecer em sua trajetória ideal, diminuindo o índice de desvios. Os buracos nesse trecho apresentam variação de 190 a 70cm de diâmetro em sua maior dimensão e profundidade variando de 7 a 8cm de profundidade, assim como está descrito na Tabela 6, sendo o trecho com buracos mais profundos.

4.2. FATORES QUE INTERFEREM NO PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR

A Figura 29 apresenta um resumo da porcentagem de veículos que modificaram a trajetória em cada trecho.

Figura 29 – Gráfico Trajetória de acordo com cada veículo



Fonte: Autoria Própria, 2023

Analisando a Figura 29, no Trecho A, 60% dos veículos M1 ideal, já aqueles com quatro rodas de cargas (N1 e N2) 100% não desviaram. Isso indica que devido a profundidade rasa dos buracos, veículos como caminhonetes, tendem a não desviar deles devido ao seu porte maior conforme as Figuras 30 e 31.

Figura 30 – Trecho A - Caminhonete



Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 31 – Trecho A - Detalhe carros



Fonte: Autoria própria, 2023

Já no Trecho B, observa-se que 100% dos caminhões (4 no total), desviaram sua trajetória, conforme Figura 32, enquanto as caminhonetes desviaram de sua trajetória cerca de 66,7%, porém os automóveis permaneceram 100% na trajetória considerada ideal. Quando somados os veículos classificados em N1 e N2 desviaram 85,7% nesse trecho indicando o quanto ele é perigoso, tanto pela distribuição dos buracos sendo no eixo da rodovia, indicado

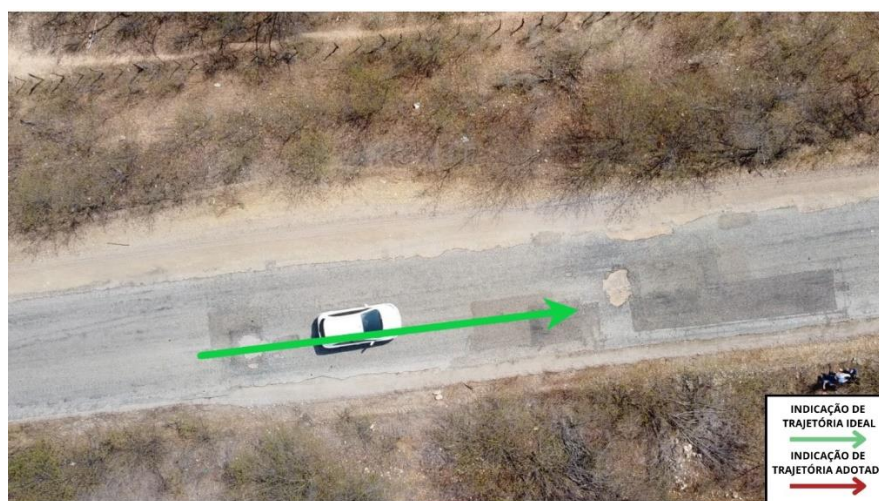
na Figura 17, como pela profundidade dos buracos e suas dimensões sendo elevadas, conforme Tabela 6. Apenas um automóvel foi registrado nesse trecho, sendo um caso isolado, sua permanência na trajetória ideal, mostrada na Figura 33, pode se justificar pela localização do Trecho B, que se encontra no cume de uma curva horizontal sem sinalização, dificultando a percepção dos buracos de maneira antecipada e consequentemente dificultando o veículo se desviar dele, principalmente caso o veículo estiver em alta velocidade.

Figura 32 – Trecho B – Detalhe Caminhão e Caminhonete



Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 33 – Trecho B – Detalhe Carro



Fonte: Autoria própria, 2023

No Trecho C 66,7% das motocicletas desviaram do trajeto ideal, já os automóveis permaneceram 60% das vezes na trajetória ideal, as caminhonetes desviaram 100% das vezes e os caminhões desviaram 50% das vezes, a Figura 34 representa os desvios de trajetória no

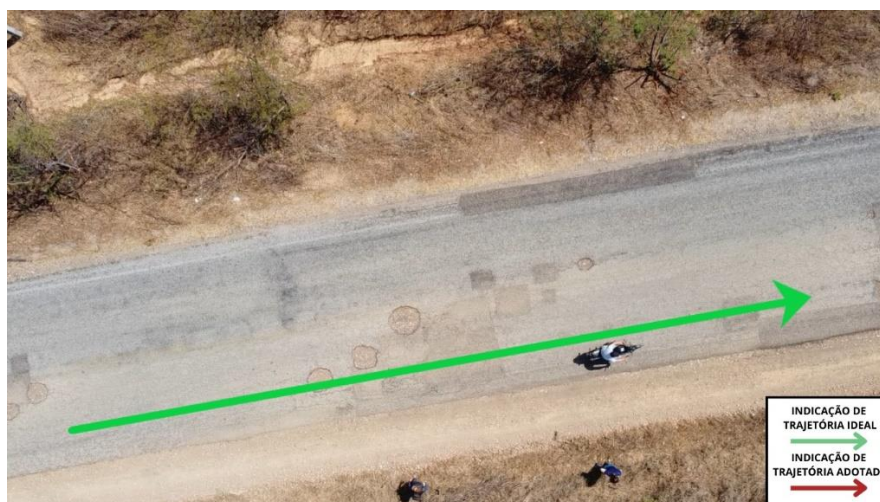
trecho. O Trecho C tem a sua distribuição de buracos em apenas uma das faixas de rolamento, de acordo com a Figura 16, todos os veículos que permaneceram com sua trajetória ideal, estavam transitando na outra faixa de rolamento, onde não havia a presença de buracos, com a exceção de uma motocicleta, sendo um caso isolado, que por conta de suas características foi o único tipo de veículo com capacidade de passar pelo trecho mantendo uma trajetória adequada sem se desviar dos buracos por conta de suas dimensões e distribuição, mostrado na Figura 35.

Figura 34 – Trecho C – Detalhe Carros



Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 35 - Trecho C - Detalhe Motocicleta



Fonte: Autoria própria, 2023

Indicadores como dimensão, profundidade e distribuição dos buracos, assim como, o tipo de veículo tem influência no padrão de condução de um veículo, porém cada um tem influência de maneira específica e dependendo da situação, o domínio de um indicador termina

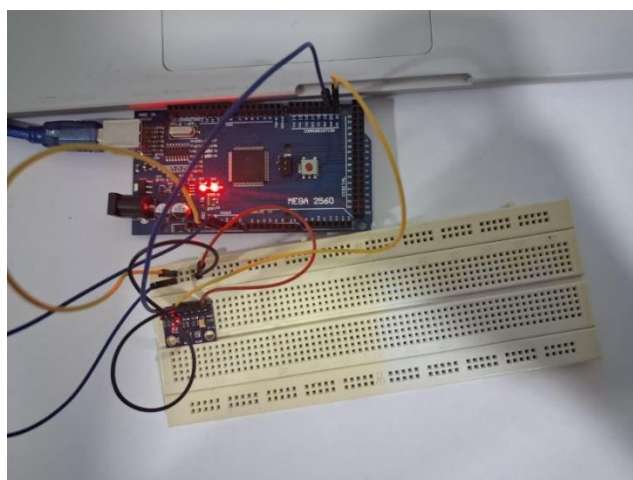
quando o de outro começa. Um exemplo é no Trecho A, onde veículos do tipo M1 desviaram dos buracos por conta de sua distribuição e dimensão, mas a influência desse indicador diminui para veículos maiores como os tipos N1 e N2. Outro exemplo é quando se compara os números dos Trechos B e C, onde a alta quantidade de buracos do Trecho C, bem como sua distribuição em apenas uma das faixas é extremamente determinante para a sua alta taxa de desvios, porém o Trecho B com uma quantidade menor de buracos e maiores dimensões também obteve um alto número de desvios, inclusive superando o Trecho C, mostrado na Figura 28.

Apesar de tudo isso, estando localizado no eixo da rodovia ou então em uma de suas faixas de rolamento, buracos com grandes dimensões e muito profundos demonstraram causar mais desvios de trajetória, trazendo dificuldades a todas as categorias de veículos analisados, demonstrado que indicadores como dimensão e profundidade do buraco se sobressaem a outros elementos como distribuição e quantidade de buracos ou tipo de veículo. Um agravante para esses índices é a localização do trecho na rodovia, quando ela dificulta ou retarda a percepção desses buracos. Os Trechos B e C, que são os que tem mais buracos com esses dois fatores, além de terem localizações prejudiciais a percepção dos buracos, também são os que obtêm maiores taxas de desvio.

4.3. DISPOSITIVO

Seguindo as etapas de construção, descritas na Figura 21, atualmente o dispositivo se encontra na etapa do projeto, já testado todos os componentes individualmente. A Figura 36 apresenta o dispositivo montado em fase de teste.

Figura 36 – Dispositivo em fase de teste



Fonte: Autoria própria, 2023

Na fase atual do projeto, o dispositivo obtém os deslocamentos nos eixos X, Y e Z. Por meio do código em Linguagem de Programação C, apresentado no Quadro 3, obtêm-se os deslocamentos, coletados em testes de bancada, e plotados por meio da ferramenta “*Ploter Serial*”, representado na Figura 37.

Quadro 3 – Código leitura de deslocamentos

```
#include<Wire.h>
const int MPU = 0x68;
float AccX, AccY, AccZ;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x1B);
  Wire.write(0x00011000);
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x1C);
  Wire.write(0b00011000);
  Wire.endTransmission();
}
void loop() {
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x3B);
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU, 14, true);
  AccX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
  AccY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
  AccZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();

  Serial.print(AccX / 2048);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(AccY / 2048);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(AccZ / 2048);

  delay(100); }
```

Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 37 – Leituras dos deslocamentos eixo X plotadas através da “Ploter Serial”



Fonte: Autoria própria, 2023

Ainda não foram realizados testes em pequena e média escala no dispositivo, pois alguns problemas estão sendo observados. O módulo de GPS não está correspondendo quando integrado a placa Arduino, ao investigar os possíveis motivos disso, chegou-se à hipótese de um problema na sua alimentação, necessitando de manutenção no próprio módulo. Outro problema seria gerenciar tantos recursos ao menos tempo, o dispositivo contaria com quatro módulos funcionando ao mesmo tempo, interligados a uma placa com processamento limitado como o Arduino. Uma possível solução é o uso o *FreeRTOS (Real-time operating system)*. Um sistema operacional de tempo real que é dividido em tarefas, sendo cada uma de um sistema de tempo real possui um tempo de execução e um tempo mínimo entre ativações sucessivas (MIRANDA, 2021).

Concluída esta etapa, serão realizados testes de bancada com o intuito de verificar a precisão e a leitura correta de todos os módulos juntos, para que assim possa utilizá-lo em campo a fim de recolher a localização e trajetória de veículos de diferentes tipos e classificações.

5. CONCLUSÃO

Com esse trabalho, pode-se observar que em alguns trechos de rodovias a trajetória veicular pode ser impactada pela presença de buracos. Os condutores naturalmente tendem a desviar dos buracos, saindo da trajetória que seria padrão (dentro da faixa de rolamento), com frequência ocupando a outra faixa da via, o que pode ser crítico para ocorrência de acidentes. Observou-se que a distribuição dos buracos, bem como suas dimensões e profundidade são determinantes na influência da trajetória de um veículo que transita por uma rodovia que contenha essas patologias. Independentemente de distribuição e quantidade na rodovia, buracos com grandes dimensões e muito profundos demonstraram trazer dificuldades a todas as categorias de veículos analisados a se manter na trajetória que seria a ideal por questões de segurança, principalmente em trechos que há dificuldade na percepção dos buracos. Os Trechos analisados B e C possuíam os buracos com maiores dimensões, variando desde 70cm até 190cm, conseqüentemente obtiveram os maiores índices de desvios, obtendo 75% e 58,3% respectivamente, além de sua localização na rodovia dificultar a percepção desses buracos, corroborando para essa análise.

Com o avanço das tecnologias, uma ferramenta que tem grande potencial para mapear e coletar de maneira mais precisa com uma maior área de cobertura seria um sistema embarcado, como o dispositivo proposto neste trabalho, onde através de módulos que coletam as posições do veículo seria possível determinar a trajetória ao longo da via percorrida. Com o auxílio dessas tecnologias, dentro dos próximos dois meses, será possível tornar mais preciso o estudo com testes em pequena e larga escala do dispositivo, chegando assim em indicadores mais assertivos que podem culminar em medidas protetivas de segurança viária, melhorando a qualidade das rodovias e impactando diretamente na seguridade dos condutores que por elas transitam.

Como sugestão para análises futuras, recomenda-se analisar mais trechos em rodovias, sejam eles com sinalização, sem sinalização, em curvas horizontais, verticais e entre outras variedades de características, para que assim a área de estudo aumente e mais informações sejam coletadas; com uma quantidade maior de veículos, de diferentes classificações, obtendo-se um volume maior de dados. Para isso, o dispositivo embarcado será fundamental. Com base nisso, será possível obter parâmetros mais precisos para identificar quais conjuntos de parâmetros são mais determinantes no padrão de condução veicular e quais medidas podem ser apontadas de melhoria de infraestrutura para que se possa aumentar o nível de segurança viária nas rodovias.

REFRÊNCIAS

AMÉRICO, Marcos; DE GRANDE, Fernando Chade; DA SILVA SANTOS, João Fernando Tobgyal. Proposta de aplicativo gamificado para o ensino de direção defensiva. 2014.

ARDUINO, Store Arduino. Arduino. Arduino LLC, v. 372, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13776 Veículos Rodoviários Automotores, Seus Rebocados E Combinados - Classificação. Rio de Janeiro, 2021.

CHASE, Otavio; ALMEIDA, F. Sistemas embarcados. Mídia Eletrônica. Página na internet:< [www. sbajovem. org/chase](http://www.sbajovem.org/chase)>, capturado em, v. 10, n. 11, p. 13, 2007.

CNT (2022). Confederação Nacional dos Transportes. Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2022.

CNT (2019). Confederação Nacional dos Transportes. Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários 2019.

CNT (2022). Pesquisa CNT de rodovias 2022. – Brasília : CNT : SEST SENAT, 2022

CNT (2023). Confederação Nacional dos Transportes. Guia CNT de Segurança nas Rodovias 2023.

CUNTO, F. (2008) Assessing safety performance of transportation systems using microscopic simulation. Tese de Doutorado, University of Waterloo, Canada

DETRAN/RN. Governo do Estado do Rio Grande do Norte, Departamento Estadual De Trânsito Coordenadoria de Operações Setor de Estatística. RELATÓRIO ESTATÍSTICO DAS VÍTIMAS FATAIS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO, NO RIO GRANDE NO NORTE, NO ANO DE 2019. Disponível em: <http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/detran/DOC/DOC000000000271865.PDF>. Acesso em: 20 de set 2023.

DNIT. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia: NORMA DNIT 005/2003. Rio de Janeiro/RJ, 2003.

HEATH, Steve, “Embedded System Design”, 2ª ed., Elsevier, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2022. Disponível em: <
https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal> acesso em 30 set 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Frota de veículos Caraúbas 2022. Disponível em:
 <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/caraubas/pesquisa/22/28120>> acesso em 30 set 2023.

IPEA (2022). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. - Brasília: Rio de Janeiro : Ipea. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/arquivos/artigos/7018-td2565.pdf>>. Acesso em: 19 de set. de 2023.

JUCÁ, Sandro César Silveira; DE CARVALHO, Paulo Cesar Marques; BRITO, Fábio Timbó. SanUSB: software educacional para o ensino da tecnologia de microcontroladores. Ciências & Cognição, v. 14, n. 3, p. 134-144, 2009.

LAROCCA, A. P. C.; Ribeiro, R. L.; Figueira, A. C.; De Oliveira, P. T. S.; Lulio, L. C.; Rangel, M. A. C. (2018) Analysis of perception of vertical signaling of highways by drivers in a simulated driving environment. Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour, v. 58, p. 471-487.

LIMA, Ieda Maria de Oliveira et al. Fatores condicionantes da gravidade dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras. Texto para Discussão, 2008.

MAIA, R. (2020) Contributions to the Tire-Pavement Friction Characterization from the Traffic Safety Perspective. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, UFC.

MIRANDA, Bruno Dourado et al. Análise de tempo de resposta de tarefas no sistema operacional FreeRTOS. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (2021). Plano global década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030. Geneva, Switzerland.

ONSV. Observatório Nacional De Segurança Viária: Brasil Tem Aumento De Mortes No Trânsito Em 2021. Disponível em: < <https://www.onsv.org.br/comunicacao/brasil-tem-aumento-de-mortes-no-transito-em-2021/>>. Acesso em: 19 de set. de 2023.

RIBEIRO, P. J. G. ; Araujo, C. M. C. ; Goncalves, L. A. P. J. ; Dias, G. J. C. ; Cunto, F. J. C. (2019) Micro-simulation of the impact of different speeds on safety road travel and urban travel time: case study in the city of Guimarães. WSEAS Transactions on Environment and Development, v. 15, p. 297-310.

RODRIGUES, J.G., Paiva, R.M.S., Ferreira, W.L.G. (2022) Avaliação da Macrotextura de Pavimentos Asfálticos em vias Urbanas e a Relação com a Segurança Viária. 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 47ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv), Bento Gonçalves, RS.

ZURITA, MEPV. Projeto de sistemas embarcados. Universidade Federal do Piauí, Curso de Engenharia Elétrica, Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, 2011.